

REQUERIMIENTOS TECNOLÓGICOS PARA CONSTRUIR ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO ALTAMENTE RESISTENTES AL AMBIENTE AGRESIVO COSTERO DE CUBA.

TECHNOLOGICAL REQUIREMENTS TO BUILD REINFORCED CONCRETE STRUCTURES HIGHLY RESISTANT TO AGGRESSIVE COASTAL ENVIRONMENT OF CUBA.

TRABAJO CONCEBIDO CON EL PREMIO NACIONAL A LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA. AÑO 2018.

Juan. J. Howland Albear*, Abel Castañeda Valdés**, Rigoberto Marrero Águila***, Cecilia Valdés Clemente**.

*Centro de Estudios de la Construcción y Arquitectura Tropical CECAT. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría CUJAE.

**Grupo de Protección de Materiales. Dirección de Investigación, Desarrollo e Innovación. Centro Nacional de Investigaciones Científicas CNIC.

***Grupo de Investigación en Corrosión e Ingeniería de Materiales. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría CUJAE.

Recibido: 25/04/2019; Aceptado: 10/07/2019.

RESUMEN

Las estructuras de hormigón armado expuestas al ambiente agresivo costero de Cuba, han presentado plazos de vida útil muy inferiores a los 50 años. Los problemas de deterioro se deben fundamentalmente a la intensidad elevada del fenómeno de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo embebido en el hormigón armado. Los costos en los trabajos de reparación en las estructuras continúan siendo económicamente muy significativos. Específicamente en zonas muy próximas al mar en las costas cubanas, los valores promedios anuales de deposición de las sales de iones cloruro transportadas en el aerosol marino ocupan el tercer lugar a nivel mundial. No obstante, debido a los niveles elevados de humedad relativa, Cuba ocupa un lugar supremo a nivel mundial en la obtención de niveles de agresividad corrosiva de la atmósfera entre muy elevado y extremo en los litorales costeros norte y sur. Todo esto justifica, la obtención de innovaciones basadas en los requerimientos tecnológicos en cuanto al incremento de la calidad del hormigón en Cuba, con el propósito de construir estructuras de hormigón armado altamente resistente al ambiente agresivo costero. Los resultados obtenidos están permitiendo en la actualidad a todas las empresas y entidades del país en la rama de la construcción, realizar las labores de diseño, construcción e inversión con los requerimientos tecnológicos que permiten incrementar la durabilidad de las estructuras de hormigón armado con plazos de vida útil superiores a 50 años a todo el patrimonio construido y que se construye, sin costos adicionales en trabajos de reparación.

Palabras clave: estructuras; hormigón armado; requerimientos tecnológicos; ambiente agresivo; corrosión atmosférica.

ABSTRACT

Reinforced concrete structures exposed to aggressive coastal environment of Cuba have presented service life term much lower than fifty years. Deterioration problems are mainly due to high intensity of atmospheric corrosion phenomenon in the reinforcement steel embedded in reinforced concrete. Costs in the maintenance and repair works in reinforced concrete structures continue to be very significant. Average annual values of chloride deposition rate transported in the marine aerosol occupy the third place worldwide specifically in zones very near from the sea. However, due to high levels of relative humidity, Cuba occupies a supreme place worldwide in the obtaining of Corrosivity categories of the atmospheres between very high (C5) and extreme (CX) in the coasts north and south. All this justifies the obtaining of innovations based on the technological requirements regarding with the concrete quality increase to build reinforced concrete structures highly resistant

to aggressive coastal environment in Cuba. Results obtained are allowing nowadays, for all enterprise and entities in the country in the construction field to carry out the design, construction and investment works with the technological requirements that allow to increase the durability of the reinforced concrete structures with service life term higher of 50 years for all the built heritage and that is built, without additional costs in repair work.

Keywords: structures; reinforced concrete; technological requirements; aggressive coastal environment; atmospheric corrosion.

INTRODUCCIÓN

Diversos estudios basados en la evaluación de la agresividad corrosiva de la atmósfera en Cuba, se han venido desarrollando en el Grupo de Protección de Materiales perteneciente a la Dirección de Investigación, Desarrollo e Innovación del CNIC. Los resultados obtenidos en una primera etapa, permitieron como parte de la innovación, la elaboración del Mapa de Agresividad Corrosiva de la Atmósfera de Cuba mostrado en la Figura 1. El mapa fue elaborado por un grupo antecesor de investigadores que formaron parte del Colectivo Internacional de Corrosión pertenecientes también al CNIC.

Posteriormente el Grupo de Protección de Materiales del CNIC, de conjunto con la Facultad de Ingeniería Química y Civil de la Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), ejecutaron una serie de investigaciones de corrosión atmosférica en otras zonas costeras estratégicas y de elevado potencial constructivo, que no fueron tenidas en cuenta en la elaboración del mapa; tales como la Zona Especial de Desarrollo Mariel, la Zona de Mayor Generación de la Energía Eólica ubicada en Gibara Holguín, Refinería “Nico López”, las zonas de extracción de petróleo al este de La Habana y al oeste de Matanza, la zona del malecón habanero y Miramar llegando hasta el parque Isla del Coco y el casco histórico de la Habana.

De forma general, se evaluó en casi todo el país, el efecto de la penetración del aerosol marino a partir del comportamiento de la deposición de las sales de iones cloruro a diferentes distancias desde el mar. Las deposiciones de las partículas salinas de mayor peso y tamaño, transportadas en el aerosol marino, se depositaron hasta una distancia desde el mar de un km por la costa norte y hasta tres km por las costas norte y sur. Estas partículas salinas de mayor peso y tamaño son originadas por el rompiente de las olas y producen niveles de agresividad corrosiva de la atmósfera catalogados de muy elevados y extremos. En las zonas costeras del país de elevado potencial constructivo, sobre todo en la costa norte, las sales de iones cloruro al penetrar en el hormigón por sus poros capilares, originan y desarrollan el fenómeno de la corrosión atmosférica al llegar a los aceros de refuerzo. De ahí, el intenso y acelerado deterioro en las estructuras de hormigón armado.

Por otra parte, la ejecución de los preventivos e importantes estudios de diagnósticos a pie de obra, antes de que se produzca un marcado desarrollo del fenómeno en el tiempo, así como los posteriores y muy necesarios trabajos de mantenimiento derivados de los propios estudios, son insuficientes en la actualidad. Esta insuficiencia se debe a la carencia de personal altamente especializado, así como de la tecnología destinada a la ejecución de los trabajos de diagnóstico. Otro factor que influye en el deterioro, es el elevado precio en el mercado de los materiales y productos utilizados en los trabajos costosos de reparación en las estructuras intensamente afectadas por el fenómeno.

Las mayores deposiciones promedios anuales de iones cloruro (superiores a 1500 mg/m²d) ocurrieron en La Habana hasta una distancia desde el mar mucho menor (30 m) debido a la influencia del efecto del apantallamiento de las propias estructuras sobre el aerosol marino. El 95% del total de la deposición a diferentes distancias desde el mar en la ciudad, es depositado precisamente hasta una distancia alrededor de los 30 m.

Precisamente en el litoral norte de La Habana, específicamente en zonas muy próximas al mar, existen disímiles estructuras de hormigón armado muy deterioradas debido al fenómeno de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo. Las viviendas de hormigón armado clasificadas de tipo uno en el Consejo Popular del Vedado, resultan el 80% del total de las viviendas unifamiliares incluyendo los edificios. El 30% de estas situadas en zonas cercanas al mar sin el efecto del apantallamiento, se encuentran catalogadas de regular o en mal estado.

Se destaca también en dicha zona costera, el elevado número de instalaciones hoteleras, culturales, recreativas y deportivas muy deterioradas debido a la intensidad del fenómeno, afectando el bienestar social de la población debido a su no funcionamiento. Por tanto, la zona del litoral costero de La Habana (zona del malecón) es considerada como una de las más crítica en el país, debido al gran número de estructuras muy deterioradas, por lo que fue escogida para la realización del trabajo investigativo como se estila en estos estudios, para la obtención de los requerimientos tecnológicos, mediante la colocación de probetas de diferentes tipos de hormigón armado a diferentes distancias desde el mar, durante un tiempo de exposición de tres años. Los requerimientos tecnológicos obtenidos a partir de los resultados del estudio, están sirviendo de referencia para todos los procesos de diseño, inversión y construcción de las estructuras de hormigón armado que se vienen ejecutando en las zonas de elevado potencial constructivo en todo el litoral costero de Cuba.

DESCRIPCIÓN DE LA INNOVACIÓN

Previamente, se procedió con la evaluación exhaustiva de la calidad de los hormigones antes de someterlos al ambiente agresivo costero. Se elaboró una propuesta de dosificación del hormigón de relación agua/cemento de 0,4 a diferencia de las restantes dosificaciones que se venían usando en las construcciones de las estructuras en el país.

Para el logro de los requerimientos tecnológicos se consideró previamente:

a) La vida útil en el litoral norte costero de Cuba para las estructuras de hormigón armado, estimada a partir de la suma de los tiempos de iniciación (ti) y de propagación (tp) del fenómeno de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo en función del espesor de recubrimiento (20 y 40 mm) y la calidad del hormigón (relación agua/cemento). Se trata de la primera experiencia en el país y a nivel mundial en cuanto a la determinación de la vida útil a partir de la determinación experimental de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo embebido en el hormigón armado, bajo condiciones de agresividad corrosiva de la atmósfera entre muy elevada y extrema.

b) Los tiempos de iniciación y propagación son mostrados en la Tabla 1. Es de notar, como esta vida útil (Vu) no sobrepasó los cinco años para los hormigones elaborados con relaciones agua/cemento 0,5 y 0,6 a ambos espesores de recubrimiento. Se aprecia en la Figura 2 la formación de las fisuras y grietas originadas por el fenómeno de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo. Este efecto fue menos significativo para la probeta de hormigón armado de relación agua/cemento 0,4 con un espesor de 20 mm. La vida útil estimada de 15 años (<<50 años), es considerada corta.

- c) El hormigón armado de relaciones agua/cemento 0,5 y 0,6, no garantiza una protección primaria adecuada como barrera física entre el ambiente agresivo costero y los aceros de refuerzo para los espesores de recubrimiento de 20 y 40 mm. Se trata de las condiciones de diseño más usadas para la dosificación y elaboración del hormigón en las plantas de producción en Cuba, usados en la construcción de las estructuras.
- d) 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 (ti), como se muestra en la Tabla 1.
- e) Las estructuras de hormigón armado que se pretenden construir bajo dichas condiciones de diseño (relación agua/cemento 0,4 y espesor de 40 mm) con los requerimientos en zonas costeras, alcanzarían una vida útil de proyecto superior a 50 años en caso de un tiempo mínimo de propagación (tp) como bien indicaron los modelos. A partir de ese tiempo de iniciación (ti) es que deben iniciarse los trabajos de mantenimiento y ni tan siquiera los de reparación. De esta forma, se le da solución a la problemática basada en la prevención del deterioro anticipado en las estructuras de hormigón armado emplazadas en zonas costeras muy estratégicas para el país y de elevado potencial constructivo, principalmente en la costa norte. Los resultados obtenidos son confirmados con la observación visual de las probetas de hormigón armado como se muestra en la Figura. 2, colocadas a una distancia de menos de 30 m desde el mar en una zona no apantallada de la la Habana, durante los tres años de estudio.
- f) Los ensayos de resistencia a la compresión y velocidad de pulso ultrasónicos realizados por las empresas y entidades dedicadas a las labores de construcción, no son suficientes para la evaluación de la calidad del hormigón armado antes de someterlo al medio agresivo costero. Se necesita, una evaluación más profunda antes de someterlo a condiciones de muy elevada y extrema agresividad corrosiva de la atmósfera en todo el litoral costero norte y sur de Cuba. Los hormigones que se elaboraban en Cuba a partir de las relaciones agua/cemento 0,5 y 0,6 han venido presentando una resistencia a la compresión promedio de 30 y 26 MPa y velocidad de pulso ultrasónico promedio de 3 941 y 3 408 m/s, respectivamente.
- g) La normativa cubana establecía que, para garantizar una elevada durabilidad en el hormigón sometido a condiciones de agresividad corrosiva de muy elevada y extrema, en atmósferas costeras, la resistencia a la compresión mínima del hormigón debe ser aproximadamente de 30 MPa, típico de un hormigón de relación agua/cemento 0,5. Para nada eran tenidos en cuenta por parte de las empresas y entidades, dos parámetros en la evaluación de la calidad del hormigón, que permiten establecer los requerimientos tecnológicos para obtener plazos elevados de vida útil superiores a 50 años como son: el porcentaje de porosidad capilar efectiva y la velocidad de absorción capilar. Para la determinación de ambos parámetros, se ejecutó una investigación en el Centro de Estudios de la Construcción y Arquitectura Tropical (CECAT) de la Facultad de Ingeniería Civil de la Cujae, después de conocer los niveles de penetración del aerosol marino en el país. Se logró comprobar con esta investigación que, para un hormigón de relación agua/cemento 0,4 con áridos calizos cubanos triturados y que obliga a una adecuada disciplina tecnológica en cuanto a su compactación y curado a pie de obra, se cumple con la obtención de un porcentaje de porosidad capilar efectiva inferior al 10% y una resistencia a la compresión de 35 MPa. De esta forma, el hormigón se clasifica como durable en ambientes agresivos costeros, como fue demostrado anteriormente al ser sometido a niveles muy elevados y extremos de agresividad corrosiva de la atmósfera, con espesor mínimo de recubrimiento de 40 mm. En tanto que, los hormigones de relaciones agua/cemento de 0,5 y

0,6, muy usados en las construcciones en Cuba, clasifican en el entorno de un porcentaje de porosidad capilar efectiva entre 11 y 20% respectivamente, por lo cual resultan muy permeables a la penetración de los agentes agresivos, principalmente las sales de iones cloruro para ambos espesores, originando y desarrollando de forma anticipada el deterioro intenso de las estructuras de hormigón armado debido a la corrosión atmosférica del acero de refuerzo.

En esta investigación se ha puesto de manifiesto además que, los hormigones elaborados con áridos calizos cubanos de elevada absorción de agua, pueden cumplir con el requerimiento de un ritmo de absorción capilar inferior a $5 \times 10^{-5} \text{ m/s}^{1/2}$ para un hormigón de relación agua/cemento 0,4 lo cual obliga el cumplimiento estricto de las buenas prácticas durante el hormigonado de las estructuras. Se trata de un vertido continuo y uniforme, una buena compactación y un buen curado en los tiempos mínimos establecidos en la nueva normativa cubana en dependencia del tipo de cemento utilizado.

Los resultados obtenidos a partir de ambos parámetros permitieron entonces, la obtención de los requerimientos tecnológicos por los cuales hoy se rige la rama de la construcción en Cuba, al proceder con las labores de diseño y construcción de las estructuras de hormigón armado en zonas costeras estratégicas para el país y de elevado potencial constructivo. De esta forma, se vienen construyendo estructuras de hormigón armado, densas, compactas, uniformes, sin juntas frías ni fisuras y curadas, como la alternativa más precisa y económica que garantice los plazos de vida útil ya indicados.

Los dos ensayos básicos que permiten precisar el grado de porcentaje porosidad capilar efectiva y de velocidad de absorción capilar (o Sortividad) de los hormigones, tanto en su fase de diseño, como en los hormigones ya colocados, compactados y curados en las estructuras, facilitan comprobar la garantía del desempeño adecuado. En el caso de detectarse insuficiencias en las estructuras de hormigón ya construidas, ya sea por el incumplimiento de los requisitos tecnológicos básicos para la producción de hormigón, o por deficiencias en el propio proceso de construcción de las estructuras, así como que se haya violado el espesor de recubrimiento mínimo del acero de refuerzo embebido en el hormigón (40 mm), sería indispensable la exigencia por parte de la entidad inversionista, que la entidad constructora garantice la aplicación adicional de algunos de los sistemas disponibles de protección secundaria para dichas estructuras y su mantenimiento sistemático, durante todo el plazo de su vida útil de diseño.

De esta manera, se está garantizando actualmente, una esmerada y cuidadosa ejecución en las labores de construcción lográndose plazos de vida útil superiores a los 50 años en las estructuras de hormigón armado expuestas al ambiente agresivo en el litoral costero de Cuba. La innovación en cuanto a la nueva dosificación del hormigón involucra los requerimientos tecnológicos que se enumeran:

1. La producción en las plantas del país de un hormigón de relación agua/cemento igual o inferior a 0,4 sin costos energéticos y de insumos significativos, garantiza una protección primaria eficaz de los hormigones hacia los aceros de refuerzo, lo cual ha implicado un riguroso diseño de mezclas.
2. Se logran hormigones con resistencias a la compresión especificadas no inferiores a los 35 MPa, con valores de porcentaje de porosidad capilar efectiva inferiores a un 10%, es decir muy impermeable a la penetración de los agentes agresivos en zonas costeras y con velocidades de absorción capilar no mayor de $5 \times 10^{-5} \text{ m/s}^{1/2}$. Estos valores han sido tomados como referencia internacional, sobre todo en los países iberoamericanos.
3. Con relación al empleo de encofrados, se elimina totalmente la posibilidad de pérdidas de la pasta de cemento en el proceso de la colocación y la compactación de la

mezcla de hormigón, lo cual es especialmente importante cuando se emplean encofrados de madera. En caso de que los sistemas de encofrados no garanticen la estanqueidad adecuada como casi siempre sucede, este diseño de mezcla no origina pérdidas insignificantes de la pasta de cemento.

4. Una cuidadosa colocación del acero de refuerzo, garantizando los espesores de recubrimiento de hormigón (40 mm), con el empleo de separadores resistentes y estables.

5. El diseño de mezcla de hormigón con relaciones agua/cemento no superiores a 0,4 garantiza una compacidad adecuada. Se trata de una mezcla que proporciona un hormigón muy uniforme (sin segregación y exudación) con un asentamiento por el cono de Abrams no inferior de 14 a 16 cm. De esta manera queda garantizada la laborabilidad adecuada del hormigón durante su vertido a pie de obra.

6. Se efectúa un mejor ajuste de las dosificaciones de hormigón en el proceso productivo por la humedad total de los áridos finos y gruesos.

7. Se ejecuta un vertido más continuo y uniforme del hormigón en los encofrados de las estructuras, sin la formación de juntas frías, oquedades ni fisuras, con una cuidadosa compactación de manera que el hormigón quede completamente denso, compacto y uniforme.

8. Se mejora grandemente el curado continuo de la superficie de la estructura inmediatamente después de concluir el vertido, la compactación y la terminación de la superficie del elemento hormigonado. El curado consistirá en mantener la superficie del hormigón húmeda solo durante los tres primeros días, si el hormigón se elabora con un cemento Portland de alta resistencia inicial, a los siete primeros días con un cemento Portland convencional y a los 15 días si el cemento posee adiciones activas como puzolanas. Todos los requerimientos anteriormente indicados, existen ya en la base de la nueva normativa cubana. Esta normativa ha sido aprobada por el Comité Técnico de Normalización CTN 37 "Hormigón reforzado y Morteros" del Ministerio de la Construcción.

INTRODUCCIÓN DE LA INNOVACIÓN EN LA PRÁCTICA SOCIO-ECONÓMICA

Los requerimientos tecnológicos básicos para la construcción de las estructuras de hormigón armado, además de estar en la nueva normativa cubana de la construcción, se están exigiendo y aplicando en todas las Unidades Presupuestadas de Nivel Central encargadas de las labores de diseño y construcción de las estructuras de hormigón armado en todo el país. De esta forma, la innovación está introducida ya en la práctica.

En los documentos anexos del expediente del premio se incluyó:

- Los dictámenes de los órganos científicos que originaron el resultado: CNIC y CUJAE.
- Las acreditaciones de las entidades en la cuales se ha aplicado el resultado. Ministerio de la Construcción. Inmobiliaria ALMEST de las FAR, Oficina Nacional de Normalización.
- Las acreditaciones de aprobación de las investigaciones realizadas y financiadas por las extintas Direcciones de Normalización y Desarrollo Tecnológico del MICONS.
- La certificación otorgada por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) sobre el entrenamiento impartido por uno de los autores principales de esta investigación al personal de sus laboratorios de la ENIA en cada provincia del país, para montar y ejecutar los nuevos ensayos de porcentaje porosidad capilar efectiva y de velocidad de absorción capilar de los hormigones.

- La certificación de la Universidad Tecnológica de La Habana-CUJAE, por los más de 15 cursos impartidos por uno de los autores principales al personal de las diferentes empresas e instituciones vinculadas a las labores de diseño y construcción. Los conocimientos adquiridos han conducido a la erradicación de indisciplinas tecnológicas en la construcción de las estructuras de hormigón armado.
 - Se han impartido cursos internacionales sobre estudios de corrosión atmosférica en zonas de elevado potencial constructivo y como rehabilitar una estructura de hormigón armado con un intenso deterioro haciendo uso de los requerimientos tecnológicos, en países con climas tropicales costeros.
 - Aavales de las Unidades Presupuestadas del MICONS encargadas de las labores de diseño y construcción de las zonas costeras turísticas de elevado potencial constructivo en todo el país.
 - La Norma Cubana NC 120:2014, ha tenido en los últimos años una amplia aplicación en diversos proyectos de inversiones industriales a nivel nacional, por ser la primera norma donde quedan establecidas claramente las especificaciones por desempeño para los hormigones.
 - La Norma, además de una repercusión nacional debido a la aplicación de los requerimientos, tiene actualmente una repercusión internacional. Varios países se han interesado por el documento y lo han adquirido a través de la Oficina Nacional de Normalización en Cuba, tal como ha sido indicado por el Presidente de esta Organización. Con la concepción completa de la innovación, presentada a partir de la elaboración y aprobación de la nueva normativa y de su adopción por los laboratorios territoriales y nacional de la ENIA, así como la elaboración de la norma Cubana NC 120 y la inclusión de estos dos parámetros dentro de las exigencias de durabilidad de las estructuras de hormigón armado, ya se dispone del marco legal para poder evaluar si un diseño de mezcla de hormigón resulta adecuado o no para enfrentar el ambiente agresivo costero de Cuba. Se trata de un instrumento esencial para la parte inversionista de las obras, de que las estructuras de hormigón ya ejecutadas pudieran o no cumplir con los plazos de vida útil establecidos en ambientes altamente agresivos.
- Atendiendo a los resultados de esta investigación, quedaron establecidas por primera vez a nivel internacional, en una normativa básica de especificaciones para el Hormigón, dos especificaciones por desempeño, incluyéndose en el apartado 6.3.2 como “Valores límites para la composición de la mezcla de hormigón”, en la Tabla 11, de la Página 26 de la Norma Cubana NC 120:2014.
- La transferencia de los conocimientos en cuanto a la obtención y aplicación de los requerimientos tecnológicos en todo el país, ha traído como resultado el otorgamiento de premios y reconocimientos de elevado prestigio desde el inicio de la investigación. Primeramente, el otorgamiento de la **DISTINCIÓN ESPECIAL DEL MINISTRO DE EDUCACIÓN SUPERIOR A LOS DOS PRIMEROS AUTORES PRINCIPALES DE ESTE TRABAJO** concedidas en los años 2009 y 2016. La orden CARLOS. J. FINLAY a uno de los autores principales. El otorgamiento de dos **PREMIOS ANUALES DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA** en los años 2010 y 2014. Dos premios **PROVINCIALES DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA** otorgados en los años 2014 y 2015. Con relación a los **Fórum Provinciales de Ciencia y Técnica**, se han conferido tres premios **RELEVANTES** entre los años 2013 y 2015. Se destaca el **Fórum Provincial de la Asociación Nacional de Economistas y Contadores de Cuba (ANEC)** donde se refleja el impacto económico del estudio. Los sellos **FORJADORES DEL FUTURO DE LAS BTJ** individual a uno de los autores principales y el colectivo al Grupo de Protección de

Materiales del CNIC. El premio al resultado que refleja el avance científico técnico de mayor transcendencia y originalidad, así como al resultado ya aplicado que más haya contribuido a la protección del medio ambiente, ambos otorgados en el balance anual de investigaciones de la CUJAE en el año 2014.

BENEFICIOS ECONÓMICOS, SOCIALES Y AMBIENTALES

Los costos de los trabajos de reparación en ambas monedas ejecutados durante el año 2012 en ocho estructuras deterioradas por el fenómeno de la corrosión del acero de refuerzo, obtenidos del Grupo de Diagnóstico de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA), perteneciente al MICONS, son demostrados en la Tabla 2. 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 válido señalar que en todas las estructuras los aceros de refuerzo fueron colocados entre 20 y 30 mm de espesor de recubrimiento de hormigón. La relación agua/cemento del hormigón estuvo, según los constructores, 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 una 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.

Los costos de reparación (CR) en las dos monedas fueron superiores en comparación con los costos totales de las siete estructuras reparadas parcialmente (CTRP) (Tabla 2).

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 (CTRP) y con los costos de la estructura que fue reparada totalmente (CR).

Este primer aspecto permite demostrar que, el estudio basado en obtener estructuras de hormigón armado altamente resistente al ambiente agresivo costero de Cuba, con plazos de vida útil superiores a 50, a partir de la aplicación de los requerimientos tecnológicos, resultó menos costoso que combatir el fenómeno directamente a pie de obra.

Otra forma de demostrar la factibilidad económica del estudio es teniendo en cuenta los porcentajes establecidos, a partir de la suma de ambas monedas, entre el costo total de la investigación y los costos totales de las siete estructuras reparadas de forma parcial y la total. Con relación al primero se obtiene que solo se utilice el 25,3 % del costo total invertido en los trabajos de reparación parcial. Para la estructura de reparación total se obtiene que solo un 16,3 % del costo total invertido en los trabajos de reparación total sea utilizado en los estudios de investigación.

El costo total de los trabajos de reparación parcial en ocho estructuras de la capital y en otras zonas costeras del país en el año 2012 fue de \$ 2 667 055,53 en ambas monedas (Tabla 2), manteniéndose casi esta misma tendencia durante el resto de los años. Un aspecto muy importante sería estimar en cuanto disminuyen los costos de reparación en el tiempo, lo cual justifica aún más la ejecución del estudio.

Teniendo en cuenta que a partir de 50 años de exposición es que pudieran iniciarse los trabajos de mantenimiento para una estructura construida con un hormigón armado de relación agua/cemento 0,4, donde los aceros de refuerzo deben colocarse a 40 mm de espesor de recubrimiento con el estricto cumplimiento de los requerimientos tecnológicos. Se

considera entonces que, el resultado del cociente entre el costo total de los trabajos de reparación y dicho tiempo de exposición, representa que anualmente pudieran gastarse solamente \$ 53 351,00 entre ambas monedas en caso de que se mantenga la tendencia de un costo total de los trabajos de reparación muy similar al obtenido. Por tanto, se estima que la disminución de estos trabajos costosos de reparación en el tiempo, trae como resultado un ahorro considerable. Este ahorro puede ser estimado a partir de la diferencia entre el costo total de reparación entre ambas monedas (\$ 2 667 055,53) y lo que se pudiera gastar anualmente. De esta manera se tiene que anualmente pueden ahorrarse \$ 2 613 719 entre las dos monedas, es decir un 98 % con relación al costo total de los trabajos de reparación.

Otra forma de demostrar la factibilidad económica del estudio propuesto se comprueba con el ejemplo siguiente:

Sea un edificio prefabricado o “in situ” de hormigón armado de 5 plantas, con una vida útil de proyecto estimada en 50 años, en una zona muy próxima al mar, con elevada agresividad corrosiva de la atmósfera.

El inversionista comprueba que el hormigón colocado en las estructuras expuestas no cumple con los requerimientos tecnológicos, para las condiciones ambientales en que quedará expuesto. Esto simplemente implica que no se ha respetado ni la calidad mínima del hormigón (relación agua/cemento especificada), ni una colocación, compactación y curado adecuados. A esto puede unirse el hecho de que el espesor mínimo de recubrimiento del acero en los paneles, para las condiciones ambientales expuestas, tampoco haya sido respetado.

Ante estos incumplimientos, el constructor se ve obligado a financiar la protección secundaria de toda la superficie expuesta mediante un “primer” y posteriormente la aplicación de una pintura resina acrílica para un área expuesta del edificio, estimada en unos 910 m²:

Costo actual del “primer” de base acrílica: 1,50 \$/m²

Costo de la resina acrílica: 7,01 \$/m²

Costo unitario total (sólo por los materiales empleados): 8,51 \$/m²

Se estima por el proveedor de los productos, una vida útil de la pintura en ambiente agresivo de unos 5 años, por lo que, para los 50 años de vida útil requeridos, como mínimo hay que hacer 10 aplicaciones, es decir: 910 m² x 8,51 \$/m² x 10 = \$ 77 441,00. Se incurre en casi un 30 % adicional al costo total de la estructura del edificio, solo por incumplimiento de lo establecido en la investigación y por malas prácticas en el proceso de construcción de la estructura expuesta al ambiente agresivo. Esto es solo teniendo en cuenta el costo del producto utilizado como protección secundaria de los paneles de hormigón y no la mano de obra y otros insumos para ejecutar la aplicación de los productos y su renovación cada 5 años.

Para unos 500 edificios multifamiliares de 30 apartamentos (viviendas para unas 60 000 personas) construidos en zonas no apantalladas de la costa norte de Cuba, muy próximas al mar, no solo en la capital, sino también en otras zonas costeras del litoral norte, muy estratégicas para el país, equivale a gastos adicionales superiores a los 38 millones de dólares, con la incertidumbre de que si no se cumplen los requerimientos de reposición de las pinturas a los 5 años (mantenimiento), no se alcanzarán los 50 años de vida útil de proyecto de las edificaciones.

Hoy en día una estructura de hormigón armado expuesta a ambiente muy agresivo ha mostrado tener una vida útil real proyecto (cuando comienzan a aparecer los primeros síntomas de corrosión del acero de refuerzo de las estructuras) a los 5 años de exposición al medio agresivo sin tener en cuenta los requerimientos tecnológicos.

La aplicación de los requerimientos tecnológicos en las zonas costeras del país de elevado potencial constructivo, debido a la demanda creciente de la industria del turismo, ha conducido a una disminución considerable en el tiempo de los trabajos costosos de reparación. Esto conlleva a la disminución considerable de la importación de aditivos, tecnologías y productos especializados de un elevado precio en el mercado, los cuales son muy utilizados en los trabajos costosos de reparación de las estructuras intensamente dañadas por el fenómeno. “Prever en inversiones, es economía”. De esta forma se cumplen con los Lineamientos del 287 al 291 de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución referidos a la construcción, basados en racionalizar el uso de los recursos disponibles para la construcción de las estructuras, la conservación y renovación de las viviendas existentes, así como satisfacer las necesidades y expectativas de los inversionistas y usuarios en cuanto a la calidad y durabilidad de las estructuras de hormigón armado.

Además de los demostrados beneficios económicos que se vienen alcanzando con este estudio, hay que considerar el alto impacto social. El aporte social del estudio está encaminado a construir las estructuras de hormigón armado del sector residencial y estatal con mayores criterios de durabilidad y vida útil, sobre todo en aquellas zonas donde existe la influencia directa del aerosol marino en las zonas costeras del país. Esto evitará la ocurrencia de desastres en las estructuras y un bienestar social mayor de la población. Los desastres ocurridos hasta el momento, no solo han constituido pérdidas cuantiosas de estructuras y materiales, sino algo más importante: las pérdidas valiosas de vidas humanas. La orientación socialista de la revolución, hace que la vivienda en Cuba no se vea como un producto a fabricar con fines de lucro. Ella constituye una necesidad básica de la población a resolver con una participación importante del estado.

La mitigación del proceso de deterioro en las estructuras de hormigón armado expuestas al ambiente agresivo costero en el clima tropical de Cuba, a partir de la aplicación de los requerimientos tecnológicos, constituye también un beneficio ambiental para el país. Esto ha conllevado a una racionalización en cuanto a la producción de cementos y extracción de áridos, que solo se vienen realizando actualmente destinado a las labores de construcción y no de reparación a las estructuras ya construidas en zonas estratégicas para el país y de elevado potencial constructivo.

La racionalización en cuanto a la producción de cementos ha conducido a una menor emisión de CO₂ a la atmósfera. Con relación a los áridos y el propio cemento, se garantiza además una mayor preservación y menor consumo de los recursos naturales.

Todo esfuerzo que conlleve a la preservación del patrimonio construido y por construir, es también un aporte relevante y de alto valor, dirigido a la conservación del medio ambiente.

Se destaca la repercusión en los medios de difusión masiva la importancia que ha tenido para la sociedad, la obtención de los requerimientos tecnológicos en la rama de la construcción en Cuba, con vistas a demostrar su impacto en cuanto a los beneficios económicos, sociales y ambientales.



Figura 1. Mapa de agresividad corrosiva de la atmósfera de Cuba

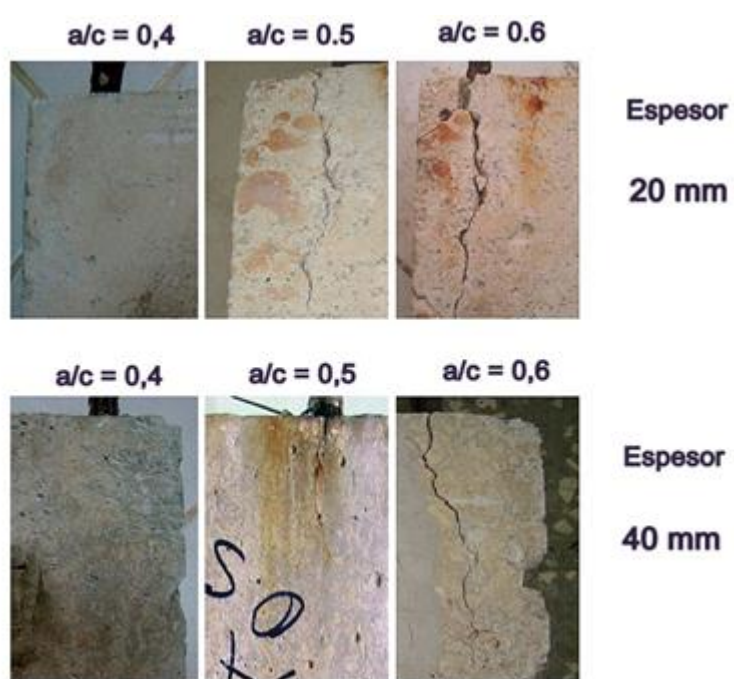


Figura 2. Observación visual de las probetas. Se observa el agrietamiento en el hormigón armado para las relaciones agua/cemento 0,5 y 0,6 a ambos espesores de recubrimiento.

Tabla 1. Tiempos de iniciación, propagación y de vida útil para diferentes relaciones agua/cemento y diferentes espesores de recubrimiento de hormigón.

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	12	15	50	-	-
0,5	1	3	4	2	3	5
0,6	1	2	3	1	2	3

Tabla 2. Costos totales de los trabajos de reparación y de investigación.

CTR _p (MMP)			CR (MMP)			CTE (MMP)		
CUP	CUC	Total	CUP	CUC	Total	CUP	CUC	Total
656,70	397,39	1 054,09	723,63	889,33	1 612,96	265,0	3,35	267,055

Leyenda: CTR_p: Costos totales de reparación parcial, CR: Costos de reparación total, CTE: Costos totales del estudio investigativo, MMP: Miles de pesos.