

Importancia del estudio del desempeño por durabilidad del puente del río Chone, provincia de Manabí, Ecuador

Importance of the study on the performance by durability of Chone river bridge, Manabí province, Ecuador

Juan. C. Guerra¹, Juan. J. Howland², Abel Castañeda³

¹Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

²Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

³Centro Nacional de Investigaciones Científicas, La Habana, Cuba

Correo electrónico: smejias@uclv.edu.cu

Este documento posee una licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional 

Recibido: 5 de septiembre de 2017 Aprobado: 13 de diciembre de 2017

Resumen

En el presente artículo se pone en evidencia la imperiosa necesidad de realizar estudios más profundos del desempeño por durabilidad del puente del río Chone, cuyo deterioro apreciable a corto plazo requiere que se implementen adecuaciones a los criterios y las normativas con que se proyectó, que permitiría garantizar en futuras obras en la región un plazo de vida útil no inferior a los 80 años. Finalmente, aunque los resultados del estudio puedan aplicarse a ambientes de una extrema agresividad corrosiva de la atmósfera, se concluye que las obras ubicadas en cualquier localidad con entorno ambiental potencialmente agresivo, requieren de estudios casuísticos con vistas a garantizar los plazos de vida útil requeridos.

Palabras claves: durabilidad, agresividad corrosiva, normativas, estructuras, hormigón, efecto medioambiental

Abstract

This article presents the imperative necessity to carry out deeper studies of the durability of the River Chone bridge, whose appreciable deteriorations in short term require some adaptations to the approaches and normative which it was projected, that allow to guarantee in future works in the region a project life up to 80 year. Finally, although the results of the study that can be applied to environments of an extreme corrosive aggressiveness, is concluded that the structures located in potentially aggressive environments in any place, require of special studies with a point of view to guarantee the required project life.

Key words: durability, corrosive aggressiveness, concrete structures, environmental effects

INTRODUCCIÓN

Históricamente, el diseño de las estructuras de hormigón armado se ha realizado con énfasis en el criterio de alcanzar las apropiadas resistencias mecánicas. De esta manera, se han logrado tener estructuras que soportan adecuadamente las cargas de servicio. Sin embargo, se reportan problemas relacionados con su desempeño ante el medio ambiente en el que se encuentra la estructura [1 - 4]. Este comportamiento motivó estudios específicos, encaminados a determinar las razones del deterioro del hormigón y solucionar problemas prácticos en las estructuras ya construidas [5 - 10].

El estudio del proceso de deterioro de las estructuras de hormigón armado ha estado asociado en su origen a una combinación de agentes agresivos tanto físico-químicos, como biológicos y mecánicos. Los agentes físicos son por lo general debidos a cambios en el entorno medioambiental (por ejemplo, los efectos de la congelación-deshielo, cargas ambientales no previstas, etc.). Entre los agentes químicos se destacan los ataques por sulfatos, nitritos, ácidos, agua de mar y cloruros.

Estos últimos inducen la corrosión electroquímica del acero de refuerzo. Los agentes biológicos pueden ser microorganismos, algas y moluscos. Los mecánicos se deben a las condiciones a que se expone el hormigón (por ejemplo, abrasión y erosión). En ocasiones, estos agentes se presentan simultáneamente. Obviamente, el efecto del daño se debe a propiedades intrínsecas y extrínsecas del hormigón, como es la calidad y compactación del mismo y el grado de agresividad al que se encuentra expuesto.

El comportamiento de los agentes agresivos está en función del entorno en que se encuentra la estructura, dependiendo de la temperatura, humedad, velocidad de penetración y los mecanismos de transporte. Dichos agentes agresivos pueden estar en forma gaseosa, líquida o de partículas que forman parte de los suelos adyacentes al hormigón. En la literatura, se señalan como principales factores del deterioro de las estructuras de hormigón: la exposición al ataque químico de gases o sustancias disueltas en las aguas, la corrosión del acero de refuerzo y de otros metales embebidos en el hormigón, además de la posible potencialidad reactiva de los agregados utilizados en la fabricación del hormigón y la abrasión.

En diferentes trabajos investigativos [11 - 15] se evidencian las tendencias actuales del desarrollo de estudios centrados en el diseño y la elaboración de hormigones, con propiedades que permitan un mejor desempeño ante ambientes agresivos, atendiendo a factores que tienen estrecha vinculación con la durabilidad (permeabilidad, microfisuración, composición de las mezclas de hormigón, su compactación y curado).

Según la FIB [16] se acepta en general esta definición de durabilidad: *Durabilidad es la capacidad de una estructura o de un elemento estructural de mantener un adecuado desempeño por un período considerado de tiempo bajo las acciones e influencias previstas del medio ambiente.*

Para alcanzar estos requerimientos se necesita mejorar el conocimiento sobre el desarrollo y los procesos de elaboración y control de los hormigones. Entre las variables que influyen sobre la durabilidad de las estructuras, la permeabilidad del hormigón es un factor relevante.

Neville [17] resalta que: *Son de importancia para la durabilidad del hormigón los líquidos y gases que lo penetran. Los líquidos y gases más comunes son el agua, los iones puros o agresivos, el dióxido de carbono y el oxígeno. La durabilidad del hormigón depende en gran medida de la facilidad con que los líquidos o los gases (o ambos) entran y se mueven a través del hormigón. A esto se llama comúnmente permeabilidad del hormigón.*

Precisando sobre las propiedades más importantes asociadas al transporte de fluidos en el hormigón (mecanismos de transporte), estas se pueden establecer como: la porosidad, la permeabilidad y difusividad iónica.

Todo lo anterior estriba en que el hormigón es un material de estructura porosa, con diferentes estructuras de poro y que además, desarrolla procesos de microfisuración. De esta forma, deben considerarse todas las variables que intervienen en su producción si se tiene como meta la obtención de materiales durables; y más si la porosidad del hormigón está reconocida en todo el mundo [18] como uno de los parámetros que más influye en los mecanismos de transporte de los agentes agresivos hacia el interior de su estructura. Específicamente, dentro del estado poroso-capilar del hormigón es la porosidad efectiva, o sea, la porosidad interconectada y conectada a su vez con el exterior, la que tiene una influencia decisiva en el intercambio de humedad con el entorno. En la materialización de dichos mecanismos de transporte, la medida de la porosidad efectiva de los hormigones es a su vez un indicador del grado de durabilidad que estos garantizan a las estructuras de hormigón y hormigón armado, frente a los agentes agresivos. Además, se ha comprobado que cuando el árido utilizado es poroso (lo que se caracteriza por una elevada absorción de agua) se incrementará la porosidad y la permeabilidad del hormigón.

Por otro lado, técnicamente resulta inviable evaluar la interacción entre fluidos y componentes de la pasta de cemento, los cuales condicionan las modificaciones que se producen a través del tiempo en los mecanismos de transporte que alteran la estructura de poros y la microfisuración a partir de cambios físicos-químicos. Debido a esto, en hormigones convencionales de estructura porosa con poros capilares interconectados, es usual utilizar la absorción de agua o su permeabilidad bajo presión de agua como indicadores de durabilidad, así como también la velocidad de la absorción de agua, también denominado sorptividad. A tal efecto existen diversos procedimientos de ensayos para evaluar estos parámetros.

Algunas estructuras expuestas a condiciones marinas están sobre todo sometidas al fenómeno de la penetración de los iones cloruros, la que puede ocurrir mediante dos mecanismos [19]; por difusión en el hormigón saturado de agua o por fenómenos de absorción/desorción al producirse ciclos de humedad/secado. La difusión se produce cuando existen diferencias de concentración entre dos puntos, por lo que resulta el mecanismo de penetración en estructuras completamente sumergidas o en contacto permanente con agua de mar o salobre.

En cambio, en zonas aéreas o sometidas a la acción de las mareas o salpicaduras se producen ciclos de humedad/secado. Estos ciclos originan mecanismos de penetración de los cloruros más rápidos. Además de la difusión, aparecen fenómenos de absorción capilar o de niebla salina que conducen a penetraciones aún más elevadas.

Debe destacarse que la porosidad del hormigón es sin dudas un factor crucial en todos estos fenómenos. La absorción será más rápida cuanto mayor sea la porosidad del recubrimiento. Así, bajas relaciones agua/cemento(a/c) y relativamente altos contenidos de cemento, son una cierta garantía para una difusividad más lenta de los iones cloruros. El tipo de cemento utilizado y su capacidad de retener o combinar cloruros es también un parámetro relevante del proceso.

Otro proceso agresivo reportado es la carbonatación [20]. En este proceso el dióxido de carbono (CO_2), presente en la atmósfera reacciona con las sustancias alcalinas de la solución del poro en el hormigón, y con las diferentes fases en la pasta de cemento hidratada (en especial el hidrato de cal). Esto trae como resultado reacciones de neutralización en el interior del material. Cuando este fenómeno ocurre en el hormigón que rodea a la armadura, el pH de la solución acuosa decrece y las barras se corroen uniformemente formando productos de corrosión que eventualmente pueden agrietar y romper la capa de hormigón que las recubre. Esta repentina disminución del pH en el interior del hormigón da lugar a un frente carbonatado, el cual puede ser revelado con un indicador de pH. El indicador más usual es la fenolftaleína, la cual al reaccionar con el agua de poro en el hormigón cambia su color de púrpura ($\text{pH} > 9$) a incoloro ($\text{pH} = 9$ o menor). Suele comportarse [21] con mayor agresividad en los países tropicales, particularmente cuando la temperatura es superior a 25°C , tanto para ambientes marinos como urbanos.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PUENTE, NECESIDAD, OBJETIVO, PRINCIPIOS DE SU DISEÑO Y EJECUCIÓN

La construcción del puente de la Bahía San Vicente en el estuario del Río Chone ubicado en la provincia de Manabí, Ecuador, se inició el 1 octubre del 2007 y concluyó el 28 de febrero del 2011, a un monto contractual de 102 054 088 42 USD. Al cabo de cuatro años está presentando los primeros síntomas de deterioro. El puente es considerado el más largo del país [22], con 1 980 m de longitud. A través de él, se facilita la reactivación turística de la provincia, así como dinamizar y optimizar el intercambio comercial y productivo de la región. Por otra parte, ayudará a fomentar el comercio internacional al formar parte del eje multimodal Manta-Manaos.

En su construcción se implementaron soluciones constructivas muy modernas. Se destaca el sistema de aisladores sísmicos que le permiten disipar la energía de un posible sismo. Esto garantiza reducir las fuerzas externas en el caso de un movimiento telúrico de alta intensidad.

La incorporación a través del diseño arquitectónico de una ciclovía, con balcones y áreas de recreación en el sector de Bahía de Caráquez, permiten integrar de forma más humana, la interacción peatón vehículo. De esta forma se le otorga al puente características únicas, que están acordes con el eslogan de la ciudad de Bahía de Caráquez como "Ciudad ecológica del Ecuador".

La estructura del puente, debido a las condiciones del sitio donde está emplazado, cuenta con tres tramos bien definidos los cuales son: Acceso a Bahía desde el Estribo E1 a la Pila P6 con una longitud de 120 m; Tramo Central desde la Pila P6 a la Pila P44 y una longitud de 1 710 m y finalmente el acceso a San Vicente desde la Pila P44 al Estribo E2, cuya longitud es de 150 m

Todo el puente se compone de una losa apoyada sobre vigas preforzadas, que guardan diferencias en su composición. En la primera sección del Acceso Bahía, existen seis tramos de 20 m. de longitud con vigas

pretensadas tipo AASHTO. El tramo central cuenta con pilas espaciadas a 45 m en 38 vanos y las vigas son postensadas de tipo Bulb-T. Por último, el acceso a San Vicente tiene cinco tramos de 30 m cada uno, los cuales son salvados con vigas pretensadas tipo AASHTO.

Respecto a la cimentación, la estructura del puente tiene cimentaciones diferentes para los distintos sectores [22].

El contrato de construcción original indicaba el uso de pilotes de hormigón barrenados en el lugar. Sin embargo, una vez iniciados los trabajos de construcción del puente, se identificaron incoherencias y se procedió a la elaboración de un rediseño del proyecto acorde con las nuevas condiciones encontradas.

Para el hincado de pilotes, se optó por el uso de acero A588 por su elevada resistencia a la corrosión. Es válido destacar que no se aclara en la documentación disponible si estos pilotes fueron revestidos con alguna pintura con un tratamiento superficial. Tanto en el taller como en el sitio, todas las uniones realizadas por medio de soldadura fueron verificadas con pruebas de ultrasonido, certificando la continuidad estructural de los pilotes en toda su longitud.

Un estudio de “hincabilidad” fundamentó la implementación de pilotes tubulares de acero de 1,21 m de diámetro y 20 mm de espesor. Debido a la variabilidad de los suelos en el estuario, existen pilas con 8 pilotes y otras donde fue necesario utilizar 9 pilotes.

Acerca de la superestructura, el espaciamiento tiene las siguientes configuraciones: las pilas del tramo central están espaciadas a 45 m, distancias que serían cubiertas con vigas prefabricadas de hormigón preforzado. Con estos criterios se optó por utilizar vigas de 37 m de longitud, las que fueron apoyadas sobre dos vigas cabezales extremas. Este sistema constructivo provocó que se formara una estructura de pórtico como unión entre los elementos de zapata y la superestructura.

Se instalaron 335 pilotes tubulares en longitudes que varían entre 25 y 65 m. Se realizaron pruebas de carga dinámica y estática, probando 109 de los 335 pilotes instalados. Cabe resaltar que este es el primer proyecto en Ecuador donde se han utilizado este tipo de pruebas a gran escala.

El pilotaje de la estructura del puente de Bahía San Vicente se compone de 48 pilas y dos estribos. La separación entre pilas es de 45 m en el tramo central, de 20 m en el acceso Bahía y de 30 m en el acceso a San Vicente. La separación de los pilotes es de 4,60 m entre ejes, lo que representa 3,8 veces del diámetro. Existen 25 pilas con 8 pilotes y 15 pilas con 9 pilotes. Las solicitaciones por carga estática fueron del orden de 220 a 250 t, mientras que para el escenario sísmico se tiene una capacidad requerida de aproximadamente 360 t.

La armadura de la zapata completa fue prefabricada en tierra, rigidizada por medio de celosías. De esta manera se forjó una estructura autoportante, la cual resiste el peso propio, el de los encofrados, el peso del hormigón fresco y las cargas de construcción (figura 1).

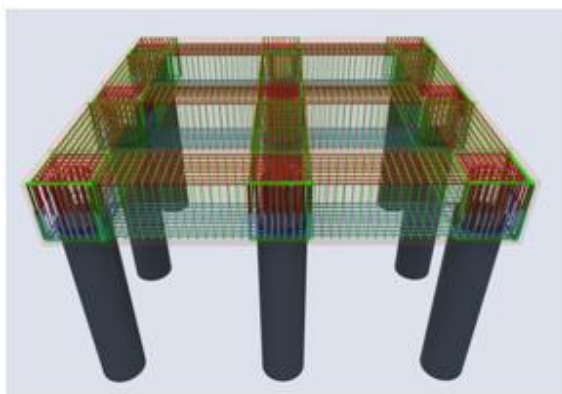


Fig. 1. Modelo tridimensional de armadura de zapata

DESEMPEÑO POR DURABILIDAD OBSERVADO A LOS CUATRO AÑOS DE CONCLUIDA SU EJECUCIÓN

Las estructuras de hormigón armado son proyectadas y construidas para satisfacer requisitos funcionales durante un cierto tiempo, sin que se produzcan costos inesperados por mantenimiento y reparaciones.

Existen algunas recomendaciones y reglamentos [23] que normalmente suponen una vida proyectada de servicio de 50 años para edificaciones y para obras de infraestructura de 80 a 100 años. Se deduce que el fin de la vida proyectada no implica la demolición de la estructura, sino que a partir de ese momento se incrementa el costo de mantenimiento por encima del considerado durante la vida proyectada. Sin embargo, durante su vida útil, las estructuras pueden manifestar variadas patologías que originan defectos, daños o deterioros, siendo algunas de ellas originadas por sus materiales componentes por su uso, por el ambiente, etcétera.

En tres visitas de inspección realizadas al puente (3 de agosto del 2014, 2 de diciembre 2014 y 17 de abril 2015) se ha podido constatar un incremento del proceso de corrosivo asociado a la agresividad de agentes externos (figura 2).



Fig. 2. Fenómeno corrosivo evidente en varios tramos del puente

La corrosión de las armaduras empotradas en el hormigón es una de las patologías que debe ser evaluada cuidadosamente debido a los problemas de seguridad estructural que puede ocasionar. La determinación del potencial y velocidad de corrosión son los ensayos que habitualmente se realizan in situ a fin de cuantificar el grado de alteración y la incidencia del mismo en el futuro. En estructuras ubicadas en ambientes marinos o industriales, la determinación del perfil de los cloruros en el hormigón (difusión) es otra de las técnicas a utilizar (figura 3).

La inspección visual [24] es una metodología a emplear en primera instancia para evaluar estructuras que presentan patologías. Esto permite obtener rápidamente una noción sobre las condiciones generales y particulares en que se encuentra. En estructuras de características complejas, desde el punto de vista de su diseño estructural o de las condiciones de agresividad del medio de exposición, la inspección visual resulta mucho más efectiva si se realizan de forma planificada y quedan registradas fotográficamente.



Fig. 3. Delaminación del recubrimiento del hormigón por acción corrosiva

CARACTERIZACIÓN DE LOS HORMIGONES USADOS EN EL PUENTE

En una tesis doctoral con apoyo del Ministerio de Trabajo y Obras Públicas [22], se especifica que la resistencia del hormigón utilizado en el puente fue de 350 kgf/cm^2 (35 MPa). Los agregados que conformaron el hormigón para la infraestructura del puente fueron de grava (roca triturada) y arena de río, que cumplieron con los requisitos de las normas INEN 872.

El cemento utilizado fue Portland puzolánico Tipo IP (Holcim), que cumple con los parámetros de calidad garantizando la protección ante el posible ataque a los sulfatos procedentes del agua del estuario.

Se procedió a utilizar agregados finos de la mina Copeto, de Santo Domingo de los Shachilas, a una distancia de 220 km, y agregado grueso de la cantera Quiroga (Quevedo).

Con estos materiales se efectuó el hormigonado de los siguientes elementos: tapones, zapatas, columnas, vigas de cabezales, diafragmas y las losas.

El vertido del hormigón se efectuó por bombeo, mediante equipos (bombas) que tenían un alcance hasta de 650 m lineales, desde la Pila No. 7 hasta la Pila No. 15. Se reporta este alcance de bombeo como el mayor alcanzado en Ecuador.

El diseño del hormigón para las vigas pretensadas con relación a la resistencia a la compresión fue de $f'_c=500 \text{ kgf/cm}^2$ (50 MPa). Su relación agua/cemento fue de 0,31, con cemento tipo 1 (Holcim). Las proporciones del aditivo superplastificante fue de 0,80 % de Glenium 3 400 y Rheomac VMA 358 de 0,3 % de los productos de la firma BASF.

En el caso del Glenium 3 400, se describe [25] que presenta una base química basada en policarboxilatos. Esta base es desarrollada especialmente para el mercado de hormigón prefabricado. Esto hace que sea efectiva la producción de mezclas de hormigón con diferentes niveles de manejabilidad. Se incluyen las aplicaciones que requieren el uso de hormigón autocompactable u hormigón autocompactable reodinámico con "tiempos de manejabilidad" más prolongados para los trabajos de colocación y acabado, sin comprometer los requisitos de una muy elevada resistencia inicial. El fabricante refiere que cumple con los requisitos de la norma ASTM C 494 para los aditivos reductores de agua tipo A y para los reductores de agua de alto rango, tipo F.

En el caso del RheomacVMA 358, se describe [26] que es un aditivo orgánico modificador de la viscosidad (VMA, por sus siglas en inglés). Se trata de un líquido listo para usarse, especialmente desarrollado para producir un hormigón con mejor viscosidad y características reológicas controladas. El hormigón que contiene RHEOMAC VMA 358, presenta una estabilidad mucho mayor, incrementando su resistencia a la segregación y facilitando su colocación.

Los agregados que conformaron este tipo de hormigón fueron de roca triturada, arena homogenizada y arena de río, o una mezcla de estas, que cumplieron con las especificaciones técnicas. El diseño de este hormigón garantizó que fuera bombeable y que el proceso fuera continuo. De esta forma se evitaba la exudación de agua y la segregación. En todo el proceso fue controlada la humedad de los agregados y se ajustaron los diseños de la mezcla en base a estos, manteniéndose la relación agua/cemento del hormigón.

El agregado grueso provino de la cantera Huayco de Guayaquil. El proceso de mezclado de estos materiales comprendía piedra No. 57 (Ripio homogeneizado con un rango granulométrico de 4,75 a 25 mm, tamaño nominal). (Guayaquil), arena homogenizada 50 % (Guayaquil) y 50 % arena de río (Sto. Domingo). El cemento Portland fue un cemento a granel y se fabricó solo para este tipo de trabajo, o sea, se trató de un producto no comercial y su fabricación se realizó bajo un pedido especial.

CARACTERÍSTICAS DE LAS NORMATIVA VIGENTE: NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN: ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO (NEC-SE-HM 2014)

Se establece [27] que para asegurar una larga vida útil del hormigón de cemento hidráulico, es necesario tener presente una serie de precauciones y cuidados con el propósito de asegurar la suficiente calidad del material. De esta manera se responde a las exigencias de la obra en cuanto a resistencias mecánicas, resistencia a la penetración de agentes agresivos y los efectos de la intemperie.

Usualmente, la propiedad mecánica más fácilmente medible del hormigón es su resistencia a la compresión, obtenida del ensayo de rotura de probetas cilíndricas. Siendo este un parámetro de referencia para determinar otras propiedades mecánicas, debido a la vinculación directa con la mayoría de ellas.

Otro aspecto muy controlado durante el proceso de fabricación del hormigón, fue la relación a/c que determina la resistencia del material y la protección a los agentes agresivos. Controlando estas variables, según la normativa vigente, es posible garantizar un hormigón de durabilidad satisfactoria, imperante en la normativa, si se cumplen completamente los requerimientos tecnológicos: la preparación, transporte, vertido, compactación y curado del hormigón.

También se puntualiza que se deben utilizar los parámetros más exigentes para determinar la dosificación de la mezcla. La dosificación se puede basar en las experiencias adquiridas en obras similares, en mezclas de prueba o en ambas.

En la misma norma se categorizan y clasifican los tipos de exposición. Las categorías son cuatro. En todos los casos en la medida de las condiciones ambientales a que se someterá la estructura, se establece la Clase y se define la Severidad. Las categorías son: F, para exposición a Congelación y Deshielo; S, para exposición a Sulfato; P, para requerimientos de Baja Permeabilidad; C, para protección del refuerzo contra la Corrosión.

Basados en estos criterios se definen luego los requisitos que las mezclas de hormigón deben cumplir de manera irrestricta. Dentro de los requisitos figuran: relación agua-cemento ($a/c_{máx}$), la resistencia a compresión ($f'_{c_{min}}$) y otros requisitos de menor efecto, pero que deben tenerse en cuenta para casos particulares (contenido de aire, tipos de cemento, límite en los cementantes). También aparecen indicaciones precisas para la conformación y realización de ensayos en hormigones de varias categorías.

Algo que no queda claro en la normativa son los detalles sobre el proceso de curado del hormigón. Pues [11] corrobora la alta influencia del proceso de curado sobre la permeabilidad, y que como se expresara al principio, puede atribuirse a las modificaciones que se producen a través del tiempo en los mecanismos de transporte debido a la alteración de la estructura de poros y desarrollo de microfisuración. También vale destacar que, además de los requerimientos establecidos, el Método de Ensayo Rápido de Permeabilidad al Ión Cloruro [28], es uno de los métodos más utilizados en todo el mundo para ponderar en forma indirecta la permeabilidad a los cloruros en hormigón de alto desempeño, y consecuentemente, evaluar su durabilidad. También es importante determinar la porosidad efectiva del hormigón y su velocidad de absorción capilar (sorptividad).

REQUERIMIENTOS DE UN ESTUDIO COMPLETO DE CARACTERIZACIÓN DEL AMBIENTE AGRESIVO COSTERO EN EL ESTUARIO DEL RÍO CHONE

Dado que los daños por durabilidad en la infraestructura afectan las estructuras de hormigón en su desempeño estructural y en ocasiones también tienen repercusiones económicas que son puntos claves para determinar la rentabilidad de un proyecto, resulta ventajoso en esta medida implementar en las prácticas constructivas criterios de diseño que garanticen durabilidad. Pero debe entenderse el mismo en su concepto más amplio, no solamente como pasos y argumentos técnicos, sino como una filosofía y una herramienta que bien aplicada, puede conducir a la industria de la construcción a tener un mejor desempeño y optimización de materiales durante el siglo XXI.

Con esto se logra la construcción de estructuras con una vida prolongada con menores costos de mantenimiento, sin perder de vista los aspectos destacados [29], de que en la construcción se aprecien en la mayor medida posible, políticas de desarrollo sustentable.

Para garantizar lo anterior, debiera implementarse en cada contexto alguna regulación o normativa, al menos de alcance local, que incluya los principales ataques del medio donde se aplica el diseño de las estructuras de hormigón. Con el mismo propósito, debe tenerse en cuenta además como herramienta fundamental, la estimación y determinación de los niveles de agresividad corrosiva, corrosividad de la atmósfera en el entorno ambiental. Aunque la normativa internacional indique que estos niveles están referidos para los materiales metálicos más usados en la industria de la construcción (acero al carbono, cinc, cobre y aluminio) [30], se ha demostrado que la determinación de los niveles o categorías de corrosividad de la atmósfera de elevado (C4), muy elevado (C5) y extremo (CX), garantizan un deterioro muy anticipado en las estructuras de hormigón armado, sobre todo en zonas costeras similares a la seleccionada en este caso de estudio [7 - 10]. Todo lo referido debe ser explicado de forma clara y comprensible a todo el personal vinculado a la tarea productiva en cuestión, pero sin complicaciones en cuanto a términos científico-técnicos, más bien garantizando su fácil comprensión. Por otro lado, debiera ser factible llevar a la práctica sus exigencias tanto técnicas como económicas.

CONCLUSIONES

- La probabilidad de corrosión en estructuras de hormigón armado, en determinadas condiciones ambientales, se puede estimar efectuando un análisis en conjunto de la potencialidad corrosiva del ambiente a que van a quedar expuestas y a la calidad del hormigón preparado.
- Debe siempre hacerse una caracterización rigurosa del medio ambiente donde está ubicada la estructura, determinándose aspectos tan importantes como los niveles de deposición de cloruros y de otras sustancias agresivas y el nivel de agresividad del agua, sin obviarse otros.
- Los resultados experimentales presentados por varios estudios solo son representativos de los diferentes climas y condiciones ambientales donde se realizan, pero no se puede generalizar su comportamiento sin una cantidad más amplia de datos y períodos más largos de exposición. Por lo que, los resultados obtenidos en estudios foráneos a la zona de implementación no deben ser aceptados o extrapolados a otros sitios antes de tener un modelo que combine todos los factores que intervienen en la carbonatación del hormigón y en la difusión de los iones cloruro. Todo esto buscando garantizar una durabilidad comprobable mediante ensayos.
- Ecuador, al estar dentro del cinturón tropical y particularmente cuando la temperatura es superior a 25 °C, pudiera presentar elevados niveles de corrosividad de la atmósfera tanto para ambientes marinos como urbanos.
- En el caso del puente en el estuario del río Chone, es pertinente realizar estudios del desempeño por durabilidad en el lugar y también en diferentes puntos de la provincia de Manabí, los cuales permitirán caracterizar y puntualizar los requerimientos para la fabricación de hormigones en la región, de manera que se garantice la durabilidad de las estructuras.

REFERENCIAS

1. Arcila, CA. Avances en especificaciones de durabilidad de estructuras de hormigón. 2010. *Instituto de Concreto*, 2010. Disponible en Web: http://www.aci-peru.org/eventos/IXConvNov/01CarlosArcilaNueva_normativa_sobre_durabilidadACI318-08.pdf
2. Becker, I. E. Comportamiento del Hormigón Estructural Durante su Vida de Servicio. *Loma Negra Editor*. 2003. Disponible en Web: http://www.arquitectogustavo.com.ar/.../CORROSION_DE_ARMADURAS-LomaNegra.pdf.
3. Hernández O, Mendoza CJ. Durabilidad e infraestructura: Retos e impacto socioeconómico. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, VII (1): 57-70, 2006. Disponible en Web: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432006000100005
4. Costa A, Appleton J. Case studies of concrete deterioration in a marine environment in Portugal. *Cement & Concrete Composites*, 2002. 24: 169–179. Disponible en Web: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946501000373>
5. Castañeda A, Corvo F, Meitín J. Determinación de la velocidad de corrosión de la barra de refuerzo del hormigón armado mediante técnicas electroquímicas. *Revista Ciencias Químicas*. 35(3). CNIC.

2004. Disponible en Web: <http://revista.cnic.edu.cu/revistaCQ/sites/default/files/articulos/CQ-2004-3-147-152.PDF>
6. Castañeda A, Rivero C, Corvo F. 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*. 11(3): 49-61, 2012. Disponible en Web: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127628821005> Disponible en Web: <http://engi.org/index.php/ej/article/download/338/282>
 7. Castañeda A, Corvo F, Howland JJ, Pérez T. Corrosion of steel reinforced concrete in tropical coastal atmosphere of Havana City. *Revista Química Nova*, Brasil, 36(2): 220-229, 2013.
 8. Castañeda A, Corvo F, Howland JJ, Pérez T. Atmospheric corrosion of reinforced concrete steel in tropical coastal regions. *Engineering Journal*, Tailandia, 17(2), 2013. Disponible en Web: <http://engi.org/index.php/ej/article/download/338/282>
 9. Castañeda A, Corvo F, Howland JJ, Marrero R. Estudio de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo en La Habana, Cuba. *Revista de la Construcción de Chile*. 143(1):32-40, 2014. Disponible en Web: <http://revista.cnic.edu.cu/revistaCQ/sites/default/files/articulos/8%20CQ-45-2014-052-059.pdf>
 10. Castañeda A, Corvo F, Howland JJ, 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*. 35(2):173-188, 2014. Disponible en Web: <http://revista.cnic.edu.cu/revistaCQ/sites/default/files/articulos/12%20CQ-45-2014-077-080%20.pdf>
 11. Astori RE, et al. Estudio sobre durabilidad en hormigones de alto desempeño. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*, Universidad del Nordeste, Argentina, 2006. Disponible en Web: <http://www.iaea.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt2006/07-Tecnologicas/2006-T-066.pdf>
 12. Helene P. *Estructuras de Concreto. Proyectar para la Durabilidad*. Seccional Colombiana de IACI, Colombia, 1998.
 13. Castro P, et al. Análisis de daños por la interacción de cargas ambientales y estructurales en una subestructura marina. *Revista de la Construcción*. 11(3):88-98, 2012. ISSN 0718-915X. Disponible en Web: <http://www.scielo.cl/pdf/rconst/v11n3/art08.pdf>
 14. Segovia MD, et al. Aplicación de ensayos no destructivos en la evaluación de estructuras de hormigón armado afectadas por corrosión. IV Conferencia Panamericana de END Buenos Aires – Octubre, 2007. Disponible en Web: www.ndt.net/article/panndt2007/papers/116.pdf
 15. Su X, Wang T. Study on the Durability of Air Entrained Concrete after Long-term Soaking in Multi-Salt Solution. *Applied Mechanics & Materials*, 2015. 7(16-717):375-378. Disponible en Web: www.scientific.net/AMM.716-717.375
 16. FIB. Environmental design. State-of-art report prepared by Task Group 3.3. International Federation for Structural Concrete, FIB. Bulletin N° 28, Lausanne. Switzerland, February 2004. ISBN: 978-2-88394-068-0 Disponible en Web: <http://www.fibinternational.org/environmental-design>
 17. Neville AM. *Properties of Concrete*. Longman Group Ltd. Londres, 1995.
 18. Howland JJ, Martín AR. Investigación de la absorción capilar de hormigones con áridos calizos cubanos. *Revista Cubana de Ingeniería*. III(2):17 -24, 2012. Disponible en Web: <http://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/71>
 19. De Rincón O, et al. Impacto del ambiente tropical en la durabilidad de las estructuras de concreto armado. *Revista de la Universidad del Zulia*, 2011. 2(2):100–154. 2011. Disponible en Web: <http://200.74.222.178/index.php/rluz/article/view/12644>
 20. De Rincón O, et al. Manual de Inspección, Diagnóstico y Reparación de Estructuras de Hormigón Armado. *Revista ALCONPAT*, 2012. 2(2):109-118. CYTED. ISBN 980-296-541-3 Maracaibo, Venezuela, 1997. Disponible en Web: http://www.mda.cinvestav.mx/alconpat/revista/documentos/Revista_ALCONPAT_volumen2_numero2_Mayo_Agosto_2012/pdf/RA%2027%202012.%20231%20VE%20C,%20OT,%20Extenso%20corregido,%20Maquetado%20final_01.pdf
 21. De Rincón O, et al. Chloride profiles in two marine structures—meaning and some predictions. *Building and environment*, 2004. 39(9):1065-1070. Disponible en Web: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132304000484>
 22. Toapanta Chilibingua LM, Ballesteros Jiménez ML. Examen especial a los componentes ambientales del proyecto construcción del puente sobre el estuario del Río Chone. 2013. Tesis Doctoral.

- SANGOLQUÍ/ESPE/2013. Disponible en Web: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6217/1/T-ESPE-047053.pdf>
23. CIRSOC, Reglamento. CIRSOC 201-2005 (2005). Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón, INTI, Buenos Aires, 2005.
 24. Dimaio AA, et al. Metodología de evaluación de patologías para la reparación de estructuras de hormigón armado. IV Congreso Internacional de Tecnología del Hormigón. 2010. Disponible en Web: www.ing.una.py/pdf/1er-congreso-nacional.../18es-ho-ma-pa-18.pdf
 25. BASF. Ficha Técnica del Glenium 3400 NV. Basf, Chemical Company, 2008. Disponible en Web: http://materialespegar.com/site/?wpfb_dl=52
 26. BASF. Ficha Técnica del Rheomac VMA 358. Basf, Chemical Company, 2009. Disponible en Web: http://www.piresatacadista.com.br/pdf/RHEOMAC_VMA_358.pdf
 27. NEC. Norma Ecuatoriana de la Construcción- NEC. NEC-SE-HM. Estructuras de hormigón armado. M.d.D.U.y. Vivienda, Editor, 2014. Disponible en Web: <http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-HM.pdf>
 28. Bognacki C, et al. Rapid Chloride Permeability Testing's Suitability for Use in Performance-Based Specifications. Concrete International Magazine, 2010. Disponible en Web: <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal.aspx?m=details&ID=51663658>
 29. Mehta PK. Reducing the environmental impact of concrete. *Concrete International*, 2001, 23(10): 61-66. Disponible en Web: <http://ecosmartconcrete.com/docs/trmehta01.pdf>
 30. Norma ISO-9223/2012: Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmosphere – Classification, determination and estimation.