

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v6i11.0080>

ESTADO DEL ARTE SOBRE DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO EN PERFILES COSTEROS

STATE OF THE ART ON DURABILITY OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN COASTAL PROFILES

Guerra-Mera Juan Carlos ¹; Puig-Martínez René ²; Castañeda-Valdés Abel ³;
Baque-Campoza Byron Patricio ⁴

¹ Departamento de Construcciones Civiles. Universidad Técnica de Manabí, UTM. Portoviejo, Ecuador. Correo: juan.guerra@utm.edu.ec.

² Universidad Tecnológica de la Habana CUJAE. La Habana, Cuba. Correo: rpuig@civil.cujae.edu.cu.

³ Laboratorio de Protección de Materiales. Dirección de Investigación, Desarrollo e Innovación. Centro Nacional de Investigaciones Científicas CNIC. La Habana, Cuba. Correo: abel.castaneda@cnic.edu.cu.

⁴ Universidad Estatal del Sur de Manabí, UNESUM. Jipijapa, Ecuador. Correo: byron.baque@unesum.edu.ec.

Resumen

En los últimos años se han desarrollado investigaciones dirigidas a establecer normativas para el desempeño adecuado por durabilidad de las estructuras de hormigón armado, que permitan garantizar plazos elevados de vida útil. Sin embargo, a pesar de los estudios realizados, no se ha llegado a un consenso sobre el proceder, con criterios amplios, e incluso divergentes, entre los diferentes investigadores. Esta particularidad se manifiesta sobre todo en aquellas construcciones que se encuentran expuestas al impacto del ambiente agresivo costero. En espera de contar con criterios propios para Ecuador al realizar las investigaciones relativas a la durabilidad, se hace necesario dominar los criterios manejados a nivel mundial, así como las pocas experiencias del país. Este es precisamente el objetivo del presente artículo, exponer a la comunidad científica los resultados de investigaciones realizadas sobre el desempeño por durabilidad de los elementos de hormigón armado, así como sobre los mecanismos de deterioro de las mismas en perfiles costeros, los criterios manejados por la comunidad internacional sobre la relación existente entre durabilidad, resistencia a compresión del hormigón, porosidad efectiva y resistividad superficial. Para ello, empleando los métodos de análisis y crítica bibliográfica, se evaluaron los resultados de investigaciones de más de cincuenta autores, fundamentalmente artículos científicos, aunque también especificaciones normativas, concluyendo los aspectos principales que deben servir de guía a los especialistas al tomar decisiones sobre el desempeño por durabilidad de las estructuras de hormigón sometidas a ambientes agresivos costeros.

Palabras clave: Durabilidad, agresividad costera, porosidad efectiva, resistividad superficial, resistencia compresión.

Abstract

In recent years, research has been carried out to establish standards for the adequate durability performance of reinforced concrete structures, in order to guarantee long service life periods. However, in spite of the studies carried out, no consensus has been reached on how to proceed, with wide and even divergent criteria among the different researchers. This particularity is especially evident in those constructions that are exposed to the impact of the aggressive coastal environment. In the expectation of having our own criteria for Ecuador when conducting research

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 11 de noviembre de 2022.

Fecha de aceptación: 04 de enero de 2023.

Fecha de publicación: 10 de enero de 2023.



on durability, it is necessary to master the criteria used worldwide, as well as the few experiences in the country. This is precisely the objective of this article, to expose to the scientific community the results of research carried out on the durability performance of reinforced concrete elements, as well as on the deterioration mechanisms of the same in coastal profiles, the criteria used by the international community on the relationship between durability, concrete compressive strength, effective porosity and surface resistivity. For this purpose, using the methods of bibliographic analysis and critique, the results of research by more than fifty authors were evaluated, mainly scientific articles, but also normative specifications, concluding the main aspects that should guide specialists when making decisions on the durability performance of concrete structures subjected to aggressive coastal environments.

Keywords: Durability, coastal aggressiveness, effective porosity, surface resistivity, compressive strength.

1. Introducción

Ante la poca información recopilada sobre el tema de durabilidad y en base a los avances en la industria de la construcción, principalmente en edificaciones construidas en el perfil costero, el presente análisis pretende dar una mayor facilidad para acceder a la información ya existente y que han sido tema de análisis por parte de los investigadores, que se han dedicado al ámbito investigativo en la durabilidad de las estructuras de hormigón armado durante los últimos 10 años.

El presente análisis se realizará sobre la revisión del arte al desempeño, la evaluación crítica sobre el desarrollo y estado actual del conocimiento, en relación con la durabilidad y vida útil de las

estructuras de hormigón armado construidas en el perfil costero. Así como también, se pretende analizar los mecanismos de deterioro en las estructuras de hormigón armado expuestas en ambientes costeros urbano-rural y la relación que existe entre dichos mecanismos con la durabilidad de las estructuras de hormigón armado. Aspectos todos de singular importancia para la continuidad del presente análisis.

Se siente la necesidad además, de contar con una herramienta necesaria sobre durabilidad de las estructuras de hormigón armado, para obtener hormigones con un porcentaje de porosidad capilar efectivo inferior al 10%, con la finalidad de que dichas edificaciones construidas en el perfil costero urbano-rural mantenga en el tiempo

sus condiciones iniciales de vida útil de proyecto como son: estética, funcionalidad y seguridad.

Cabe mencionar que, en el presente trabajo de análisis, es primordial establecer la relación existente entre durabilidad y resistividad superficial, como indicadores de evaluación de las estructuras de hormigón armado, evitando el deterioro prematuro e incrementando la vida útil a las que fueron proyectadas, y de esta manera aumentar el plazo en la realización de mantenimiento y reparación, disminuyendo los costos que esto implica.

2. Materiales y métodos

En el desarrollo del presente análisis del estado del arte de durabilidad en las construcciones de hormigón armado en el perfil costero, la información con la que se contó, fue obtenida de diferentes estudios investigados, artículos científicos, tesis de pregrado y posgrado, entre otros. Dicho material fue minuciosamente seleccionado, clasificado y analizado, con la finalidad de dar una mejor facilidad en la comprensión del tema. La selección de las citas planteadas

para el presente análisis, fueron escogidas en concordancia con el objetivo propuesto, principalmente en cuanto a la durabilidad, resistencia a la compresión, porcentaje de porosidad capilar efectivo y resistividad superficial en el hormigón. La clasificación de la documentación seleccionada, se realizó en base a las diferentes variables analizadas en el presente trabajo y que es parte fundamental del objetivo de análisis. En cuanto al análisis, este se efectuó de una manera prodigiosa, por cuanto la información obtenida se diferenciaba en cuanto a sus criterios. Con el fin de obtener conclusiones significativas, se realizó un análisis comparativo de los diferentes autores en el campo de la investigación en materia de la ingeniería civil. En la utilización de la bibliografía, en el presente trabajo, se hizo un buen uso de la literatura científica, el mismo que se ha visto reflejado en la utilización de 57 documentos de diferentes fechas. Posterior al 2015, 27 (47%); del 2010 al 2014, 22 (39%); y anterior al 2009; 8 (14%).

3. Resultados

Desempeño por durabilidad del hormigón y mecanismos de deterioro en perfiles costeros.

La pérdida prematura por durabilidad del hormigón en el tiempo ante el impacto del ambiente agresivo costero a que están sometidas las estructuras, es causada principalmente: por la calidad insuficiente y selección incorrecta de los materiales, incumplimiento de las normativas establecidas en el campo de la durabilidad, incorrectos diseños de dosificaciones e insuficiente evaluación del entorno agresivo, entre otras.

Gran parte de las estructuras de hormigón armado objeto de análisis se han construido en la primera mitad del siglo XX, por lo que su vida útil se encuentra actualmente en una etapa crítica desde la perspectiva del mantenimiento (Sánchez-Deza, 2018; Mongelós, 2021)

De esta manera, las estructuras llegan a su vida útil residual, dejando atrás su vida útil de proyecto (comienzan a aparecer en las estructuras los primeros síntomas de deterioro), de servicio y última en un corto período de tiempo. De ahí, que

se requiera de una metodología sostenible en las tres fases del ciclo de vida: fase de diseño, fase de construcción y la fase de explotación a lo largo de su vida útil (Bjegovic, 2010; Rodríguez, 2021).

Por otra parte, los resultados han indicado que la durabilidad no es lo suficientemente segura para soportar las cargas aplicadas en el ambiente a que van a ser sometidas (Holt, Kuosa, & Leivo, 2015; Tang & D.Boubitsas., 2015). De esta forma, las estructuras necesitan ser reparadas o reemplazadas y de acuerdo con las estadísticas, los gastos en reparación y reemplazo son muy elevados (Castañeda, 2013).

En la mayoría de los casos, el problema principal del deterioro en las estructuras de hormigón armado que conducen a su desempeño inadecuado por durabilidad, se debe a la corrosión atmosférica del acero de refuerzo ante el impacto del ambiente agresivo costero, que conduce a condiciones de elevada, muy elevada y extrema agresividad corrosiva de la atmósfera (Andrade, 2009; Castañeda et al., 2021). En esos casos, las estructuras de hormigón armado se diseñan y

construyen, inicialmente, para una durabilidad en correspondencia con su ciclo de vida útil; sin embargo, no se tiene en cuenta que dicha durabilidad está condicionada por la agresividad corrosiva de la atmósfera donde se encuentra emplazada.

La reflexión anterior exige que, la determinación de la agresividad corrosiva o corrosividad de la atmósfera se tenga en cuenta en el campo de la ingeniería civil antes de proceder con las labores de diseño y construcción. Es un aspecto que debe ser incluido en las normativas para el desempeño adecuado por durabilidad en el hormigón.

Un gran número de estructuras se encuentran expuestas directamente al impacto del ambiente agresivo costero de la atmósfera. Pero el mecanismo agresivo costero de la atmósfera no es el único que influye en el deterioro de las estructuras. Por ejemplo, según (Meira et., 2014) mecanismos de deterioro en ambiente marino, pueden desarrollarse en zonas sumergidas, en lugares expuestos a los cambios de mareas, en zonas de salpicaduras y, por supuesto, debido al ambiente corrosivo atmosférico.

De hecho, la entrada de iones cloruros en las zonas de mareas implica un transporte adventicio y por lo tanto es muy dependiente de la permeabilidad del material, además de su coeficiente de difusión (Tang et al.,2014) ; (Tang, Chen y Shao, 2014) . Por otra parte, la colisión física, la erosión y la abrasión del movimiento alternante de las olas y las mareas obligan a despertar la preocupación por el deterioro de la estructura de hormigón armado (Li, 2011). Esto significa, que para asegurar la durabilidad de las estructuras hay que tener en cuenta, junto con la importancia de la calidad en la ejecución de la obra, los criterios de durabilidad que considere los posibles mecanismos de degradación y adopte medidas específicas en función de la agresividad a la que se encuentren sometidas (Guerra et al ., 2018).

En las estructuras de hormigón amado expuestas a la atmósfera pueden ocurrir diferentes procesos de deterioro que influyen en una considerable disminución del desempeño adecuado por durabilidad. La mayoría de las estructuras se encuentran expuestas

a este medio de exposición, que en ocasiones se torna muy agresivo.

Guerra et al, (2018) afirmaron, que la corrosión atmosférica del acero de refuerzo es el fenómeno que más viene influyendo en el deterioro anticipado como se demuestra en la Figura 1, así como también la calidad

del hormigón y los requerimientos tecnológicos que garanticen la durabilidad, desde antes de proceder con las labores de construcción, principalmente bajo condiciones de elevada, muy muy elevada y extrema agresividad corrosiva de la atmósfera.

Figura 1. Fenómeno corrosivo evidente en el hormigón



La evaluación del desempeño por durabilidad del hormigón resulta compleja dada la diversidad de factores que intervienen en el deterioro del hormigón, disponiendo de pocos procedimientos y requerimientos metodológicos que permitan medir la durabilidad de un hormigón (Guerra et al., 2018).

La razón fundamental de la falta de requerimientos por durabilidad del hormigón armado antes de colocarlo a pie de obra, ha provocado un incremento acelerado en el deterioro

de las estructuras, edificadas sobre todo en perfiles costeros. Esto se debe a la insuficiencia de estudios previos basados en la evaluación de los ensayos químicos, físicos y mecánicos en conjunto con la agresividad corrosiva de la atmósfera en la zona de construcción.

Relación entre durabilidad, resistencia a la compresión y porcentaje de porosidad capilar efectivo del hormigón.

Se entiende por durabilidad del hormigón de cemento hidráulico, a su capacidad para resistir la acción de la meteorización, los ataques químicos, la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro.

La evaluación del desempeño adecuado por durabilidad de los hormigones, tanto en Ecuador como en el resto del mundo, se realiza teniendo en cuenta la obtención de uno o más parámetros antes de emplearlo en el proceso de construcción de las estructuras. En particular se emplea la resistencia a la compresión como principal propiedad a evaluar, y en ocasiones, la velocidad del pulso ultrasónico (NEC, 2015)'. Esta tendencia, aunque se emplea también en otros países de Iberoamérica, sin dudas no es suficiente ya que no considera en el hormigón parámetros que sí definen los requerimientos por durabilidad como, por ejemplo, el porcentaje de porosidad capilar efectivo.

La medición de la resistencia a compresión, como parámetro mecánico, de por sí solo no ha garantizado el desempeño por durabilidad en las estructuras, principalmente las construidas en el perfil costero del Ecuador y en varias regiones de América Latina. Diferentes autores (Chen, 2013) y (Ozbek, 2013) , afirmaron que la resistencia a la compresión es un parámetro fundamental para evaluar la calidad del hormigón antes de someterlo a condiciones reales de exposición.

Según lo establecido por Troconis et al.,(1997), en la RED DURAR del CyTED, hormigones con valores de resistencia a la compresión menores de 20 MPa, pueden considerarse de baja calidad, siendo indicativo de una durabilidad inadecuada bajo condiciones de agresividad corrosiva entre elevada y muy elevada. Sin embargo, para valores de resistencia a la compresión por encima de 45 MPa, siempre que el proceso tecnológico sea adecuado, pueden valorarse de muy durables.

Además hay que tener en consideración que, diferentes modelos estadísticos permiten establecer la relación entre la

resistencia a la compresión como variable dependiente del porcentaje de porosidad capilar efectivo. Estos modelos se basan en funciones lineales, de potencia, exponenciales y logarítmicas, todas decrecientes, siendo utilizados para la evaluación de calidad del hormigón, pero sin tener en cuenta la obtención de requerimientos por durabilidad y vida útil antes de someterlo a condiciones de alta agresividad ambiental (Nevarez, N, 2015; Guerra, J; J, Howland; A, Castañeda, 2017).

La determinación conjunta de la resistencia a la compresión y el porcentaje porosidad capilar efectivo, se tuvo en cuenta en la evaluación de la calidad del hormigón y su proceso tecnológico en el Ecuador a un solo diseño de mezcla (Nevárez, N, 2015; Guerra J. C., 2018). Establecer un diseño de mezcla de hormigón para una estructura dada, es definitivamente un acto de equilibrio que consiste en seleccionar el mejor compromiso entre los diferentes parámetros, posiblemente antagónicos, teniendo en cuenta consideraciones económicas (Linger, 2017).

Considerando los resultados de las investigaciones anteriormente

evaluadas, se hace necesario determinar experimentalmente para Ecuador, la relación estadística que existe entre resistencia a la compresión, porcentaje de porosidad capilar efectivo y velocidad de absorción capilar, teniendo en cuenta la relación agua/cemento para diferentes diseños de mezclas, siempre con el propósito de definir los requerimientos para el desempeño por durabilidad y vida útil antes de proceder con las labores de construcción, así como en el proceso de la propia construcción, sobre todo en el perfil costero del país.

Con el fin de mantener en el tiempo las condiciones iniciales de vida útil de las estructuras, como son, estética, funcionalidad y seguridad sin costos inesperados en los trabajos costosos de mantenimiento y reparación, en climas tropicales costeros en zonas urbana-rural en donde por su nivel elevado de agresividad corrosiva de la atmósfera, se debe orientar a colocar hormigones homogéneos, con un valor bajo de porcentaje de porosidad capilar efectivo (< 10 %).

Howland (2013), confirmó que la porosidad capilar del hormigón, está

reconocida en todo el mundo como uno de los parámetros que más influye en el mecanismo de transporte de los agentes agresivos hacia el interior de su estructura.

La determinación y evaluación del porcentaje de porosidad capilar efectivo de los hormigones, es una medida del grado de durabilidad de las estructuras de hormigón y hormigón armado frente a los agentes agresivos, sobre todo bajo condiciones de elevada, muy elevada y extrema agresividad corrosiva de la atmósfera.

Lo anteriormente analizado, demuestra que el porcentaje de porosidad capilar efectivo del hormigón, es necesariamente un indicador de su durabilidad que no ha sido lo suficientemente atendido.

Castañeda (2013), determinó la permeabilidad a través de la determinación del porcentaje de porosidad capilar efectivo a partir de tres alternativas. Según el autor, se procedió con la saturación de muestras cilíndricas de hormigón para una misma relación agua/cemento a través de tres condiciones diferentes: en agua a temperatura ambiente sólo bajo el

efecto de la tensión superficial; bajo condiciones de ebullición (ASTMC642, 1997) ; y por el método al vacío (ASTMC1202, 2012).

Precisamente, una metodología muy sugerida por la literatura internacional, es la establecida por el investigador Noruego Goran Fagerlund (1986). Esta metodología es basada en la absorción capilar de agua en función del tiempo y el área circular de la probeta de hormigón en contacto con el agua. De acuerdo con lo establecido, a partir de una relación entre el coeficiente de absorción capilar y la resistencia a la penetración del flujo de agua, se obtienen los valores de porcentaje de porosidad capilar efectivo (Fagerlund, 1986).

Sin embargo, a pesar de la universalidad del procedimiento, la determinación del porcentaje de porosidad capilar efectivo en el hormigón, antes de usarlo en las construcciones emplazadas bajo condiciones de elevada agresividad ambiental, según el método de Fagerlung, no ha sido muy empleada en el perfil costero del Ecuador. De esta manera, es conveniente investigar, como un requerimiento metodológico de ingeniería civil, los

valores de porcentaje de porosidad capilar efectivo en las mezclas de hormigón usadas en las construcciones, como parámetro determinante en la resistencia a la compresión, así como en la durabilidad y vida útil de las estructuras, especialmente las sometidas a condiciones de elevada, muy elevada y extrema agresividad corrosiva de la atmósfera.

Pese a la importancia que reviste la porosidad en los hormigones, en Ecuador, particularmente en el perfil costero de Manabí, ha sido poco utilizada como criterio evaluativo en la durabilidad de las estructuras.

Como una herramienta necesaria y suficiente sobre la durabilidad de las estructuras de hormigón armado, no basta solamente la determinación de la resistencia a la compresión, sino que además se tiene la necesidad de obtener hormigones con un porcentaje de porosidad capilar efectivo inferior al 10%.

Relación entre durabilidad y la resistividad

En cuanto a la relación existente entre durabilidad y resistividad, es necesario tomar en consideración que, mientras la durabilidad es la

capacidad para soportar, durante la vida útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a las que está expuestas, la resistividad superficial es un indicador del fraguado y la resistencia mecánica, del grado de saturación del hormigón y por ello del grado de curado, y de la impermeabilidad o resistencia al ingreso de sus agentes agresivos en el hormigón; por lo que es importante determinar que estos dos indicadores de evaluación, son primordial en la proyección de la vida útil de las estructuras de hormigón armado que vayan a ser construidas en el perfil costero urbano-rural.

En los últimos años, se han tratado de relacionar determinados métodos de ensayo que caracterizan la penetración en el hormigón de sustancias agresivas como una función de su durabilidad. Hasta el presente, estos ensayos “directos” son bastante usados por laboratorios especializados, que incluso realizan predicciones de vida útil basados en resultados a corto plazo, pero en cualquier caso sigue necesitándose de un ensayo de control de calidad que permita una estimación de la durabilidad futura (Pejman, 2017;

Chen, Y. Huang, H. Zhang, Y. Wang, Ch. Fan, W., 2018).

Según publicaciones de diversos autores (Elsener, 2014; Sengul., 2014; Andrade & and Rebolledo, 2014; Ghosh P, 2015 ; Liu, Y. F. J. Presuel-Moreno, and M. A. Paredes,2015; Salehi, M.P.G., and O. B. Isgor, 2015; Nadelman, 2014; Gudimettla, 2016; Salehi, M. P. G., and O.B. Isgor, 2016; Pejman, 2017; Sanchez, J. ; Rebolledo, J; and J. Fulla, 2017), este tipo de ensayo no destructivo puede basarse en la utilización de la medida de la resistividad eléctrica del hormigón. (Liang, Zeng, Zhou, Qu and Wang,, 2017).

Esta medida puede además valorar las siguientes propiedades del hormigón: el proceso de endurecimiento en estado fresco, el grado de curado, la resistencia a la penetración de los cloruros y la carbonatación, y la velocidad de corrosión de la armadura. Resulta entonces muy atractivo estudiar más a fondo sus posibilidades para tratar de conseguir un ensayo que permita una valoración de la calidad del hormigón en todos sus aspectos (Andrade, C., D'Andrea. R, 2011).

Al ser la medición de la resistividad, un ensayo no destructivo, se puede repetir muchas veces sin perturbar el material. Es muy adecuado para el autocontrol del fabricante y para el control por el usuario. (Beek van, A.; Stenfert Kroese, W, 2019).

Algunas agencias estatales y federales han demostrado interés en adoptar el ensayo de resistividad superficial, como una alternativa al ensayo de la penetración rápida de cloruros, por la característica en cuanto a la presencia del agua. (Cleven, S.; Raupach, M.;Matschei, T., 2021). Este último ensayo, consume más tiempo y un trabajo más intenso, respondiendo a las normas (ASTMC1202, 2012) y la (AASHTO, T277).

A diferencia del método de penetración rápida de cloruros, el método de medición de la resistividad superficial es más rápido, lo que ha provocado que cada vez sea más utilizado, incluyéndose como método en diferentes normas y directrices, con gran notoriedad en la fecha actual. La resistividad eléctrica se ha estandarizado en el año 2012 por la norma ASTM C1760, para medir la resistividad del volumen de hormigón

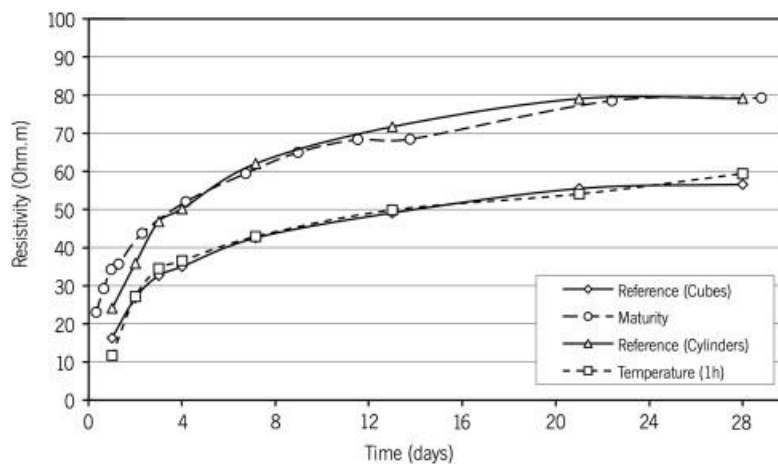
y también por la AASHTOT95 del año 2011, para cuantificar la resistividad superficial del hormigón.

Por otro lado, presenta la gran ventaja de que los resultados son entregados en forma instantánea, lo cual representa un importante ahorro de tiempo al momento de evaluar la durabilidad de servicio (Nadelman, 2014; Rupnow, 2012; Al-Kutti, W. A., & Al-Akhras, N. M. 2016)

La investigación realizada por Ferreira y Jalali (2010), mostró que,

la resistividad de los hormigones depende principalmente de la relación agua/cemento, volumen y tipo de cemento, además de la temperatura y humedad. La investigación se centró en los efectos de la forma de los especímenes y la temperatura del hormigón como se aprecia en la Figura 2, en la medición de la resistividad usando el método de los cuatro electrodos de Wenner.

Figura 2. Forma de especímenes y temperatura del hormigón en la resistividad.



El principio de la medición de resistividad eléctrica en el hormigón, es leer la corriente eléctrica bajo un cierto valor de potencial eléctrico. La resistividad eléctrica como resultado, refleja el espacio ocupado por los poros llenos de agua y su conectividad en el hormigón desde las fases sólidas, teniendo en cuenta

que el hormigón como material, tiene muy baja conductividad eléctrica (Sengul., 2014; Layssi, 2015).

La medición se puede realizar en las probetas de hormigón, tanto en el laboratorio como en las superficies a pie de obra de las estructuras de hormigón (Cosoli et al., 2020).

La resistividad eléctrica también ha sido considerada como un indicador de la permeabilidad al aire en la durabilidad del hormigón estructural (Millard, 1992), siendo la variante de medición más extendida, la técnica de sonda Wernner (AASHTO TP 95, 2011) (Azarsa, P.; Gupta, R. , 2017).

Teniendo en cuenta que el parámetro de resistividad superficial es un indicador de evaluación, este no ha sido valorado o profundizado lo suficiente para la obtención de la intensidad de corriente de corrosión en las armaduras de las estructuras de hormigón armado, con la finalidad de que permita lograr una adecuada durabilidad de estas.

A demás la resistividad garantizaría, establecer de una manera más clara y precisa el grado de deterioro que pudiera presentar una estructura. Por otra parte, permitiría demostrar que el nivel de deterioro en las estructuras depende también de la calidad del hormigón, del nivel de agresividad o de ambos factores en conjunto.

4. Conclusiones

- Es necesario investigar de manera profunda la calidad que debe tener un hormigón que garanticen su durabilidad, antes de proceder con las labores de ejecución, principalmente cuando se construye bajo condiciones de elevada agresividad ambiental, puesto que la corrosión atmosférica es uno de los fenómenos que más influye en el deterioro anticipado de las estructuras de hormigón armado.
- La razón fundamental de la falta de requerimientos por durabilidad del hormigón armado antes de colocarlo a pie de obra, ha provocado un incremento acelerado en el deterioro de las estructuras, sobre todo en perfiles costeros, lo que puede deberse a problemas tecnológicos en la construcción de las estructuras, pero sí está demostrado que se debe a la insuficiencia de estudios previos basados en la evaluación de los ensayos químicos, físicos y mecánicos de conjunto con la agresividad ambiental en la zona de construcción.
- Es importante particularizar experimentalmente, la relación

estadística que existe entre la resistencia a la compresión del hormigón, el porcentaje de porosidad capilar efectivo y la resistividad superficial, teniendo en cuenta la relación agua/cemento para diferentes diseños de mezclas.

- También, es conveniente obtener los valores de porcentaje de porosidad capilar efectivo que debe normar los diseños de mezclas de hormigón usadas en las construcciones, como parámetro determinante en la resistencia a la compresión, en la durabilidad y vida útil de las estructuras, especialmente las sometidas a condiciones de elevada agresividad ambiental.

- En los estudios realizados, no se ha profundizado en la obtención de la intensidad de corriente de corrosión en las armaduras de las estructuras de hormigón armado teniendo en cuenta el parámetro de resistividad, por lo que resulta conveniente demostrar si el nivel de deterioro en las estructuras pudiera depender de la calidad del hormigón, del nivel de agresividad o de ambos factores en conjunto empleando la técnica de resistividad.

- Se evidencia la carencia de investigaciones precedentes sobre

durabilidad de estructuras de hormigón en perfiles costeros en Ecuador

Bibliografía

AASHTO TP 95. (2011). Método de prueba estándar para indicación de resistividad de superficie de hormigón tiene la capacidad para resistir la penetración de iones cloruro, Asociación Americana de autopistas estatales y funcionarios de transporte, Washington D.C.

AASHTO, T277. (2007). Método normalizado de ensayo para la indicación eléctrica de la habilidad del hormigón para resistir la penetración del ion cloruro.

Al-Kutti, W. A., & Al-Akhras, N. M. (2016). The Durability of Partially-Damaged Concrete with the Addition of Silica Fume and Ground Granulated Blast Furnace Slag. In *Key Engineering Materials* (Vol. 711, pp. 277-284). Trans Tech Publications Ltd.

Andrade, C. d., & and Rebolledo, N. (2014). Chloride ion penetration in concrete: The reaction factor in the electrical resistivity model. *Cem Conc Comp.* 47, 41-46.

Andrade, C. y. (2009). "Use of indices to assess the performance of existing and

- repaired concrete structures".
Construction and Building
Materials , 23, 3012-3019.
- Andrade, C., D'Andrea, R. (2011). La resistividad eléctrica como parámetro de control del hormigón y de su durabilidad. Revista Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción ALCONPAT, 1, 90 - 98.
- ASTMC1202. (2012). Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration.
- ASTMC1760. (2012). Método de ensayo normalizado para la conductividad eléctrica en volumen de hormigón endurecido.
- ASTMC642. (1997). Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete.
- Azarsa, P.; Gupta, R. (2017). Electrical resistivity of concrete for durability evaluation: A review. 5. Adv. Mater. Sci. Eng. 2017, 845309.
- Beek van, A.; Stenfert Kroese, W. (2019). Beek van, A.; Stenfert Kroese, W. 24 Years of Experience with the Electrical Conductivity to Determine Material Properties of Concrete. . HERON 64, 1/2, 3-19.
- Bickley, J. A. (2006). Performance Specifications for Durable Concrete. Current Practices and Limitations. Revista Concrete International. USA.
- Bjegovic, D. N. (2010). Conferencia Internacional sobre el Desarrollo de Materiales de Construcción y Tecnologías. Ancona - Italia.
- Castañeda, A. (2013). Estudio de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo embebido en el hormigón armado en La Habana Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría".
- Castañeda, A., Corvo, F., Pech, I., Valdés, C., Marrero, R., & Del Angel-Meraz, E. (2021). Atmospheric Corrosion in an Oil Refinery Located on a Tropical Island under New Pollutant Situation. . Journal of Materials Engineering and Performance, 30(6), 4529-4.
- Chen, X. W. (2013). Influence of porosity on compressive and tensile strength of cement mortar. Revista Construction and Building Materials.40, 869-874.
- Chen, Y. Huang, H. Zhang, Y. Wang, Ch. Fan, W. (2018). A method of atmospheric corrosion prediction for aircraftstructure. Material and Corrosion, vol (1), pp. 1-12.
- Cleven, S.; Raupach, M.; Matschei, T. (2021). Electrical Resistivity of Steel Fibre-Reinforced

- Concrete—Influencing Parameters. *Materials*, 14, 3408. <https://doi.org/10.3390/ma14123408>.
- Cole, I.S; Ganther, W.D; Panterson, D.A; King, G.A; Furman, S.A; Lau,D. (2003). *Corros. Eng. Sci. Tech.* 38, 259.
- Cosoli, G.; Mobili, A.; Tittarelli, F.; Revel, G.M.; Chiariotti, P. (2020). Electrical resistivity and electrical impedance measurement in mortar and concrete elements: A systematic review. *Appl. Sci.*, 10, 9152.
- Das, B. B. (2012). Implication of pore size distribution parameters on compressive strength, permeability and hydraulic diffusivity of concrete. . . *Revista Construction and Building Materials*, 28, 382-386.
- Elsener, B. U. (2014). “On the applicability of the wenner method for resistivity measurements of concrete. *ACI. Materials Journal*, 111, 661–672.
- Fagerlund, G. (1986). On the capillarity of Concrete. *Nordic Concrete Research*. No. 11, Oslo.
- Ferreira, R. M. and S. Jalali. (2010). NTD measurements for the prediction of 28-day compressive. *NDT & E International*, 430 (2) :55-61.
- Ghosh P., Tran, Q. (2015) Correlation Between Bulk and Surface Resistivity of Concrete. *Int J Concr Struct Mater* 9, 119–132 (2015). <https://doi.org/10.1007/s40069-014-0094-z>
- Gudimettla, J. C. (2016). Resistivity tests fo rconcrete — recent field experience. *ACI Materials Journal*, vol. 113, no. 4.
- Guerra, J. C. (2018). Importancia del estudio del desempeño por durabilidad del puente del rio Chone, provincia de Manabí,Ecuador. *Revista Cubana de Ingeniería*,, 9(1), 57-66.
- Guerra, J; J, Howland; A, Castañeda. (2017). Primeras experiencias en el desempeño por durabilidad de un hormigón antes de usarlo en el perfil costero de Manabí, Ecuador. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 48, 30-40.
- Holt, E. F., Kuosa, H., & Leivo, M. (2015). Performance and durability of concrete under effect of multi-deterioration mechanisms. *Journal of the Chinese Ceramic Society*, 43, 1420–1429.
- Howland, J. J. (2013). Ed. *Tecnología del hormigón para ingenieros y arquitectos*. Cuba.
- Layssi, P. G. (2015). “Electrical resistivity of concrete.

- "Concrete International, 41–46.
- Li, P. K. (2011). *Advanced Concrete Technology*. John Wiley y Sons, Hoboken.
- Liang, Zeng, Zhou, Qu and Wang. (2017). A new model for the electrical conductivity of cement-based material by considering pore size distribution. *Magazine of Concrete Research*, Volume 69 Issue 20 - 1067–1078.
- Linger, L. T. (2017). Implementation of a global durability approach in close cooperation between Owner/Engineer, Designers and Contractor's. Paper presented at the Implementation of a Global Durability Approach in Close Cooperation Between Ow.
- Liu, J. A. (2013). From relative gas permeability to in situ saturation measurements. *Revista Construction and BuildingMaterials*, 40, 882-890.
- Liu, Y. F. J. Presuel-Moreno, and M. A. Paredes, (2015). "Determination of chloride diffusion coefficients in concrete by electrical resistivity method," *ACI Materials Journal*, vol. 112, no. 5, pp. 631– 640.
- Medina, C. (2012). Gas permeability in concrete containing recycled ceramic sanitary ware aggregate. *RevistaConstruction and Building Materials*, 37, 597-605.
- Meira G.R.; Andrade C; Vilar E.O; Nery K.D. (2014). Analysis of Chloride threshold from laboratory and field experiments in marine atmosphere zone. *Constr. Build. Mater*, 55, 289-298.
- Millard, S. G. (1992). Resistivity assessment of in-situ concrete: The influence of conductive and resistive surface layers. *Proc Inst Civil Eng Struct Build*. 389- 396.
- Mongelós, P. D. (2021). Estrategias para la inspección óptima de estructuras de hormigón armado sujetas a corrosión. *Ingenio-Revista de Ciencia Tecnología e Innovación*, 2(2), 46-58.
- Nadelman, E. I. (2014). Una aproximación basada en la resistividad para optimizar el desempeño del hormigón. *Revista "Concrete Internacional"*.
- NEC. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-HM. Estructuras de hormigón armado.
- Nevarez, N. (2015). Análisis de absorción capilar de los hormigones expuestos al entorno marino, aplicado en los balnearios Crucita – San Jacinto – San Clemente, Manabí - Ecuador.

- Ozbek, A. S. (2013). Investigating porous concrete with improved strength: Testing at different scales. *Revista Construction and Building Materials*, 41, 480-490.
- Pejman, A. (2017). Electrical Resistivity of Concrete for Durability Evaluation: A Review. *Advances in Materials Science and Engineering*. 1, 20.
- Rodríguez, J. V. (2021). Corrosión atmosférica. Conceptos básicos y experiencias obtenidas en el clima tropical costero de Cuba. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 121-137.
- Rupnow, T. D. (2012). Surface Resistivity Measurements Evaluated as Alternative to Rapid Chloride Permeability Test for Quality Assurance and Acceptance. *Transportation Research Record*, 2290, 30-37. .
- Salehi, M.P.G., and O. B. Isgor, (2015). "Numerical study on the effect of cracking on surface resistivity of plain and reinforced concrete elements," *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 27, no. 12, Article ID 04015053.
- Salehi, M. P. G., and O.B. Isgor,. (2016). "Numerical investigation of the role of embedded reinforcement mesh on electrical resistivity measurements of concrete using the Wenner probe technique,". *Material sand Structures*, 49, 301–316.
- Sanchez, J.; Rebolledo, J; and J. Fulla. (2017). "Determination of reinforced concrete durability with on-site resistivity measurements. *Materials and Structures*, 50.
- Sánchez-Deza, A. B. (2018). Predicción de la vida útil en servicio de edificios de 50 años expuestos a ambientes marinos. *Revista de Metalurgia*, 54(1), e111.
- Sengul., O. (2014). "El uso de la resistividad eléctrica como un indicador para la durabilidad". *Construcción y Materiales de construcción*, vol. 73, pp. 434-441.
- Tang, I. U., & D.Boubitsas., a. (2015). "Durability and service life prediction of reinforced concrete structures. " *Journal of the Chinese Ceramic Society*, 43, 1408–1419.
- Tang, S. W.; Li, Z.J; Zhu, H.G.; Shao, H.Y., Chen, E.; . (2014). Permeability interpretation for young cement paste base on impedance measurement. *Constr . Build. Mater*, 59, 120-128 .
- Tang, S. W.; Li, Z.J.; Chen, E.; Shao, H.Y., . (2014). Non- steady state migration of chloride ions in cement pastes at early age, . . *RSC Adv.*, 4, 48582-48589.

Tran, P. G. (2015). "Correlation between bulk and surface resistivity of concrete," International Journal of Concrete Structure and Materials, 9, 119–132.

Troconis de Rincón O.Sanchez M.,
Troconis de Rincón O.,
Sanchez E., Garcia D.,
Sanchez E., Sadaba M.,
Delgado S. (1997). y
Miembros de la Red DURAR.
Red Temática XV.B.

Durabilidad de la Armadura.
Manual De Inspección,
Evaluación y Diagnóstico de
Corrosión en Estructuras de
Hormigón Armado, CYTED.