



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v10i2.3836>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

Índice de durabilidad para hormigones con diferentes relaciones agua – cemento

Durability index for concrete with different water-cement ratios

Índice de durabilidade para concretos com diferentes relações água-cimento

Yandry Jhosué Pérez Molina ^I
yperez1014@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0006-5511-9676>

Marco Xavier Salvador Arteaga ^{II}
msalvador7091@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0008-4409-9352>

Juan Carlos Guerra Mera ^{III}
juan.guerra@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6597-0022>

Correspondencia: yperez1014@utm.edu.ec

***Recibido:** 15 de abril de 2024 ***Aceptado:** 05 de mayo de 2024 * **Publicado:** 20 de mayo de 2024

- I. Estudiante de Ingeniería Civil. Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- II. Estudiante de Ingeniería Civil. Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- III. Docente principal del Departamento de Construcciones Civiles. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

Índice de durabilidad para hormigones con diferentes relaciones agua – cemento

Resumen

Una forma de prolongar la vida útil de las estructuras de hormigón, es mediante el análisis de ensayo de durabilidad, por lo que es importante realizar investigaciones en diferentes relaciones agua-cemento, y analizar cómo estas afectan las propiedades del hormigón. El objetivo de este estudio es determinar la resistencia a la compresión, la porosidad y la resistividad eléctrica; comparar la correlación entre las relaciones a/c de 0.40, 0.45 y 0.50; y, analizar sus efectos en la durabilidad del hormigón. La metodología utilizada por su naturaleza es experimental. Se realizó el diseño de mezcla en base a la metodología del ACI, para lo cual se utilizaron muestras de hormigón con tres relaciones a/c , para determinar la resistencia a la compresión, la porosidad y la resistividad eléctrica, en base a la norma AASHTO TP 95-11. Para determinar la porosidad capilar efectiva se basó de acuerdo a lo establecido en la ASTM C 1585. Los resultados muestran que la resistividad eléctrica mejora con el tiempo de curado para todas las relaciones a/c , y es mayor para mezclas con relaciones agua/cemento más bajas. La resistencia a la compresión también aumentó con el tiempo de curado, pero disminuyó al aumentar la relación a/c . La porosidad capilar fue mayor en mezclas con mayores relaciones agua-cemento por lo que se clasificó en el rango de media calidad y la de menor porosidad es de buena calidad. Este estudio confirmó que de las tres relaciones a/c , la que contenía menor cantidad de agua fue la que mejor resultados obtuvo.

Palabras Claves: Compresión; Porosidad; Resistividad eléctrica; Hormigón; Durabilidad.

Abstract

One way to prolong the useful life of concrete structures is through durability test analysis, so it is important to carry out research on different water-cement ratios, and analyze how these affect the properties of concrete. The objective of this study is to determine the compressive strength, porosity and electrical resistivity; compare the correlation between w/c ratios of 0.40, 0.45 and 0.50; and, analyze its effects on the durability of concrete. The methodology used by its nature is experimental. The mix design was carried out based on the ACI methodology, for which concrete samples with three w/c ratios were used to determine the compressive strength, porosity and electrical resistivity, based on the AASHTO standard. TP 95-11. To determine the effective capillary porosity, it was based on the provisions of ASTM C 1585. The results show that electrical resistivity improves with curing time for all w/c ratios, and is greater for mixtures with water/cement ratios. lower. Compressive strength also increased with curing time, but decreased with increasing w/c ratio. Capillary porosity

Índice de durabilidad para hormigones con diferentes relaciones agua – cemento

was greater in mixtures with higher water-cement ratios, which is why it was classified in the medium quality range and the one with the lowest porosity is of good quality. This study confirmed that of the three w/c ratios, the one that contained the least amount of water was the one that obtained the best results.

Keywords: Compression; Porosity; electrical resistivity; Concrete; Durability.

Resumo

Uma forma de prolongar a vida útil das estruturas de concreto é através da análise de testes de durabilidade, por isso é importante realizar pesquisas sobre diferentes relações água-cimento, e analisar como estas afetam as propriedades do concreto. O objetivo deste estudo é determinar a resistência à compressão, porosidade e resistividade elétrica; comparar a correlação entre as relações a/c de 0,40, 0,45 e 0,50; e analisar seus efeitos na durabilidade do concreto. A metodologia utilizada por sua natureza é experimental. O dimensionamento do traço foi realizado com base na metodologia ACI, para a qual foram utilizadas amostras de concreto com três relações a/c para determinação da resistência à compressão, porosidade e resistividade elétrica, com base na norma AASHTO TP 95-11. Para determinar a porosidade capilar efetiva, baseou-se nas disposições da ASTM C 1585. Os resultados mostram que a resistividade elétrica melhora com o tempo de cura para todas as relações a/c, e é maior para misturas com relações água/cimento mais baixas. A resistência à compressão também aumentou com o tempo de cura, mas diminuiu com o aumento da relação a/c. A porosidade capilar foi maior nas misturas com maiores relações água-cimento, por isso foi classificada na faixa de qualidade média e aquela com menor porosidade é de boa qualidade. Este estudo confirmou que das três relações a/c, aquela que continha menor quantidade de água foi a que obteve melhores resultados.

Palavras-chave: Compressão; Porosidade; resistividade elétrica; Concreto; Durabilidade.

Introducción

Mediante la durabilidad del hormigón se puede determinar la vida útil de las estructuras civiles, siendo este proceso un aspecto fundamental en el ámbito de la ingeniería. Este estudio investiga de que forma la relación agua/cemento (a/c), especialmente a 0.40, 0.45 y 0.50, afecta la durabilidad de las propiedades del hormigón, mediante indicadores y variables claves como la resistencia a la compresión, el porcentaje de porosidad capilar y la resistividad eléctrica superficial.

Índice de durabilidad para hormigones con diferentes relaciones agua – cemento

En la mayoría de los casos, el problema principal del deterioro en las estructuras de hormigón armado conduce a su desempeño inadecuado por durabilidad (Castañeda et al., 2021). En el ámbito científico internacional, se carece de un consenso único dentro de las normativas que permitan en el campo de la ingeniería civil, establecer los requerimientos para el desempeño adecuado por durabilidad del hormigón, y que posibiliten garantizar plazos elevados de vida útil para las estructuras de hormigón armado (Guerra, 2023, p.240). Otros autores entre ellos, Solórzano et al., (2024) sostiene que el hormigón es uno de los materiales más utilizado en la industria de la construcción, con la finalidad de prolongar su vida útil es necesario someterlo a varios estudios y ensayos, que permitan analizar su composición y desempeño para determinar los parámetros de calidad que lo constituye (p.1815). En nuestro país se hace necesario una normativa por su potencial constructivo, tal como lo considera en su estudio Guerra et al., (2024) “las zonas costeras de Ecuador, como las de muchos países de América del Sur, son reconocidas por su alto potencial de construcción, particularmente debido a la floreciente industria turística” (p.1).

De los autores anteriores se puede establecer que, a nivel internacional, no existe un consenso uniforme en la legislación sobre criterios de durabilidad en el campo de la ingeniería civil que defina los requisitos para asegurar la durabilidad y así prolongar la vida útil de las estructuras de hormigón armado. Se reconoce al hormigón como material primordial en la construcción, por lo tanto, debe ser objeto de estudios y pruebas perennes, con la finalidad de evaluar su composición y desempeño para asegurar su calidad. Además, en países que se encuentra en vía de desarrollo en diferentes sectores, principalmente en el turístico, como Ecuador, donde existe un importante potencial de construcción en diferentes zonas, siendo el perfil costero uno de los más apreciables en inversión nacional y extranjera, es necesario establecer regulaciones específicas dentro de la normativa que regule su construcción por cuanto dichas estructuras debido al ambiente atmosférico pueden presentar deterioro prematuro.

En cuanto a la resistividad eléctrica superficial Pejman & Gupta (2017) indica que, “esta técnica presenta la ventaja de ser no destructiva, sencilla, rápida y económica” (p.1). (Liang et al., 2017; Sánchez et al,2017). Varios autores entre ellos Guerra et al., (2016) hacen hincapié que, “cuando se habla de requisitos por durabilidad y vida útil en este caso para las estructuras de hormigón armado, se trata de la obtención de una serie de requerimientos ingenieriles que no deben quedar ausentes” (p.20). Es necesario incrementar estos tipos de estudios, en su investigación Fiallos et al (2024) indica que, ante la necesidad de contar con una mejor comprensión del impacto de la relación en la

Índice de durabilidad para hormigones con diferentes relaciones agua – cemento

resistividad eléctrica y por ende de la durabilidad del hormigón, es importante realizar investigaciones sobre la optimización de la relación agua/cemento en el diseño de hormigones, buscando establecer criterios ideales que garantice un hormigón con la resistencia requerida y una durabilidad adecuada, en zonas específicas de acuerdo a las necesidades propias de cada región (p.713). Además, la resistividad garantizaría, establecer de una más clara y precisa el grado de deterioro que pudiera presentar una estructura (Guerra et al., 2023, p.14).

Es preciso destacar la relevancia que dan varios autores en profundizar la investigación sobre la resistividad eléctrica superficial, más aún al ser un ensayo no destructivo. Cabe recalcar la importancia de la relación agua/cemento por cuanto de esta depende la resistencia del hormigón; se enfatiza que medir la resistencia a la compresión por sí sola no es suficiente para lograr la durabilidad deseada de las estructuras de hormigón armado. Finalmente podemos mencionar, como la resistividad eléctrica del hormigón influye en la optimización de las estructuras en cuanto a su durabilidad.

Castañeda (2013), hizo énfasis sobre la permeabilidad a través de la determinación del porcentaje de porosidad capilar efectivo a partir de tres alternativas. Para los índices de durabilidad de las estructuras de hormigón, se debe analizar también el porcentaje de porosidad en términos generales, como lo mencionan varios investigadores, hay que tener en consideración que, “la porosidad efectiva juega un papel principal en el desempeño por durabilidad del hormigón, ya que es un parámetro que, en dependencia de su valor, permite de una manera exacta y precisa establecer y evaluar la calidad del hormigón.” (Guerra et al., 2017; García et al., 2023; Escobar et al., 2023; Cedeño et al., 2024). Algunos autores afirman que “se tiene la necesidad de obtener hormigones con un porcentaje de porosidad capilar efectivo menos del 10%”. (Parrales et al., 2023). Precisamente, una metodología muy sugerida por la literatura internacional, es la establecida por el investigador Noruego Goran Fagerlund (1986).

Por lo tanto, es necesario hacer hincapié de la necesidad de realizar estudios sobre la porosidad efectiva, ya que es un indicador importante para evaluar la calidad del hormigón de una manera más integral. Por lo antes mencionado, es significativo lograr una porosidad capilar efectiva inferior al 10%, para obtener hormigones de alta calidad que perduren en el tiempo y evitar costos por reparaciones anticipadas.

Este estudio tiene como objetivo analizar la correlación que existe entre las tres relaciones de agua/cemento (0.4; 0.45 y 0.50), y la incidencia que tiene en la durabilidad del hormigón; de igual manera, se pretende comparar la resistencia a la compresión, los porcentajes de porosidad y la

Índice de durabilidad para hormigones con diferentes relaciones agua – cemento

capacidad de resistividad eléctrica de un hormigón de 21 MPa, para identificar los valores idóneos que determinen la durabilidad del hormigón de las condiciones establecidas (materiales utilizados) en la presente investigación.

Materiales y Metodología

Para llevar a cabo las tres dosificaciones de hormigón con relaciones a/c 0.40, 0.45, y 0.50, se emplearon diferentes materiales, cemento portland Selvalegre tipo IP el cual cumple con los requisitos de la norma NTE INEN 490 (norma técnica ecuatoriana) y ASTM C 595, así mismo se seleccionó dos tipos de agregados, el fino extraído de la provincia de Manabí, cantón Portoviejo y el grueso proveniente de una de las canteras ubicadas en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, cantón de Santo Domingo. De acuerdo con, Quito et al., indican que, “la utilización de agregados en el hormigón, tiene como alcance reducir los costos en la producción de la mezcla, y de esta forma ayudar a controlar los cambios volumétricos y contribuir a la resistencia final del material” (p.3); así como también, se empleó un aditivo MasterGlenium 7971.

Estos agregados, tanto el fino como el grueso, fueron sometidos a diferentes ensayos en el laboratorio como se detalla en la tabla 1, realizados en el campus de la Universidad Técnica de Manabí.

Tabla 1. Caracterización de los materiales.

Características del material	Grav. Espe SSS [Kg/m³]	Pus [Kg/m³]	Puc [Kg/m³]	% Absorción	% Humedad	M.F
Agregado fino	2500	1320	1490	7.53	3.65	3.04
Agregado grueso	2718	1410	1510	2.33	1.35	6.70

Esto se lo realizó con la finalidad de obtener su caracterización, propiedades físicas y mecánicas, basados en las normas NTE-INEN, los cuales fueron: gravedad específica y absorción del árido grueso (NTE INEN 857:2010); gravedad específica y absorción del árido fino (NTE INEN 856:2010); granulometría del árido fino y grueso (NTE INEN 696:2011); masa unitaria (peso volumétrico), el porcentaje de vacíos (NTE INEN 858:2010) y la degradación del árido grueso (NTE INEN 860-2011). Coincidiendo con Cañarte et al., (2023) en relación a que “el agregado fino, cumplió con lo establecido en la norma donde indica que “el árido fino no debe tener más de 45% pasante en

Índice de durabilidad para hormigones con diferentes relaciones agua – cemento

cualquier tamiz” (NTE INEN 0872, 2011, p. 2). Una idónea caracterización de los agregados evita a corto tiempo mantenimientos y reparaciones, tal como lo manifiestan Guerra et al (2018), “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” (p.61).

En lo que respecta a los cilindros de hormigón, se realizaron los diseños de mezcla (tabla 2), para la elaboración de 39 probetas (figura 1), de medidas 10 y 20 cm de diámetro y altura respectivamente; repartidos en 13 por cada relación agua-cemento (a/c), de las cuales 27 probetas fueron utilizadas para realizar resistencia a la compresión y 12 para porosidad capilar.

Tabla 2. Diseño de mezcla del hormigón.

Relación a/c	Cemento (gr)	Agregado fino (gr)	Agregado grueso (gr)	Agua (gr)	Aditivo (gr)
0.40	13051.58	16815.26	18997.52	5127.41	58
0.45	11601.41	18010.12	18997.52	5127.41	52
0.50	10441.27	18966.02	18997.52	5127.41	47



Figura 1. Probetas de hormigón.

Para poder determinar la consistencia del hormigón, se empleó el ensayo de revenimiento o también conocido como cono de Abrams (figura 2), este proceso se basa en colocar en un molde con forma de cono truncado donde se vierte el hormigón el cual será llenado en tres capas cada una golpeando

Índice de durabilidad para hormigones con diferentes relaciones agua – cemento

uniformemente 25 veces en su interior usando una varilla lisa de acero, tal como lo establece (NTE INEN 1578: 2010). Los resultados se muestran en la tabla 3.



Figura 2. Ensayo de revenimiento relación a/c 0.40.

Tabla 3. Revenimiento de la mezcla.

Relación a/c	Revenimiento (cm)
0.40	10
0.45	10
0.50	10.50

Las probetas para los respectivos ensayos, tuvieron un tiempo de fraguado de 24 horas cumpliendo con las indicaciones que establece la Norma (NTE INEN 2528:2010).

Para la resistividad eléctrica superficial, al ser un ensayo no destructivo, se utilizaron las 39 probetas elaboradas para medir su resistividad superficial a las edades de 7, 14, 21 y 28 días, tal como lo indica la normativa AASHTO TP 95-11, mediante el uso del dispositivo SurfTM con la técnica de las cuatro sondas (Wenner-Array), este a su vez nos refleja lecturas las cuales nos permiten determinar la resistividad superficial de la probeta (figura 3).



Figura 3. Ensayo de resistividad eléctrica con dispositivo SurfTM.

A diferencia del ensayo de resistividad superficial, el ensayo de resistencia a la compresión si consiste en ser un método destructivo, en donde estas mismas probetas se las somete a rupturas a las edades de 7, 14, 21 y 28 días. Para realizar este ensayo se requirió el uso de la máquina de compresión cilíndrica (figura 4), siguiendo las directrices establecidas en la norma ASTM C39.

Índice de durabilidad para hormigones con diferentes relaciones agua – cemento



Figura 4. Ensayo con máquina de compresión cilíndrica a) 0.40 b) 0.45 y c) 0.50.

Finalmente, para el porcentaje de porosidad capilar efectiva, una vez que las probetas alcanzaron su edad máxima de fraguado, se procedió a efectuar el ensayo de porosidad capilar efectiva en base de normativa ASTM C 1585. Se requirió de dos cilindros por cada relación a/c, curados a los 28 días, estos a su vez se los referencio marcándolos en la mitad y realizando dos cortes, tres centímetros tanto en la parte superior e inferior, para lo cual se utilizó una sierra de tungsteno de marca CUSHION CUT, y se obtuvieron las muestras requeridas de la parte central del espécimen, destacando que esta parte se la considera la mejor consistencia de las mezclas.

Finalmente, se obtuvieron 12 muestras que fueron llevados al horno a una temperatura de 50°C por 48 horas, con la finalidad de lograr un secado y peso constantes; luego de este tiempo se retiró los especímenes del horno y se procedió a pesar cada muestra como lo establece la normativa antes mencionada.

Para poder determinar el porcentaje de porosidad capilar de los especímenes, es necesario obtener dos parámetros como, la resistencia a la penetración del agua (m) y el coeficiente de absorción capilar (k). Conociendo estos valores se puede aplicar la ecuación 1.

$$Pe = \frac{k\sqrt{m}}{1000} \% (1).$$

k= El coeficiente de absorción $kg/m^2 s^{1/2}$

m= La resistencia a la penetración del agua ($\frac{s}{m^2}$)

Resultados y discusión

Una vez realizados los ensayos (resistividad eléctrica, resistencia a la compresión y porcentaje de porosidad capilar) en las tres relaciones agua/cemento, se analizó cómo estos se relacionan a medida que avanzaban los días de curado de los cilindros específicamente a los 7, 14, 21 y 28 días.

Resistividad eléctrica superficial

Índice de durabilidad para hormigones con diferentes relaciones agua – cemento

De acuerdo a los resultados obtenidos y basándonos en la normativa AASHTO TP 95-11, se determinó los valores promedio, los cuales se los detalla en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados de ensayo de resistividad eléctrica superficial.

Relación (a/c)	7 días (KΩ.cm)	14 días (KΩ.cm)	21 días (KΩ.cm)	28 días (KΩ.cm)
0.40	5.70	6.50	8.29	12.40
0.45	5.30	6.40	7.57	10.15
0.50	5.00	6.00	6.99	8.50

De acuerdo a los resultados se puede comprobar que la resistividad eléctrica en los cilindros tiende a aumentar a medida que transcurren los días de curado, siendo el mayor valor promedio de 12.40 de la relación 0.40 a los 28 días. Esta tendencia de incremento de la resistividad concuerda con varios investigadores, entre ellos (Solórzano et al., 2024; Fiallos et al., 2024).

Así mismo, se verifica que a medida que se incrementa la relación agua-cemento, los valores de resistividad eléctrica disminuyen.

En la tabla 5, se detalla el promedio de cada relación a los 28 días y el rango en el que se encuentra según lo establecido en la norma ASTHO-TP-95-2011. En la relación a/c de 0.40 y 0.45 tiene un rango moderado y en 0.50 se establece como alto.

Tabla 5. Resultados promedios de ensayo de resistividad eléctrica superficial.

Relación (a/c)	Promedio a los 28 días (KΩ.cm)	Rango
0.40	12.40	Moderado
0.45	10.15	Moderado
0.50	8.50	Alto

Índice de durabilidad para hormigones con diferentes relaciones agua – cemento

Resistencia a compresión

En la tabla 6, se especifica los valores promedios de la resistencia a compresión en sus tres relaciones agua-cemento 0.40, 0.45 y 0.50, para ello se utilizaron nueve cilindros por cada relación a/c, dando un total de 27. Dos cilindros a los 7, 14, 21 y tres cilindros a los 28 días.

Tabla 6. Resultados ensayo de resistencia a la compresión.

Relación (a/c)	Fc 7 días MPa	Fc 14 días MPa	Fc 21 días MPa	Fc 28 días MPa
0.40	25.60	31.35	31.76	35.98
0.45	23.81	28.76	28.95	31.35
0.50	22.53	23.93	26.89	27.24

Basados en los resultados anteriores se determinó como el hormigón aumenta su resistencia conforme pasan los días de curado. Sin embargo, a medida que se incrementa el agua en la mezcla, su resistencia disminuye. La relación de 0.40 con una resistencia a los 28 días de 35.98 MPa, es el valor más alto de todos los diseños.

La relación a/c de 0.50 es la que tiene menor resistencia en todos los rangos de tiempo respecto a las otras dos relaciones, lo que certifica que a mayor cantidad de agua menor será su resistencia. A pesar de esto, las tres relaciones cumplieron con la resistencia especificada en el diseño, una vez que se llegaron a los 28 días de curado, cumplieron con más del 100% como se especifica en la tabla 7.

Tabla 7. Resultados de la resistencia requerida para las probetas de hormigón.

Relación a/c	Fc 28 días MPa	Fc requerida MPa	Porcentaje (%)
0.40	35.98	35	104.84
0.45	31.35	30	106.57
0.50	27.24	25	111.09

Índice de durabilidad para hormigones con diferentes relaciones agua – cemento

Porcentaje de porosidad capilar efectiva

Con la utilización de cuatro cortes, obtenidos de cuatro cilindros por cada relación a/c, se analizaron doce especímenes, de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados promedios detallados en la tabla 8.

Tabla 8. Resultados de ensayo de porosidad capilar efectiva.

Relación a/c	Cilindros	Especímenes	Porosidad efectiva (%)	Porosidad efectiva promedio (%)
0.40	1-2	C1	9.87	9.37
		C2	9.34	
	3-4	C3	8.92	
		C4	9.34	
0.45	5-6	C5	9.34	9.77
		C6	10.19	
	7-8	C7	9.77	
		C8	9.77	
0.50	9-10	C9	11.04	11.46
		C10	11.04	
	11-12	C11	11.46	
		C12	12.31	

Según datos de la Red Iberoamericana DURAR, se considera de buena calidad hormigones que tengan un nivel de porosidad efectiva menor al 10%. Entre el 10 y 15% se considera de calidad media y mayor del 15% son hormigones de calidad inadecuada.

Según los resultados promedios obtenidos las relaciones a/c de 0.40 y 0.45, se encuentran dentro del rango de hormigón de buena calidad, ya que están por debajo del 10%.

Por otra parte, en la relación a/c de 0.50, todos sus especímenes están en un nivel de porosidad entre el 10 y 15%, por lo que se clasificaría en el rango de calidad media.

Conclusiones

Las conclusiones derivadas de la presente investigación pueden resumirse de la siguiente manera:

- Los valores de resistividad eléctrica aumentan con el tiempo de curado en todas las mezclas, destacándose que las mezclas con menor relación agua-cemento (0.40 y 0.45) presentan

Índice de durabilidad para hormigones con diferentes relaciones agua – cemento

mayor resistividad, lo que indica una mejor durabilidad debido a una menor porosidad y mejor barrera contra la penetración de agentes perjudiciales.

- La resistencia a la compresión también mejora con el tiempo de curado en todas las relaciones analizadas; sin embargo, se observa una disminución de la resistencia conforme aumenta la relación a/c. La mezcla con una relación de 0.40 mostró los valores más altos de resistencia a la compresión, lo cual la hace ser lo más ideal en el presente estudio.
- En lo concerniente a la porosidad capilar, la relación directa entre mayor porosidad y mayor relación a/c se confirmó, con la mezcla de 0.50 mostrando niveles de porosidad que clasifican estos hormigones dentro de una calidad media, mientras que las relaciones de 0.40 y 0.45 se mantienen dentro de los rangos de buena calidad.
- Es importante indicar que en la relación de 0.50 se cumple con la resistencia característica, pero su porosidad es de media calidad y en resistividad se encuentra en un rango de alto penetración de los agentes agresivos.

Referencias

- AASHTOT95. (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.
- ASTM C 1585- 20 Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes. <https://www.astm.org/c1585-20.html>
- Cañarte Pico Daniela; Bravo Cedeño Yoelly, & Guerra JC. (2023). Estudio comparativo del comportamiento de morteros de albañilería elaborados con varios tipos de agregados finos. *Dominio De Las Ciencias*, 9(3), 1606–1623. <https://doi.org/10.23857/dc.v9i3.3516>
<https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/3516>
- Castañeda Valdés, A. (2013). Estudio de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo embebido en el hormigón armado en la habana.
- Castañeda, AJ, Corvo, F., Pech, IE, Valdés, C., Marrero, R., & Del Angel-Meraz, E. (2021). Corrosión atmosférica en una refinera de petróleo ubicada en una isla tropical bajo nueva situación de contaminantes. *Revista de Ingeniería y Rendimiento de Materiales*, 30, 4529 - 4542.

Índice de durabilidad para hormigones con diferentes relaciones agua – cemento

- Escobar-Hurtado, J. S., Guerra-Mera, J. C., & Eguez-Álava, H. E. (2023). Tamaño máximo del agregado y su influencia en la porosidad de un hormigón elaborado con fibra de vidrio. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación*. ISSN: 2737-6249., 6(11 Ed. esp.), 2-17. <https://doi.org/10.46296/ig.v6i11edespmayo.0095>
- Fagerlund, G. (1986). On the capillarity of Concrete. *Nordic Concrete Research*, . No. 11, Oslo.
- García-Moreta, L. D., Morrillo-García, V. A., & Guerra-Mera, J. C. (2023). Características de dos agregados gruesos triturados que influyen en la porosidad del hormigón. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación*. ISSN: 2737-6249., 6(11 Ed. esp.), 16-28. <https://doi.org/10.46296/ig.v6i11edespfeb.0086>
- Guerra-Mera, J. C., Castañeda-Valdés, A., & Howland-Albear, J. J. (2016). Estudio preliminar de la agresividad corrosiva de la atmósfera en el puente de los Caras, Manabí, Ecuador. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 47(1), 17-29. Recuperado a partir de <https://revista.cnic.edu.cu/index.php/RevQuim/article/view/108>
- Guerra, J., Howland, J., & Castañeda, A. (2017). Primeras experiencias en el desempeño por durabilidad de un hormigón antes de usarlo en el perfil costero de Manabí, Ecuador. *CENIC Ciencias Químicas*, 48(1), 27-40. Recuperado de: <https://revista.cnic.edu.cu/index.php/RevQuim/article/view/122>.
- Guerra, J. C., Howland Alber, J. J., & Castañeda Valdes, A. (2019). Importancia del estudio del desempeño por durabilidad del puente del río Chone, provincia de Manabí, Ecuador. *Revista Cubana De Ingeniería*, 9(1), 57–66. Recuperado a partir de <https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/466>
- Guerra Mera, J. C. (2023). Estudio del desempeño por durabilidad del hormigón en una zona del perfil costero de Manabí, Ecuador. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 54(1), 238-241. Recuperado a partir de <https://revista.cnic.edu.cu/index.php/RevQuim/article/view/4092>
- Guerra-Mera, J. C., Puig-Martínez, R., Castañeda-Valdés, A., & Baque-Campozano, B. P. (2023). Estado del arte sobre durabilidad de estructuras de hormigón armado en perfiles costeros. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación*. ISSN: 2737-6249., 6(11), 2-20. <https://doi.org/10.46296/ig.v6i11.0080>
- Guerra-Mera, JC, García, Á. RS, Pin-Mera, MG, Rodríguez-Díaz, JM, & Castañeda-Valdés, A. (2024). Evaluación de corrosividad atmosférica en zonas costeras: Estudio de caso en puerto

Índice de durabilidad para hormigones con diferentes relaciones agua – cemento

López, Manabí, Ecuador. Estudios de casos en Ingeniería Química y Ambiental, 100703.
<https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100703>

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.

NTE INEN 872. (2011). Instituto Ecuatoriano de Normalización. Áridos para hormigones. Requisitos. Quito.

Parrales-Espinales, V. J., Chilingua-Lago, B., & Guerra-Mera, J. C. (2023). Composición de mezclas de agregados gruesos y finos en la resistencia a la compresión y porosidad del hormigón. Polo del Conocimiento,8(11), 600-613. DOI: 10.23857/pc. v8i11.6227.
<https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/6227>

Pejman. A. & Gupta. R. (2017). Electrical Resistivity of Concrete for Durability Evaluation: A Review. Advances in Materials Science and Engineering. 2017. 1–30.
<https://doi.org/10.1155/2017/8453095>

Quito-Solórzano, L. M., Macías-Salazar, K. E., & Guerra-Mera, J. C. (2022). Ceniza del bagazo de caña de azúcar para mejorar la resistividad y resistencia del hormigón. Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación. ISSN: 2737-6249., 5(10 Ed. esp.), 2-18. <https://doi.org/10.46296/ig.v5i10edespsep.0070>

Sánchez, J., Andrade, C., Torres, J., Rebolledo, N. y Fullea, J. (2017). Determinación de la durabilidad del hormigón armado con medidas de resistividad en obra. Materiales y Estructuras, 50, 1-9.

©2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).