

Types of concrete curing and its influence on resistivity and porosity

Tipos de curados del hormigón y su influencia en la resistividad y porosidad

Autores:

Guamán-Yupangui, Noé Ezequiel
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Estudiante
Portoviejo-Ecuador



nguaman8489@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0007-0735-7343>

Demera-Pinto, Michael Antonio
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Estudiante
Portoviejo-Ecuador



mdemera9507@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0003-4681-3410>

Guerra-Mera, Juan Carlos
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Departamento de Construcciones Civiles
Docente Tutor
Portoviejo-Ecuador



juan.guerra@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0001-6597-0022>

Fechas de recepción: 10-DIC-2024 aceptación: 10-ENE-2025 publicación: 15-MAR-2025



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>

Resumen

Con el propósito de obtener hormigones más resistentes y duraderos, esta investigación tiene por objetivo cuantificar y evaluar la influencia del curado en la resistividad, porosidad y resistencia del hormigón. Se analizaron tres tipos de curados: inmersión (C1), mantas húmedas de yute (C2) y láminas de polietileno (C3). La metodología fue experimental, cuantitativa y analítica, utilizando agregados de Chimborazo y Manabí, Ecuador. Se caracterizaron los materiales según ACI 211.1-02, ASTM C 33-18, NTE INEN 1855-2-15, NTE INEN 872-11, y la mezcla de hormigón se diseñó por peso siguiendo ACI 211.1-02. Los especímenes se sometieron a curados C1, C2, C3, registrando resistividad a los 7, 14, 21, y 28 días según AASHTO-TP-95-11. La porosidad efectiva se evaluó con la metodología de Göran Fagerlund, ASTM C 1585-04, y la resistencia a la compresión según ASTM C 39-03. Los resultados mostraron que la resistividad aumentó con el tiempo, siendo C1 y C3 los más efectivos. A los 28 días, la porosidad de C1 fue inferior al 10 %, y cercana al 10 % en C3, indicando buena calidad del hormigón según la Red Iberoamericana XV.B. DURAR. Los ensayos de resistencia a la compresión a los 28 días cumplieron con la resistencia mínima de diseño de 210 kg/cm², pero solo C1 superó la resistencia promedio requerida de 294 kg/cm². Se concluye que C1 y C3 garantizan una buena resistividad e impermeabilidad frente a los agentes agresivos del exterior, recomendándose C3 en obra por facilidad de aplicación, con el fin de conservar la humedad y contribuir al desarrollo de las propiedades internas.

Palabras clave: curados del hormigón; resistividad; porosidad capilar efectiva; resistencia a la compresión; inmersión; tejidos de yute; láminas de polietileno

Abstract

With the purpose of obtaining more resistant and durable concrete, this research aims to quantify and evaluate the influence of curing on the resistivity, porosity and strength of concrete. Three types of curing were analyzed: immersion (C1), wet jute blankets (C2) and polyethylene sheets (C3). The methodology was experimental, quantitative and analytical, using aggregates from Chimborazo and Manabí, Ecuador. The materials were characterized according to ACI 211.1-02, ASTM C 33-18, NTE INEN 1855-2-15, NTE INEN 872-11, and the concrete mix was designed by weight following ACI 211.1-02. The specimens were subjected to C1, C2, C3 curing, recording resistivity at 7, 14, 21, and 28 days according to AASHTO-TP-95-11. The effective porosity was evaluated with the methodology of Göran Fagerlund, ASTM C 1585-04, and the compressive strength according to ASTM C 39-03. The results showed that the resistivity increased over time, with C1 and C3 being the most effective. After 28 days, the porosity of C1 was less than 10%, and close to 10% in C3, indicating good quality of the concrete according to the Ibero-American Network XV.B. SPAN. The 28-day compressive strength tests met the minimum design strength of 210 kg/cm², but only C1 exceeded the required average strength of 294 kg/cm². It is concluded that C1 and C3 guarantee good resistivity and impermeability against aggressive agents from the outside, with C3 being recommended on site for ease of application, in order to conserve humidity and contribute to the development of internal properties.

Keywords: concrete curing; resistivity; effective capillary porosity; compressive strength; immersion; jute fabrics; polyethylene sheets

Introducción

El hormigón ha estado presente en las estructuras y edificaciones desde la antigüedad hasta la actualidad, cada vez es mayor el desafío de investigadores y constructores para hacer de este material más eficiente tanto en durabilidad y trabajabilidad. El curado del hormigón juega un papel muy importante durante el secado hasta el endurecimiento del hormigón, pues se trata de conservar la humedad de la mezcla para evitar la evaporación del agua, un fraguado paulatino que garantice que el hormigón adquiera las propiedades deseadas como la resistencia, durabilidad, y permeabilidad.

Para garantizar un hormigón de calidad no solo basta de un curado adecuado, sino que también depende de ciertas características primordiales como los materiales entre ellos el cemento, agregado fino (arena), agregado grueso (grava), agua, y en algunos casos se requiere de aditivos, los mismos que se deben agregar en una correcta dosificación, para ofrecer las propiedades internas que aportan a tener un hormigón idóneo.

“El curado consiste en mantener un contenido satisfactorio de humedad y temperatura en el concreto recién colocado, para que se puede desarrollar las propiedades deseadas” (ACI, 1994). La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-HM-15 establece lo siguiente: “las superficies expuestas de hormigón que contienen cemento hidráulico deben mantenerse húmedas por el tiempo especificado en cada proyecto. Si no se dispone de esta especificación deben mantenerse húmedas por al menos de 5 a 7 días”. Por lo tanto, el curado es muy importante para el desarrollo de las propiedades y de esta manera conservar la humedad necesaria para obtener hormigones de mayor calidad y de alta resistividad, con menos poros, prolongado la vida útil de estos.

Según ACI 308-92 establece lo siguiente: “El curado consiste en mantener un contenido satisfactorio de humedad y temperatura en el hormigón recién colado para que puedan, así, desarrollarse las propiedades deseadas”. Con ello obtenemos resultados deseados tanto en trabajabilidad y durabilidad, lo que se ve reflejado significativamente en la porosidad y resistividad del hormigón, las cuales son variables del presente estudio.

“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” (Guerra et al., 2023, p. 11). Por lo tanto, la resistividad nos permite cuantificar el grado de evaporación y saturación de los poros del hormigón, esto consiste en la conductividad eléctrica en el interior del hormigón, es decir, si hay alta conductividad eléctrica existe baja resistividad, con un incremento de poros lo cual significa un peligro para el ingreso de partículas dañinas desde el medio ambiente. Además, Guerra et al., (2018) indicaron que: “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). Las proyecciones realizadas en las estructuras de hormigón armado previo a la construcción, cumplen con la finalidad de satisfacer los requisitos funcionales dentro de un determinado tiempo, teniendo en consideración los costos que se produzca por mantenimiento, evitando gastos adicionales.

Según (Torres et al., 2019) afirmaron: “cuanto mayor es la resistividad eléctrica, menor es la porosidad del concreto; por tanto, mayor será su impermeabilidad y resistencia mecánica, al contener más fase sólida por volumen” (p. 5). Debido a que el hormigón tiene circuitos internos de poros, y siendo el agua un conductor de la electricidad, se establece que la resistividad es mayor cuando el hormigón no está saturado, al contrario, si el hormigón está saturado existe mayor porosidad y la resistividad eléctrica en consecuencia es menor.

“La porosidad es una medida del volumen total de los poros que se encuentra en la estructura interna del concreto endurecido; depende de su relación entre el agua y el cemento (A/C), el grado de hidratación del cemento, el volumen de aire atrapado y las proporciones entre los agregados fino y grueso” (Solís y Alcocer, 2019, p. 2). Es por ello que se debe poner énfasis en la calidad de los materiales utilizados en la elaboración de hormigones, para obtener buenos resultados y evitar los efectos de porosidad, ya que una adecuada relación a/c determina la resistencia y calidad del hormigón.

Guerra et al., (2017) establecen que: “la porosidad efectiva juega un papel fundamental 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 antes de ser sometido a condiciones medioambientales de exposición” (p. 28). La porosidad es una característica del hormigón que influye en las propiedades para el diseño, como son la calidad y durabilidad; siendo la durabilidad un factor de gran importancia, de ello depende el tiempo de vida útil para la que fue diseñada, evitando su deterioro prematuro.

Según (Palenque y Valero, 2023) “La porosidad, como parámetro de control de la difusividad, está también relacionada con las propiedades eléctricas, ya que puede usarse para medir la edad de los hormigones” (p. 300). La porosidad se puede medir con varios métodos, entre ellos ensayos no destructivos (END) como la esclerometría y método de Wenner- Array.

“La porosidad depende de la fuerza de compactación aplicada, donde, a mayor fuerza, menor es el contenido de huecos, también influye las mezclas de alto contenido de pasta y bajo contenido de pasta de acuerdo al agregado que lleven ya sea grueso o fino” (Elizondo, 2020). Esto es, si existe una debida compactación las partículas internas tienden a enlazarse de mejor manera con lo cual se obtiene una menor porosidad capilar.

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. (Guerra et al., 2023, p. 10). Es así que, un bajo grado de poros ayuda a controlar el ataque de los agentes agresivos, principalmente en atmósferas de extrema agresividad, lo que podría resultar con inconvenientes en la parte estructural, ya que estos agentes agresivos afectan la resistencia de los materiales, lo que puede ocasionar el deterioro anticipado de dichas estructuras.

Howland y Martín (2012) manifestaron que: “La porosidad 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” (p. 17-24). Por lo tanto, cuando existe una porosidad interconectada y conectada con el interior hay a su vez un intercambio de humedad, dando lugar a mecanismos de transporte, entonces la porosidad efectiva del hormigón es también la medida del grado de durabilidad de las estructuras.

“Que para la construcción de las estructuras en las edificaciones de hormigón armado en el perfil costero de Manabí y en Ecuador, es de vital importancia tener en cuenta como requerimientos por durabilidad, el porcentaje mínimo de porosidad capilar efectivo es <10%” (Guerra 2023, p. 241). Lo que significa que, si es menor o igual al 10% se tiene un hormigón de buena calidad, cuando esta entre el 10% y el 15% como calidad moderada y como mala calidad si es >15%.

La presente investigación tiene como objetivo cuantificar resultados, obtenidos de los ensayos realizados de los diferentes tipos de curados: (inmersión, mantas húmedas (tejidos de yute), láminas de polietileno), evaluando la influencia en la resistividad, porosidad y resistencia a la compresión.

Materiales y métodos

En la presente investigación se utilizaron dos tipos de agregados, los mismos que provienen de diferentes canteras del Ecuador, de las provincias de Chimborazo y Manabí; como conglomerante se utilizó cemento Portland Puzolánico Tipo IP de la marca Selvalegre, el mismo que es muy utilizado en diversos tipos de construcciones y que cumple con los requisitos de las normas ASTM C 595-03, NTE INEN 490-11; el agua utilizada en la mezcla fue potable, la misma que estaba limpia, libre de suciedad y material orgánico, obteniendo una buena consistencia de la mezcla y que los elementos se adhieran entre sí de manera eficaz, como lo indica la NEC-SE-HM-15, con la finalidad de obtener una resistencia a la compresión mínima de 210 kg/cm².

La metodología utilizada en el presente trabajo investigativo es de carácter cuantitativo, experimental y analítico; se basó en tres tipos de curados de especímenes; inmersión, mantas húmedas (tejidos de yute) y láminas de polietileno.

Cumpliendo con normativas establecidas: ACI 211.1-02, ASTM C 33-18, NTE INEN 1855-2-15, NTE INEN 872-11; se llevó a cabo la caracterización de los materiales en el laboratorio de Mecánica de Suelos Rocas y Asfaltos de la Universidad Técnica de Manabí; ensayo de humedad natural, pesos unitarios, pesos específicos y absorciones de agregados, análisis granulométrico (tamizado), ensayo de abrasión (Máquina de los Ángeles). Como resultado de los ensayos de caracterización de materiales tenemos: el módulo de finura de la arena 2,3 cumpliendo con las directrices de la norma NTE INEN 872-11, el tamaño máximo nominal de la grava de 1/2" y un 30,6 % de desgaste por abrasión de la grava, de esta forma se cumplen los materiales para proceder con el diseño de la mezcla por peso según el ACI 211.1-02. En la (tabla 1), se tiene la dosificación de la mezcla de hormigón para un metro cúbico.

Tabla 1
Diseño de la mezcla de hormigón.

Descripción	Peso (kg)	Densidad (kg/m ³)	Volumen (m ³)
Cemento	384,46	3010	0,128
Agua	249,90	1000	0,250
Agregado fino	757,28	2779	0,273
Agregado grueso	847,24	2419	0,350
Peso teórico	2238,88		
A/C		0,65	
Volumen (m³)			1,000

Fuente. Los autores.

Luego de realizar el diseño de mezcla por peso del hormigón, procedimos a medir la trabajabilidad utilizando el cono de Abrams (figura 1), con lo cual obtuvimos 5,2 cm de asentamiento, de acuerdo a la NTE INEN 1578-10, cabe recalcar que los equipos fueron humedecidos para que no exista pérdida de agua en la mezcla; seguidamente limpiamos y cubrimos con aceite mineral el interior de los moldes cilíndricos, para la fundición de los especímenes de hormigón cumpliendo con la norma NTE INEN 1576-11.

Figura 1
Medición de consistencia mediante el cono de Abrams.



Fuente. Los autores.

Se realizaron 30 especímenes de hormigón, con moldes de 10 x 20 cm, de acuerdo a lo establecido en las normas: NTE INEN 1576-11, NTE INEN 3124-17, ASTM C 192-16; tal como se observa en la (figura 2).

Figura 2
Especímenes de hormigón.



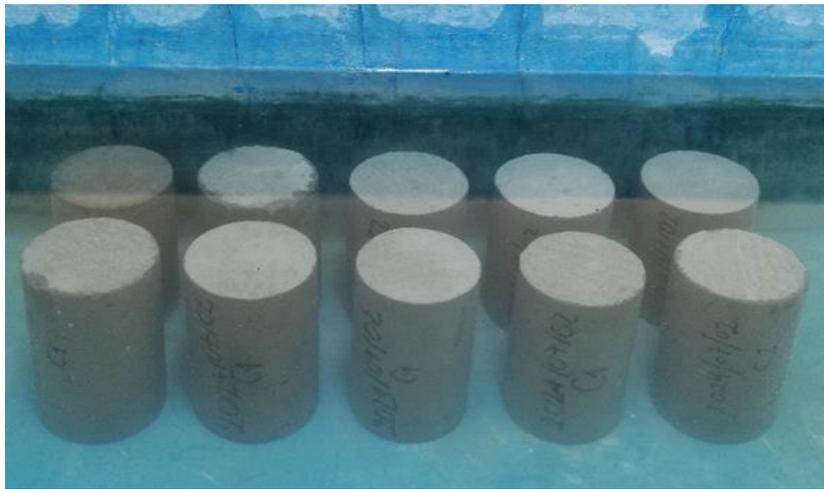
Fuente. Los autores.

Curados empleados

- Inmersión

Inmediatamente luego de haber desencofrado se tomaron 10 especímenes, los mismos que se sumergieron en una piscina de agua con una temperatura al ambiente, verificando que estén lo suficientemente sumergidos para de esta manera llevar a cabo nuestro propósito, como se observa en la (figura 3).

Figura 3
Especímenes curados mediante inmersión.



Fuente. Los autores.

- Mantas húmedas (tejidos de yute)

Para este curado tomamos 10 especímenes de hormigón y se trasladaron a un sitio de fácil manipulación dentro del laboratorio, luego se envolvieron en su totalidad con mantas de yute de 40 x 55 cm como se observa en la (figura 4), se cubre con estas mantas con la intención de retener la humedad y para que esto ocurra con la ayuda de una manguera se realizó la hidratación con agua en dos horarios 8:00 a.m. y 05:00 p.m.

Figura 4
Especímenes curados mediante mantas húmedas (tejidos de yute).



Fuente. Los autores.

- Láminas de polietileno

Los 10 especímenes restantes, se sumergieron en el agua por unos segundos e inmediatamente fueron envueltos completamente con láminas de polietileno, se ubicaron en un ambiente fresco con la finalidad de conservar la humedad evitando así la deshidratación repentina, y como un mecanismo de absorción de calor exterior, para aprovechar de buena manera la humedad contenida en los especímenes durante los días requeridos como se observa en la (figura 5).

Figura 5
Especímenes curados mediante láminas de polietileno.



Fuente. Los autores.

Con el uso del dispositivo Giatec Scientific SurfTM, se realizó el ensayo de resistividad eléctrica superficial del hormigón, es un dispositivo de medición automática, rápida, fácil y precisa para investigar las propiedades microestructurales del hormigón, es usado para medir la resistividad alrededor de la muestra, permeabilidad de cloruros, control de calidad para determinar la durabilidad del hormigón. Este es un ensayo de carácter no destructible y que cumple con los requisitos de las normas: AASHTO TP 95-11, ASTM C 1202-12; se basa en la técnica de cuatro sondas (Wenner-Array), situados a 90°. En lo experimental tomamos un espécimen de cada curado y con el equipo Giatec Scientific SurfTM realizamos tres lecturas a los 7, 14, 21 y 28 días, así como observamos en la (figura 6).

Figura 6

Lecturas de resistividad con el uso del equipo Giatec Scientific SurfTM.



Fuente. Los autores.

La porosidad capilar efectiva del hormigón (ϵ), se determinó de acuerdo a la metodología establecida por Göran Fagerlund, la misma que requiere de condiciones de absorción capilar efectiva del agua en especímenes de hormigón de acuerdo a la normativa ASTM C 1585-04. Luego de haber aplicado los curados por 28 días se emplearon especímenes de cada curado y se realizaron cortes de tres cm, con la sierra de carburo de Tungsteno lo cual se evidencia en la (figura 7), tratando de que los cortes sean uniformes y que no haya desprendimiento de material de sus bordes, en total conseguimos 12 especímenes (tres centímetros), es decir, cuatro especímenes de cada curado para de esta manera tener una mayor valoración del porcentaje capilar efectivo de los especímenes de hormigón.

Figura 7

Cortes de especímenes de tres cm con el uso de la sierra de carburo de tungsteno.



Fuente. Los autores.

Seguidamente estas muestras fueron llevadas al horno, para el secado a 50° C durante 24 horas, así como se puede observar en la (figura 8), luego se dio el respectivo enfriamiento al ambiente llegando a tener un peso constante, cada una de las muestras secas se pesaron a 23° C antes de tener contacto con el agua.

Figura 8

Secado de muestras a 50° C.



Fuente. Los autores.

Las paredes laterales de los especímenes fueron impermeabilizadas con parafina a 2 cm de altura medida desde el borde inferior, figura 9 (a); con el fin de impedir en su totalidad el contacto con el agua y que solamente la parte inferior perpendicular a las paredes laterales entren en contacto con el agua, figura 9 (b); se tuvo en cuenta que el agua se encontrara a 0,5 cm sobre el borde inferior y 0,5 cm por debajo del borde inferior de la mismas, para esto utilizamos trozos de polímero inorgánico (silicona sólida) de 1,5 cm de altura, figura 9 (b). Después de tener contacto con el agua procedimos a pesar de acuerdo a los siguientes

intervalos de tiempo; (1, 5, 10, 15, 30) min, (1, 2, 3, 4, 6, 24) horas, (2, 3, 4, 5, 6, 7) días, hasta lograr un peso constante en el tiempo, así como se observa en la figura 9 (c).

Figura 9

a) Aplicación de parafina, b) Colocación en agua, c) Peso de especímenes.



Fuente. Los autores.

Este método de absorción capilar desarrollado por Göran Fagerlund, para la obtención de la porosidad efectiva (ϵ) requiere cumplir determinados parámetros de la ecuación 1:

$$\epsilon = \frac{K \sqrt{m}}{1000} (\%) \quad (1)$$

El ensayo de la resistencia a la compresión se realizó a los 7, 21 y 28 días de curado, para los primeros 7 y 21 días seleccionamos dos especímenes por cada tipo de curado, mientras que a los 28 días seleccionamos cuatro especímenes por cada curado, como se observa en la (figura 10), con el fin de obtener las características mecánicas de los especímenes de acuerdo a las normas: ASTM C 39-03, NTE INEN 1573-10. La resistencia propuesta inicialmente (resistencia mínima de diseño) fue de 210 kg/cm².

Figura 10

Ensayo de resistencia a la compresión aplicados a los curados C1, C2 y C3.



Fuente. Los autores.

Resultados

RESISTIVIDAD ELÉCTRICA (ρ)

En el ensayo de resistividad eléctrica se consideraron los tres curados: C1, C2 y C3, como se puede observar en la (tabla 2), se calculó la resistividad promedio de las tres lecturas que se realizaron para los días seleccionados.

Tabla 2

Resultados del ensayo de resistividad eléctrica (ρ) según el tipo de curado.

Tipos de curado	7 días		14 días		21 días		28 días	
	ρ k Ω .cm	ρ prom. k Ω .cm	ρ k Ω .cm	ρ prom. k Ω .cm	ρ k Ω .cm	ρ prom. k Ω .cm	ρ k Ω .cm	ρ prom. k Ω .cm
Inmersión C1	8,5		9,0		10,1		13,4	
	5,3	6,9	8,6	8,8	10,6	10,4	13,9	13,5
	6,8		8,9		10,5		13,2	
Tejidos de yute C2	4,1		4,8		6,4		8,2	
	4,7	4,7	4,9	4,9	6,7	6,4	7,9	8,0
	5,2		5,0		6,0		8,0	
Láminas de polietileno C3	6,5		6,4		10,5		10,5	
	4,7	5,4	6,2	6,2	9,5	10,2	10,5	10,6
	5,0		6,0		10,6		10,9	

Fuente. Los autores.

Se puede observar que, en los tres tipos de curados de la tabla anterior existe un incremento de la resistividad del hormigón a medida que pasan los días, siendo la resistividad promedio más alta a los 28 días, esto tiene concordancia con lo manifestado por Andrade y D'Andrea (2011):

La resistividad al principio del mezclado es muy baja, pero, a medida que se hidrata el cemento y va fraguando el hormigón, la resistividad aumenta. (p. 98), por lo que, a mayor resistividad se produce un movimiento menor de las cargas eléctricas (los iones de los poros del hormigón), esto se debe que a mayor resistividad indica menor porosidad y mayor durabilidad, lo cual es tan importante ya que de esta manera se tiene un hormigón impermeable con buena resistencia mecánica y de difícil acceso de los agentes agresivos.

El curado por inmersión a los 28 días, presentó una resistividad promedio de 13,5 (kΩ.cm), la más alta en comparación a los curados con tejidos de yute y láminas de polietileno, lo que significa que la penetración de agentes del exterior será de forma moderada de acuerdo con la AASHTO TP 95-11. De igual manera los demás curados mantienen ese incremento de resistividad desde las primeras lecturas realizadas a los siete días. La resistividad promedio más baja son los especímenes curados con tejidos de yute obteniendo una resistividad de 8,0 (kΩ.cm). Cuando la resistividad recae por debajo de 10 (kΩ.cm), Martínez et al., (2018) manifestaron lo siguiente:

Los valores de resistividad eléctrica alcanzados a los 28 y 50 días son menores de 10 (kΩ.cm), concluyendo que las mezclas de hormigón con los materiales empleados, no garantizan la durabilidad de la estructura. (p. 11). Los especímenes que están por debajo de este valor son el curado con tejidos de yute, es importante destacar que siempre se debe realizar un curado adecuado y responsable de las estructuras de hormigón, para garantizar una alta resistividad y por ende una durabilidad y resistencia frente a los agentes agresivos.

POROSIDAD CAPILAR EFECTIVA

Para el porcentaje de porosidad capilar efectiva se efectuó a los 28 días, se utilizaron cuatro especímenes por cada tipo de curado: C1, C2 y C3, estos especímenes se obtuvieron mediante cortes de tres cm, sumando un total de 12 especímenes, como se indica en la (tabla 3).

Tabla 3
Resultados del ensayo de porosidad efectiva según el tipo de curado.

Tipos de curado	Cantidad de especímenes	Porosidad efectiva %	Promedio %
Inmersión C1	4	8,45	8,21
		8,13	
		7,18	
		9,09	

Tejidos de yute C2	4	12,15	13,01
		13,67	
		12,68	
		13,55	
Láminas de polietileno C3	4	10,5	10,64
		11,4	
		9,95	
		10,72	

Fuente. Los autores.

Según la Red Iberoamericana XV.B. DURAR (Durabilidad de la armadura) del año 1997, del Programa CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo), los criterios de evaluación son, un hormigón con un porcentaje de porosidad efectiva menor o igual al 10% se considera de buena calidad y compacidad. Porosidad efectiva entre el 10% y el 15% se considera de moderada calidad y si el porcentaje es >15%, indica un hormigón de durabilidad inadecuada.

En la tabla anterior se puede observar que el porcentaje promedio de porosidad efectiva mediante el curado por inmersión (C1), es el que da mejores resultados que los obtenidos mediante tejidos de yute y láminas de polietileno, ubicándose en el rango de hormigones de buena calidad mientras que los curados C2 y C3 según los resultados obtenidos se consideran hormigones de moderada calidad, siendo el curado con tejidos de yute (C2), el que da resultados más desfavorables con el 13,01%.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

En la siguiente tabla se detallan los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión, que se desarrollaron a los 7, 21 y 28 días, para los curados realizados: C1, C2 y C3.

Tabla 4
Resultados del ensayo de resistencia a la compresión según el tipo de curado.

Tipos de curado	Fc 7 días kg/cm ²			Fc 21 días kg/cm ²			Fc 28 días kg/cm ²		
	Fc	prom.	%	Fc	prom.	%	Fc	prom.	%
Inmersión C1	177,45	177,89	84,71	235,04	234,41	111,62	295,12	298,01	141,91
	178,32			233,77			295,34		
							295,55		
							306,04		
Tejidos de yute C2	147,64	146,34	69,69	194,27	195,015	92,86	215,89	214,28	102,04
	145,04			195,76			217,34		
							211,52		
							212,36		
Láminas de polietileno C3	157,47	158,10	75,29	210,43	212,05	100,98	265,55	268,76	127,98
	158,73			213,67			270,43		
							273,64		
							265,43		

Fuente. Los autores.

De la tabla anterior observamos que, a los 21 días de curado se alcanza la resistencia mínima de diseño en los curados por inmersión y láminas de polietileno, mientras que el curado con tejidos de yute alcanzó $195,015 \text{ kg/cm}^2$ inferior a la resistencia mínima de diseño.

A los 28 días, los tres tipos de curados alcanzaron la resistencia mínima de diseño, pero solamente el curado por inmersión logró cumplir con la resistencia promedio requerida, con $298,01 \text{ kg/cm}^2$, seguido por el método con láminas de polietileno que obtuvo un valor de $268,76 \text{ kg/cm}^2$, y finalmente el método con tejidos de yute con una resistencia de $214,28 \text{ kg/cm}^2$, la menor de todos.

Conclusiones

En los tres tipos de curados: por inmersión, tejidos de yute y láminas de polietileno, la resistividad eléctrica y resistencia a la compresión tienden a aumentar; en cuanto al porcentaje de porosidad sucede lo contrario, en este caso disminuye, es así que, una alta resistividad y resistencia son un indicativo de la durabilidad y buena calidad del hormigón.

No basta solamente de un curado adecuado para garantizar una buena resistividad y resistencia, influye de manera directa la selección y caracterización de los agregados para tener hormigones de calidad y durabilidad.

Los resultados de resistividad eléctrica medida a los 28 días, para los curados mediante inmersión y láminas de polietileno, están por encima de $10 \text{ K}\Omega\cdot\text{cm}$ garantizando una durabilidad del hormigón; en cambio el curado mediante tejidos de yute, según los resultados, no garantiza la durabilidad del hormigón.

El curado mediante inmersión, presentó excelentes resultados con un 8,21 % de porosidad; luego sigue el curado con láminas de polietileno, con un resultado muy cercano al 10 %; a diferencia del curado con tejidos de yute, que obtuvo el 13,01 % de porosidad; lo que significa que al aplicar este método no fue suficiente para brindar la humedad necesaria mientras el hormigón va endureciendo, lo cual generó la aparición de un porcentaje de poros y con esto disminuyó la calidad y compacidad del hormigón, de acuerdo a los resultados los tres métodos de curado se encuentran en un rango de buena y moderada calidad.

Los tres métodos de curados realizados en esta investigación experimental, cumplieron con la resistencia mínima de diseño de 210 kg/cm^2 , pero solo el método de curado por inmersión (C1) superó la resistencia promedio requerida de 294 kg/cm^2 , por lo que el curado más recomendado a aplicar es el curado mediante inmersión (C1), aunque en obra por facilidad de aplicación, se puede considerar el curado mediante láminas de polietileno (C3), por ser el más cercano al curado por inmersión de acuerdo a los resultados obtenidos por medio de los ensayos.

Referencias bibliográficas

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, “Práctica estándar para el curado del concreto”, ACI 308-92. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.,1994.



- NEC NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN. (2015). Estructuras de hormigón armado, Quito.
- Guerra-Mera, J. C., Puig Martínez, R., Castañeda-Valdés, A., & Baque-Camposano, 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>
- Torres-Acosta, A. A., Moreno-Valdés, A., Rodríguez-Mendo, G., Lomelí-González, M. G., & Martínez-Madrid, M. (2019). Efecto de la temperatura de prueba y la resistividad eléctrica húmeda en cilindros de concreto. Instituto Mexicano del Transporte. *Publicación Técnica No. 543*. Sanfandila, Qro., 2019, 2.
- Solís-Carcaño, R. G., & Alcocer-Fraga, M. A. (2019). Durabilidad del concreto con agregados de alta absorción. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 2. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2019.20n4.039>
- Guerra-Mera, J. C., Howland-Albear, J. J., & Castañeda-Valdés, A. (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(1), 27-40. <https://revista.cnice.edu.cu/index.php/RevQuim/article/view/122>
- Guerra, J. C., Alber, J. J. H., & Valdes, A. C. (2018). 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.cnice.edu.cu/index.php/RevQuim/article/view/4092>
- Elizondo-Martínez, E. J. (2020). Estudio de superficies urbanas multifuncionales de hormigón poroso. Escuela de Doctorado de la Universidad de Cantabria, Santander. <http://hdl.handle.net/10902/19256>
- Palenque-Vidaurre, E. R., & Valero-Choque, E. (2023). Determinación de la Porosidad de un Hormigón Mediante Medidas Eléctricas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* Septiembre - Octubre, 2023, Volumen 7, Número 5, 4-7. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i5.8237
- Martínez-Díaz, J. R., Díaz-Brito, N. E., & Castillo-Serpa, A. (2018). La resistividad eléctrica como herramienta para el control de la calidad del hormigón. *Revista Arquitectura e Ingeniería*, 12(3). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6759922>
- Andrade, C., & D'Andrea, R. (2011). "La resistividad eléctrica como parámetro de control del hormigón y de su durabilidad". *Revista (ALCONPAT) de la Asociación latinoamericana de control de calidad, patología y recuperación de la construcción*. vol. 1, núm. 2, mayo - agosto 2011, 93 – 101. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427639585001>

- Norma ASTM C 1585. (2004). Método de ensayo normalizado para medir el ritmo de absorción de agua de los hormigones de cemento hidráulico.
- Norma ASTM C 595. (2003). Estándar especificación de mezclas de cemento hidráulico.
- NTE NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 490. (2011). Cementos hidráulicos compuestos. Requisitos, Quito.
- Norma ACI 211.1-91. (2002). Práctica estándar para seleccionar proporciones para concreto normal, pesado y masivo.
- Norma ASTM C 33. (2018). Especificación estándar de agregados para concreto.
- NTE NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 1855-2 (2015). Hormigones. Hormigón preparado en obra. Requisitos, Quito.
- NTE NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 872 (2011). Áridos para hormigón. Requisitos, Quito.
- NTE NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 1578 (2010). Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento, Quito.
- NTE NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 1576 (2011). Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo, Quito.
- Norma ASTM C 39. (2003). Método de ensayo normalizado para determinar la resistencia a la compresión de muestras cilíndricas de hormigón.
- NTE NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 1573 (2010). Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico, Quito.
- NTE NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 3124 (2017-3). Hormigón. Elaboración y curado de especímenes de ensayo en el laboratorio, Quito.
- Norma ASTM C 192. (2016). Práctica estándar para hacer y curar especímenes de prueba de concreto en el laboratorio
- 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.
- Norma ASTM C 1202. (2012). Método de prueba estándar para la indicación eléctrica de la capacidad del hormigón para resistir la penetración de iones cloruro.
- Uller, L., Trocónis, O., Alanis, I., Helene, P., Mejías, R., O'Reilly, V., Díaz, I., Salta, M., Andrade, C., Carpio, J., & Rodríguez, G. (1997). Manual de Inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado. Programa Iberoamericano de ciencia y tecnología para el desarrollo CYTED, Río de Janeiro, 121.
- Howland, J., & Martín, A. (2012). Investigación de la absorción capilar de hormigones con áridos calizos cubanos. Revista Cubana de Ingeniería, Vol. III (2), 17 -24.
<http://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/71>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.