



*Incidencia de la relación agua cemento en la resistividad del hormigón*

*Incidence of the water-cement ratio on the resistivity of concrete*

*Incidência da relação água-cimento na resistividade do concreto*

Joselyn Alejandra Fiallos-Lezcano <sup>I</sup>  
[jfiallos9055@utm.edu.ec](mailto:jfiallos9055@utm.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0007-2352-7293>

María Manuela Rodríguez-Veliz <sup>II</sup>  
[mrodriguez5232@utm.edu.ec](mailto:mrodriguez5232@utm.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0005-4029-0502>

Juan Carlos Guerra-Mera <sup>III</sup>  
[juan.guerra@utm.edu.ec](mailto:juan.guerra@utm.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-6597-0022>

**Correspondencia:** [jfiallos9055@utm.edu.ec](mailto:jfiallos9055@utm.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 30 de diciembre de 2023 \* **Aceptado:** 01 de enero de 2024 \* **Publicado:** 08 de febrero 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 Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

## Resumen

En la elaboración de diseño de mezcla de hormigones, la relación agua/cemento ( $a/c$ ) es crucial para obtener hormigones durables y prolongar la vida útil de las estructuras de hormigón armado, por lo que es importante contar con estudios en donde se puedan analizar y determinar la resistividad eléctrica y, por ende, la durabilidad del hormigón. Esta investigación se centra, en optimizar la relación agua cemento para garantizar un hormigón de alta resistencia y durabilidad, que se adapten a las condiciones específicas de cada región. El objetivo principal es investigar cómo las variaciones en la relación agua/cemento afectan la resistividad eléctrica superficial del hormigón y su durabilidad. Se busca establecer criterios para garantizar un hormigón de alta calidad, utilizando agregados de diferentes entornos geográficos, de la región costa y sierra. En la metodología, se realizaron ensayos de laboratorio con agregados de dos provincias del Ecuador, se evaluaron relaciones agua/cemento de 0,40, 0,45 y 0,50. La metodología incluyó análisis de agregados finos y gruesos según normativas NTE-INEN, usando especificaciones del ACI 211.1 y ASTM C33. Se fabricaron 27 probetas de hormigón para ensayos de resistividad eléctrica y resistencia a la compresión, empleando técnicas como el método de la ASTHO-TP-95-2011 y el equipo Giatec Surf™. Los resultados mostraron un aumento de la resistividad eléctrica del hormigón desde los 7 a los 28 días, para todas las relaciones  $a/c$  evaluadas. La relación  $a/c$  de 0,40 presentó la mayor resistividad y resistencia a la compresión, mientras que las relaciones más altas mostraron una disminución en ambas propiedades, indicando un incremento en la porosidad y una posible reducción en la durabilidad. En conclusión, la relación  $a/c$  de 0,40 es óptima para lograr hormigón con alta resistencia y durabilidad. Relaciones más altas disminuyen la resistividad y la resistencia a la compresión, aumentando la porosidad y reduciendo la durabilidad del hormigón.

**Palabras clave:** Agua/cemento; Resistividad; Resistencia a la compresión; hormigón.

## Abstract

When preparing a concrete mix design, the water/cement ( $w/c$ ) ratio is crucial to obtain durable concrete and prolong the useful life of reinforced concrete structures, so it is important to have studies where it can be determined. analyze and determine the electrical resistivity and, therefore, the durability of the concrete. This research focuses on optimizing the water-cement ratio to guarantee a concrete of high resistance and durability, which adapts to the specific conditions of each region. The main objective is to investigate how variations in the water/cement ratio affect

the surface electrical resistivity of concrete and its durability. The aim is to establish criteria to guarantee high quality concrete, using aggregates from different geographical environments, from the coastal and mountain regions. In the methodology, laboratory tests were carried out with aggregates from two provinces of Ecuador, water/cement ratios of 0.40, 0.45 and 0.50 were evaluated. The methodology included analysis of fine and coarse aggregates according to NTE-INEN regulations, using ACI 211.1 and ASTM C33 specifications. 27 concrete specimens were manufactured for electrical resistivity and compression resistance tests, using techniques such as the ASTHO-TP-95-2011 method and the Giatec Surf™ equipment. The results showed an increase in the electrical resistivity of the concrete from 7 to 28 days, for all w/c ratios evaluated. The w/c ratio of 0.40 presented the highest resistivity and compressive strength, while the highest ratios showed a decrease in both properties, indicating an increase in porosity and a possible reduction in durability. In conclusion, the w/c ratio of 0.40 is optimal to achieve concrete with high strength and durability. Higher ratios decrease resistivity and compressive strength, increasing porosity and reducing concrete durability.

**Keywords:** Water/cement; Resistivity; Compression resistance; concrete.

## Resumo

Na elaboração de um dimensionamento da mistura de betão, a relação água/cimento (a/c) é crucial para obter um betão durável e prolongar a vida útil das estruturas de betão armado, pelo que é importante ter estudos onde a possa ser determinada. resistividade elétrica e, portanto, a durabilidade do concreto. Esta pesquisa tem como foco otimizar a relação água-cimento para garantir um concreto de alta resistência e durabilidade, que se adapte às condições específicas de cada região. O objetivo principal é investigar como variações na relação água/cimento afetam a resistividade elétrica superficial do concreto e sua durabilidade. Pretende-se estabelecer critérios que garantam betão de elevada qualidade, utilizando agregados provenientes de diferentes ambientes geográficos, das regiões costeiras e montanhosas. Na metodologia foram realizados testes de laboratório com agregados de duas províncias do Equador, foram avaliadas relações água/cimento de 0,40, 0,45 e 0,50. A metodologia incluiu análise de agregados finos e graúdos de acordo com a normativa NTE-INEN, utilizando especificações ACI 211.1 e ASTM C33. Foram fabricados 27 corpos de prova de concreto para ensaios de resistividade elétrica e resistência à compressão, utilizando técnicas como o método ASTHO-TP-95-2011 e o equipamento Giatec

Surf™. Os resultados mostraram aumento na resistividade elétrica do concreto dos 7 aos 28 dias, para todas as relações a/c avaliadas. A relação a/c de 0,40 apresentou a maior resistividade e resistência à compressão, enquanto as maiores relações apresentaram diminuição em ambas as propriedades, indicando aumento da porosidade e possível redução da durabilidade. Concluindo, a relação a/c de 0,40 é ideal para obter concreto com alta resistência e durabilidade. Razões mais altas diminuem a resistividade e a resistência à compressão, aumentando a porosidade e reduzindo a durabilidade do concreto.

Palavras-chave: Água/cimento; Resistividade; Resistência à compressão; concreto.

## Introducción

Ante la necesidad de contar con una mejor comprensión del impacto de la relación en la 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.

La relación agua/cemento (a/c) es un factor importante para la resistividad eléctrica superficial del hormigón. La resistividad se refiere a la capacidad de una superficie de hormigón para resistir la conductividad eléctrica. Una menor resistencia superficial indica una mayor conductividad eléctrica, por lo tanto, un mayor riesgo de que los agentes agresivos ingresen y por donde exista corrosión de la barra de refuerzo en el hormigón.

Una relación agua-cemento más baja (es decir, menos agua en comparación con la cantidad de cemento) tiende a resultar en una mayor resistividad superficial. Esto se debe a que una menor cantidad de agua significa una menor cantidad de porosidad en la matriz de hormigón, lo que reduce la conectividad de los iones y, por lo tanto, la conductividad eléctrica baja, mejorando la calidad y durabilidad de las estructuras. Por otro lado, una relación agua-cemento más alta (más agua en comparación con la cantidad de cemento) tiende a aumentar la porosidad y la conectividad de los poros en la matriz de hormigón, lo que puede resultar en una menor resistividad superficial y, por lo tanto, una mayor posibilidad de que ingresen los agentes agresivos en el hormigón reduciendo la calidad y vida útil de las estructuras de hormigón armado.

Varios investigadores han pretendido establecer una relación entre la resistividad eléctrica y las otras propiedades de durabilidad, sin embargo, aún existen controversias entre los resultados, por

lo que es necesario realizar más investigación en esa área. (Juela et al., 2020, p.34). Según Villagrán et al., la resistencia eléctrica se define como la relación entre el voltaje aplicado y la corriente eléctrica que fluye a través de una muestra. También se puede definir como la resistencia de los materiales al paso de corriente eléctrica. Esta propiedad se define por unidad de área y longitud, denominándose resistividad. (2019, p.7). Además, se indica que “resultó conveniente demostrar, si el nivel de deterioro en las estructuras pudiera depender de la calidad del hormigón, del nivel de agresividad corrosiva de la atmósfera o de ambos factores en conjunto, empleando la técnica de resistividad” (Guerra, 2023, p.240).

Por lo que se puede determinar, que la evolución de los ensayos sobre la resistividad eléctrica en el hormigón, con el pasar de los años la ha posesionado como un indicador confiable para la evaluación de las propiedades y durabilidad del hormigón, siendo un método no destructivo para el control de calidad. De la misma manera, la resistividad indica la aptitud del hormigón para transmitir corrientes, aspecto crucial para evaluar su comportamiento frente a la corrosión.

La resistividad eléctrica del hormigón emerge como un parámetro significativo en la evaluación de la durabilidad en las estructuras de hormigón armado, particularmente en ambientes costeros que están expuestos a condiciones agresivas propias del ambiente atmosférico. Esta propiedad intrínseca del hormigón está influenciada substancialmente por la relación agua/cemento ( $a/c$ ), la cual es determinante en la microestructura y porosidad capilar del material, afectando directamente su desempeño a largo plazo.

En otro estudio destacaron que, “dado que las reacciones puzolánicas ocurren más tarde, después de los primeros 28 días en concreto con SCM (materiales cementosos suplementarios) la resistividad eléctrica aumenta más que en concreto simple” (Tibbetts et al, 2020, p.19).

La resistividad eléctrica superficial es una técnica no destructiva que es sensible a la microestructura de la pasta de cemento hidratada y a la composición química de la solución de poros en materiales a base de cemento. (Pablo et al, 2023, p.1). 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). Además la resistividad garantizaría, establecer de una manera más clara y precisa el grado de deterioro que pudiera presentar una estructura (Guerra et al., 2023, p.14).

**Cosolí et al., mantuvieron que:**

La resistividad eléctrica del concreto está influenciada por muchos factores, por ejemplo, composición del concreto, condiciones ambientales, etc., se pueden usar rangos predeterminados que correlacionen la resistividad con los riesgos de corrosión del refuerzo, o relaciones que correlacionen la resistividad con los riesgos de corrosión del refuerzo. (2020, p.32).

Los autores resaltan, a la resistividad eléctrica, como un método no destructivo para evaluar hormigón, útil tanto en producción como en inspección de estructuras existentes, facilitando la detección temprana del deterioro.

Es importante mencionar que, ante varias investigaciones existentes a los agregados que provienen de las canteras de la provincia de Manabí, se decidió analizar el comportamiento de agregados de dos provincias del país, uno de la costa y otro de la sierra, en este caso específico de la provincia de Imbabura del cantón Ibarra, y la provincia de Manabí cantón Portoviejo.

El enfoque de la presente investigación, está en cómo las diferentes relaciones agua/cemento de 0,40; 0,45 y 0,50, inciden en la resistividad superficial del hormigón. Los materiales utilizados fueron seleccionados de la siguiente manera: los agregados finos (arenas) y gruesos (ripio) provinieron de dos canteras ubicadas en las Provincias de Manabí (costa) e Imbabura (sierra), respectivamente, con la finalidad de determinar, si una relación agua-cemento baja tiende a mejorar la resistividad superficial del hormigón, mientras que una relación agua-cemento alta puede disminuir la resistividad y aumentar el riesgo de que los agentes agresivos ingresen al hormigón; esto para garantizar un hormigón con mayor durabilidad, además su resistencia a la compresión, teniendo en cuenta una resistencia equivalente o mayor a la propuesta en el diseño (21 MPa).

Para el desarrollo de la presente investigación, se analizaron muestras de diseño de mezcla utilizando dos agregados diferentes para comparar su desempeño, centrando la atención en su viabilidad en función de la variación de la relación agua-cemento. El análisis permitirá evaluar la idoneidad del árido en función de criterios de resistencia y calidad establecidos.

Para el desarrollo del análisis se realizó ensayos de laboratorios aplicando los criterios de la normativa ecuatoriana: NTE INEN 696:2010, NTE INEN 856:2010, NTE INEN 857:2010, NTE INEN 858:2010, NTE INEN 859:2010, NTE INEN 860:2011 y NTE INEN 862:2011, ensayos que llevarán a cabo en el Laboratorio de Suelos rocas y asfalto de la Universidad Técnica de Manabí (UTM).



## **Materiales y métodos**

Con el propósito de lograr diseños de mezclas adecuados, que posibilite la obtención de una resistividad idónea y, además una resistencia a compresión especificada de 25, 30 y 35 MPa, para la presente investigación, se utilizaron dos tipos de agregados, provenientes de dos canteras ubicadas en dos provincias del país. El agregado fino, el cual proviene de la cantera de Manabí; agregado grueso de tamaño nominal de 1/2", de la cantera de Imbabura. Respecto al cemento, se utilizó la marca SELVALEGRE es un Cemento Portland Puzolánico Tipo IP, diseñado para construcciones de hormigón en general, que cumple con los requerimientos de la norma NTE INEN 490 (Norma Técnica Ecuatoriana) y ASTM C 595.

La metodología implementada para evaluar el comportamiento del hormigón endurecido se basó en un análisis de sus componentes, los cuales son cruciales en las propiedades del hormigón, se analizaron tanto los agregados finos como los gruesos de acuerdo a las normativas de las NTE-INEN para la correcta determinación de sus propiedades durables, fundamentales en la mezcla de hormigón.

La caracterización de dichos agregados se llevó a cabo en el laboratorio de la Universidad Técnica de Manabí. Para la elaboración del hormigón, se adoptaron las especificaciones del ACI 211.1 del American Concrete Institute, en concordancia con los estándares dictados por la ASTM C33. Además, las prescripciones dictaminadas por las normativas ecuatorianas, incluyendo la NTE INEN 1855-1:2015 y la NTE INEN 1855-2:2015.

La parte experimental de la investigación, se la realizo con 27 probetas de hormigón, como se muestra en lo figura 1, para lo cual se utilizaron 27 moldes de 4 x 8 pulgadas, de acuerdo a lo establecido en las normas ASTM C39, C192, C470, para realizar los ensayos de resistividad eléctrica superficial y resistencia a la compresión. Las muestras se agruparon en tres grupos distintos, basados en la relación agua/cemento, de 0.4, 0.45 y 0.5, teniendo un total de nueve muestras en cada grupo.

*Figura 1: Probeta de hormigón*



Para los ensayos de resistividad eléctrica superficial, por su naturaleza no destructiva, se efectuaron mediciones en las 27 muestras. Se realizaron tres lecturas en cada probeta, permitiendo la obtención de un valor promedio que refleje de manera real los resultados experimentales y permita de una manera precisa conocer cómo influye la relación agua/cemento en las propiedades de durabilidad del hormigón.

En cuanto a la resistencia a la compresión, se evaluó en intervalos a los 7, 14 y 28 días, destinando tres muestras de cada grupo, para monitorear la evolución de la resistencia en el tiempo.

Para determinar la resistividad eléctrica del hormigón, se empleó el equipo Giatec Surf™ (figura 2), un dispositivo canadiense de alta precisión diseñado para análisis en laboratorio. Este aparato facilita la medición de la resistividad superficial de forma rápida y sin complicaciones, gracias a su técnica de cuatro sondas, conocida como Wenner-Array, que garantiza resultados confiables. Adicionalmente, el Giatec Surf™ cumple con los requisitos de AASHTO TP95 y es capaz de evaluar la permeabilidad del hormigón a iones cloruro, un factor crítico para la durabilidad de estructuras. Lo cual es de suma importancia para obtener una comprensión detallada de las propiedades de durabilidad del hormigón, lo que permite mejorar la calidad y prolongar la vida útil de las estructuras de hormigón armado.

*Figura 2: Equipo Giatec Sur*





Los procedimientos para evaluar la calidad del hormigón se efectuaron conforme a la normativa ASTM C39, aplicando ensayos de resistencia a la compresión durante 7, 14 y 28 días de curado, tal como se ilustra en la figura 3, permitiendo una evaluación y análisis de las propiedades mecánicas del hormigón.

*Figura 3: Máquina de compresión a) 0,40 b)0,45 y c)0,50*



Los moldes utilizados son de dimensiones de 100 y 200 mm de diámetro y altura respectivamente. Los diseños de las mezclas de hormigón se detallan en la tabla 1.

*Tabla 1: Resultados de diseños de mezclas*

Materiales	a/c = 0,4	a/c = 0,45	a/c = 0,50
Cemento (Kg)	9,04	8,03	7,23
Agregado grueso (Kg)	15,16	15,16	15,16
Agregado fino (Kg)	10,46	11,29	11,92
Agua, Lt	3,61	3,61	3,61

## Resultados y discusión

### Resistividad eléctrica superficial

Para la realización de los ensayos de resistividad eléctrica, se analizaron las tres relaciones agua/cemento como se lo demuestra en la tabla 2, obteniendo los resultados promedio mediante el

método de la ASTHO-TP-95-2011, para cada una de las relaciones a/c de los diseños de mezcla hasta los 28 días.

**Tabla 2:** Resultados de ensayo de resistividad eléctrica.

Relación a/c	Total de muestras	Serie de tres muestras	Resistividad eléctrica (KΩ.cm) 7 días	Resistividad eléctrica promedio (KΩ.cm)	Resistividad eléctrica (KΩ.cm) 28 días	Resistividad eléctrica promedio (KΩ.cm)
0,40	9	R 1-3	8,4		10,2	
		R 4-6	9,7	8,8	10,7	10,5
		R 7-9	8,3		10,5	
0,45	9	R 10-12	6,6		8,7	
		R 13-15	7,1	6,8	9,2	9,1
		R 16-18	6,8		9,3	
0,50	9	R 19-21	5,1		7,7	
		R 22-24	4,9	4,9	6,5	7,2
		R 25-27	4,7		7,3	

Los resultados obtenidos en la tabla 2, indican que, existen un incremento de la resistividad en las tres relaciones agua/cemento desde los 7 hasta los 28 días. Esto ya lo resaltaron Solórzano et al., en conclusión, manifestaron que:

La resistividad eléctrica del hormigón tiende a aumentar con el tiempo, lo que indica el proceso continuo de fraguado que experimenta durante su fase inicial; teniendo una relación directa con la resistencia a compresión y, por consiguiente, la durabilidad del material. (2024, p.1827)

A los 28 días, las relaciones agua/cemento de 0,40; 0,45 y 0,50 presentaron una tendencia decreciente en la resistividad eléctrica con el aumento de la relación agua/cemento.

Para la relación de 0,40, la resistividad promedio es de 10,5 KΩ.cm, ubicándose en el rango de moderada penetración de agentes agresivos según la normativa ASTHO-TP-95-2011; este valor,

al presentar mayor resistividad, implica una menor porosidad y, por consiguiente, una mejor calidad en términos de durabilidad frente a la penetración de agentes agresivos. Otros autores, entre los que se destaca Quito et al, concuerdan que:

Los resultados del ensayo de resistividad superficial, bajo la especificación de la norma AASHTO TP-95-11, determina el rango presente de penetración de cloruros para cada diseño a los 28 días de curado, estableciendo un rango moderado dentro del diseño estándar, 5% y 10% de reemplazo de CBCA (2022, p.12)

Al incrementar la relación a 0,45, observamos una disminución en la resistividad a un promedio de 9,1 KΩ.cm. Este cambio, con relación al de 0,40, indica un incremento en la porosidad del material. Finalmente, con una relación agua/cemento de 0,50, la resistividad promedio disminuye a 7,2 KΩ.cm, situándose tanto la de 0,40 y 0,45 por debajo del umbral de 10 KΩ.cm, lo que indica una alta penetración de agentes agresivos. Esto implica que, ante una alta penetración de agentes agresivos, se refleja una porosidad considerablemente mayor y una reducción en la durabilidad del hormigón, esto concuerda con Martínez et al., donde manifiestan que:

Los valores de resistividad eléctrica alcanzados a los 28 y 50 días son menores de 10 concluyendo que las mezclas de hormigón con los materiales empleados, no garantizan la durabilidad de la estructura, cuestión a tener en cuenta a la hora de su uso en obras. (2018, p.11)

Estos resultados resaltan la importancia de la relación agua/cemento en la resistividad eléctrica del hormigón y, por ende, en su durabilidad y resistencia a la penetración de agentes agresivos. La elección adecuada de esta relación es fundamental para asegurar la durabilidad de las estructuras.

### **Resistencia a la compresión**

De los resultados obtenidos experimentalmente para la resistencia a la compresión, se pudo comprobar que, estos resultados evidencian, una menor relación agua/cemento se obtiene a una mayor resistencia a la compresión del hormigón, lo que es fundamental para estructuras que requieren altos niveles de resistencia y durabilidad; tal y como se puede observar en la tabla 3, donde se especifican las tres relaciones agua/cemento a los 7, 14 y 28 días de curado.

*Tabla 3: Resultados ensayo de resistencia a la compresión según las a/c.*

a/c	Fc (7días)	Fc (14 días)	Fc (28 días)
-----	------------	--------------	--------------

0,40	26,83	30,90	37,88
0,45	21,34	25,34	31,15
0,50	21,02	24,88	27,77

A los 7 días, la relación a/c de 0,4, la resistencia es de 26,83 MPa; incrementándose a 30,90 MPa a los 14 días; y alcanzando 37,88 MPa a los 28 días. Esto indica que una menor cantidad de agua respecto al cemento se logra un hormigón más denso y resistente. Esta mezcla presenta la mayor resistencia a la compresión en todos los periodos de curado analizados.

Cabe recalcar que, en la relación a/c de 0,45, se observa una disminución en la resistencia a la compresión en comparación con la relación a/c de 0,4. A los 7 días, la resistencia es de 21,34 MPa; aumentando a 25,34 MPa a los 14 días; y a 31,15 MPa a los 28 días. Aunque la resistencia aumenta con el tiempo de curado, sigue siendo inferior a la relación a/c de 0,4.

La relación a/c de 0,50, es la relación con la menor resistencia a la compresión en todos los intervalos; inicia con 21,02 MPa a los 7 días; incrementa ligeramente a 24,88 MPa a los 14 días; y llega a 27,77 MPa a los 28 días. Este comportamiento refleja que un mayor contenido de agua reduce significativamente la resistencia del hormigón.

Partiendo de los resultados obtenidos a los 28 días, estos resultados evidencian que en una menor relación agua/cemento se alcanza una mayor resistencia a la compresión del hormigón, lo que es fundamental para estructuras que requieren altos niveles de resistencia y durabilidad. Finalmente, las tres relaciones a/c de 0,40, 0,45 y 0,50 lograron superar la resistencia a compresión especificada de 35, 30 y 25 MPa.

### **Resistencia a la compresión y resistividad eléctrica**

De los resultados obtenidos en los ensayos realizados a las tres relaciones a/c, que se muestran en la tabla 4, existe una correlación entre la resistencia a la compresión y la resistividad eléctrica para diferentes relaciones agua/cemento (a/c).

En la relación a/c de 0,40, muestra la más alta resistencia a la compresión y resistividad eléctrica. La alta resistividad sugiere una baja porosidad, lo que se correlaciona con una alta resistencia a la compresión. Este hormigón sería ideal para estructuras que requieren alta durabilidad y resistencia a agentes agresivos.

*Tabla 4: Resultados resistencia a la compresión y resistividad eléctrica.*

Relación (a/c)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistividad eléctrica (KΩ.cm)
0,40	37,88	10,5
0,45	31,15	9,1
0,50	27,77	7,2

En la relación a/c de 0,45 y 0,50 a pesar de cumplir con la resistencia a compresión especificada de 35 y 30 MPa respectivamente, la disminución en la resistividad eléctrica de 9,1 y 7,2 KΩ.cm, sugiere un aumento en la porosidad, lo que puede afectar la durabilidad a largo plazo.

### Conclusiones

De acuerdo con las pautas de la de AASHTO TP95-2011, los resultados resaltan la importancia de la resistividad eléctrica como un indicador de la durabilidad del hormigón. La disminución de la resistividad eléctrica en relaciones a/c más altas sugiere una mayor susceptibilidad a la penetración de agentes agresivos y una reducción en la vida útil del hormigón.

La relación a/c de 0,40 indica una baja porosidad y una excelente durabilidad, obteniendo una mayor resistencia a la compresión (37,88 MPa) y la más alta resistividad eléctrica (10,5 KΩ.cm), demostrando ser la más óptima.

A medida que la relación a/c aumenta a 0,45 y 0,50, hay una disminución notable tanto en la resistencia a la compresión como en la resistividad eléctrica. Esto sugiere un aumento en la porosidad y una potencial reducción en la durabilidad del hormigón, a pesar de cumplir con las especificaciones de resistencia a compresión mínimas.

Una selección adecuada de la relación a/c, más un diseño de hormigón apropiado en función de los requisitos específicos de resistencia y resistividad superficial, es decisivo para lograr índices de durabilidad.

### Referencias

1. AASHTOTP95. (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.

2. Beek van, A.; Stenfert Kroese, W. (2019). 24 Years of Experience with the Electrical Conductivity to Determine Material Properties of Concrete. *HERON* 64, 1/2, Concrete-Influencing Parameters. *Mater*, 3-19.
3. Cosoli, G.; Mobili, A.; Tittarelli, F.; Revel, Chiariotti, P. (2020) Medición de resistividad eléctrica e impedancia eléctrica en elementos de mortero y hormigón: una revisión sistemática. *Aplica. Ciencia*. 10, 9152. <https://doi.org/10.3390/app10249152>
4. 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>
5. Guerra-Mera, J. C.-M.-V.-C. (2023). Estado del arte sobre durabilidad de estructuras de hormigón armado en perfiles costeros. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación.*, 6(11), 2-20. <https://doi.org/10.46296/ig.v6i11.0080>.
6. Juera, D., Bermeo, J., & Álvarez, D. (2020). Resistencia a la compresión y resistividad eléctrica de hormigones elaborados con materiales cementicios suplementarios y agregados reciclados. *Revista Ingeniería De Obras Civiles*, 10(1), 32–44. Obtenido de <https://revistas.ufro.cl/ojs/index.php/rioc/article/view/2129>
7. Martínez, J. R., Díaz, N. E., & Castillo, A. (2018). La resistividad eléctrica como herramienta para el control de la calidad del hormigón. *Revista Arquitectura e Ingeniería*, 12(3). Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6759922>
8. Pablo-Calderón, M.A., Cano-Barrita, P.F., & León-Martínez, F.M. (2023). Exploring the Detection of Cl<sup>-</sup> Penetration in Portland Cement Mortars via Surface Electrical Resistivity. *Materials*, 16. 7123. <https://doi.org/10.3390/ma16227123>
9. 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.v5i10edesep.0070>
10. Solórzano Pinargote, A., Zambrano Gutiérrez, A., & Guerra Mera, J. (2024). Características de dos agregados finos que influyen en la resistividad del hormigón. *Polo del Conocimiento*, 9(1), 1813-1829 doi: <http://dx.doi.org/10.23857/pc.v9i1.6466>



11. Tibbetts, C.M., Paris, J.M., Ferraro, C.C., Riding, K.A., & Townsend, T.G. (2020). Relating water permeability to electrical resistivity and chloride penetrability of concrete containing different supplementary cementitious materials. *Cement & Concrete Composites*, 107, 103491. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103491>
12. Villagrán-Zaccardi, Y., Pico-Cortés, C. M., & Zeg, C. J. (2019). Incidencia del árido reciclado sobre la durabilidad del hormigón armado frente a la corrosión. [Conferencia magistral] XV Congreso Latinoamericano de Patología de Construcción y XVII Congreso de Control de Calidad en la Construcción, 1. La Plata, Argentina. Obtenido de <https://doi.org/10.21041/CONPAT2019/V3REC385CMP>

© 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/>).