

Artículo de investigación

Estudio experimental de las propiedades de hormigones elaborados con agua y arena de mar

Experimental study of the properties of concrete made with water and sea sand



David León González¹
René Antonio Puig Martínez¹
Isel Díaz Pérez¹
Hugo Wainshtok Rivas¹

✉ <https://orcid.org/0009-0003-0326-7210>
✉ <https://orcid.org/0000-0001-9025-4423>
✉ <https://orcid.org/0000-0001-9615-6197>
✉ <https://orcid.org/0000-0001-8849-5682>

¹Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" CUJAE | La Habana - Cuba | CP 11500

✉ ddleong79@gmail.com

<http://doi.org/10.26423/rctu.v12i1.864>
Páginas: 1- 9

Resumen

La industria de la construcción emplea volúmenes crecientes de áridos y agua dulce en la producción de hormigón, con las consecuentes afectaciones al medio ambiente. La sustitución total o parcial de estos dos recursos por agua y arena de mar puede constituir una solución factible al problema. La presente investigación estudió la influencia del empleo de agua y arena de mar en las propiedades del hormigón a edades tempranas. Fueron evaluadas densidad del hormigón y consistencia en estado fresco; y densidad, velocidad del pulso ultrasónico y resistencia a compresión en estado endurecido, con sustitución del 50 % y 100 % de arena triturada por arena de mar, empleando siempre agua de mar. Los resultados permitieron concluir, que las propiedades del hormigón con arena de mar no presentan diferencias estadísticamente significativas con las del hormigón de control, destacando los mejores resultados con un 50 % de sustitución.

Palabras clave: Agua de mar, arena de mar, hormigón hidráulico.

Abstract

The construction industry uses increasing volumes of aggregates and fresh water in the production of concrete, with the consequent impacts on the environment. The total or partial replacement of these two resources by water and sea sand can be a feasible solution to the problem. The present research studied the influence of the use of water and sea sand on the properties of concrete at early ages. Concrete density and consistency in the fresh state were evaluated; and density, ultrasonic pulse speed and compressive strength in the hardened state, with 50% and 100% replacement of crushed sand by sea sand, always using sea water. The results allowed to conclude that the properties of concrete with sea sand do not present statistically significant differences with those of the control concrete, highlighting the best results with a 50% replacement.

Keywords: Sea water, sea sand, hydraulic concrete.

Recepción: 08/02/2025 | Aprobación: 09/05/2025 | Publicación: 27/06/2025

1. Introducción

El sector de la construcción es, sin duda alguna, un pilar fundamental para el desarrollo económico y la edificación del futuro, pero a la vez, es uno de los principales contribuyentes a la sobreexplotación de los recursos naturales existentes. En la actualidad esta industria emplea para la elaboración de hormigones, anualmente, más de 2 000 millones de metros cúbicos de agua dulce, recurso que sólo representa el 2,5% del agua disponible en el planeta y del cual se tiene acceso, para el consumo humano y para el empleo en los diferentes sectores, como el agropecuario, el industrial y la construcción, a menos del 1%. De manera similar, en este sector se consumen más de 40 000 millones de toneladas de áridos provenientes de canteras o yacimientos, los cuales son recursos abundantes en nuestro planeta, pero no son inagotables [1].

En Cuba se produce un promedio anual de 2 691 000 toneladas de hormigón, que consumen unas 1 345,5 toneladas de agua dulce y 7 000 de metros cúbicos de áridos, la mayoría producto de la trituración de la roca en canteras. Estas cifras se incrementan cada año debido al fuerte proceso inversionista de obras industriales, turísticas y sociales que requieren del empleo de grandes volúmenes de agua dulce y áridos.

Aunque se tiene referencias del empleo de agua y arena de mar en la construcción desde la década de los 60 [2], los estudios sobre hormigones elaborados con ambas materias primas han tomado auge desde finales del siglo XX e inicios del XXI, con la aparición de las barras de polímeros reforzados con fibras (PRF) en sustitución de la armadura ordinaria como refuerzo del hormigón. Ese tipo de refuerzo, además de su elevada resistencia a tracción y bajo peso, tiene entre sus principales ventajas que no se corroe, lo que elimina una de las principales preocupaciones que existen con el empleo de agua y arena de mar en la elaboración de hormigones.

Las investigaciones realizadas hasta la fecha reflejan que los hormigones elaborados con agua de mar tienen mayores resistencias a la compresión, tracción, flexión y adherencia a edades entre 7 y 14 días, que los hormigones elaborados con agua dulce, debido al efecto acelerador del cloruro presente en el agua de mar, reportándose una disminución de la resistencia con el paso del tiempo. Como resultado de estos estudios se concluye también que el uso de agua de mar en la mezcla aumenta ligeramente la densidad y disminuye la porosidad y capacidad de absorción del hormigón [3, 4].

De manera similar y de forma paralela, se han venido desarrollando investigaciones dirigidas a evaluar la influencia del uso de la arena de mar en la elaboración de hormigones. La mayoría de los autores coinciden en que la resistencia a la compresión del hormigón a edades tempranas con arena de mar, es ligeramente superior a la del hormigón ordinario [5, 6]. También se aprecia que el módulo de elasticidad del hormigón depende del volumen relativo y la rigidez del árido grueso, así como del contenido de conchas marinas presente en la arena de mar [7, 8]. Safi *et al.* [9], al evaluar la evolución de la porosidad y absorción de agua concluyen que cuando se emplean conchas marinas trituradas como árido fino, la porosidad aumenta para las mezclas estudiadas. Por otro lado, algunos estudios refieren que el uso de arena de mar dragada (DMS) en la mezcla de hormigón

en sustitución de arena natural mantiene o reduce los poros accesibles, la absorción y la profundidad de penetración del agua bajo presión, razón que atribuyen a la finura del material DMS con respecto a la arena natural [10, 11]. La revisión bibliográfica refleja que los resultados difieren en función del árido empleado, por lo que se considera que estos no son concluyentes.

Si bien las investigaciones citadas han examinado el efecto del uso de agua y arena de mar de manera independiente en las propiedades mecánicas del hormigón, pocas han estado dirigidas a la evaluación de las mismas cuando se emplean ambas materias primas juntas en el hormigón [12]. En 2014, Cui *et al.* [13] llevaron a cabo un programa experimental donde comparan las propiedades mecánicas del hormigón de arena de mar y agua de mar con las del hormigón ordinario, concluyendo que la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad del hormigón de arena marina y agua de mar curado con agua de mar, disminuyen en comparación con el hormigón ordinario curado con agua dulce. Según los autores estos resultados pueden deberse a la diferencia en diámetro de las partículas de arena marina y la arena de río y al ion cloruro presentes en el agua y arena de mar, que cambian la estructura interna del hormigón en comparación con el hormigón ordinario, y varían aún más las propiedades mecánicas del propio hormigón. Teng *et al.* [14] y Guo *et al.* [15] realizaron estudios similares y concluyen que el uso de agua de mar y arena de mar conduce a una ligera disminución de la laborabilidad, la densidad y el módulo de elasticidad. Igualmente refieren un incremento en la resistencia inicial, la que disminuye ligeramente pasados los 7 días. Sin embargo, coinciden en que estas diferencias no son significativas en comparación con el hormigón convencional. Aunque la incorporación de arena de mar y especialmente de agua de mar, impiden en cierta medida la mejora de la resistencia del hormigón con el envejecimiento, el comportamiento mecánico global de este hormigón sigue siendo comparable al del hormigón ordinario. Con una selección adecuada y ensayos preliminares, la incorporación de arena de mar y/o agua de mar en hormigón simple, así como en hormigón con refuerzo libre de corrosión, es prometedora para la producción de hormigón respetuoso con el medio ambiente [15, 16]. En Cuba se dan los primeros pasos en investigaciones en esta línea lideradas por el Centro de Estudios para la Construcción y Arquitectura Tropical (CECAT). Como estado insular, es un país rodeado de mares y muchas de las obras turísticas, de infraestructura, industriales e incluso viviendas, se construyen en la costa o lugares cercanos a ella, siendo posible acceder al agua y arena de mar para la producción del hormigón, sin entrar en contradicciones con las regulaciones medio ambientales.

Todo lo antes expuesto constituye referencia suficiente para considerar en Cuba el empleo de agua y/o arena de mar en la producción del hormigón armado con barras de polímeros reforzados con fibras u hormigón masivo sin reforzar. De tener resultados satisfactorios, representaría un ahorro considerable del agua dulce, además de ser una alternativa al empleo de arena triturada para la construcción, siendo una opción más económica para el desarrollo de futuras construcciones. Por esta razón, el presente trabajo propone la evaluación de las principales propiedades físico-mecánicas de los hormigones elaborados con agua de mar, y diferentes porcentajes de sustitución de la arena triturada por arena de mar.

2. Materiales y Métodos

Caracterización de los materiales

Para la elaboración de las muestras a ensayar se utilizó cemento portland P-35 proveniente de la fábrica de cemento “Mártires de Artemisa”, ubicado en la provincia de Artemisa, Cuba. El agua de mar fue adquirida en el norte de la provincia de La Habana, en una franja costera de Playas del Este.

Se utilizaron dos tipos de áridos finos, arena de mar y arena triturada. La primera fue extraída del mismo sitio del agua de mar; la segunda, proveniente de la cantera Victoria III, ubicada en el municipio Guanabacoa, provincia de La Habana. Durante el proceso de traslado y almacenamiento se tomaron las medidas necesarias para garantizar que las arenas mantuvieran sus propiedades originales.

El árido grueso provino de la cantera Elpidio Berovides, del municipio San Cristóbal, provincia de Pinar del Río. Al igual que en el caso del árido fino, durante el proceso de traslado y almacenamiento se tomaron las medidas necesarias para garantizar que mantuviera sus propiedades originales hasta el proceso de confección de las probetas de análisis.

A los áridos se realizaron ensayos de granulometría, material más fino que el tamiz 200, peso específico aparente, peso específico corriente, peso específico saturado, peso unitario suelto, peso unitario compactado, porcentaje de huecos y porcentaje de absorción de agua. La caracterización de los mismos se realizó tomando como referencia los requisitos establecidos en la norma cubana NC 251 del año 2018. Los resultados para los dos áridos finos empleados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Caracterización de los áridos finos empleados.

Propiedades	Unidad de medida	Arena Victoria III	Arena de mar
Pasado por tamices	9,52 mm	100,0	100,0
	4,76 mm	86,6	99,8
	2,38 mm	51,0	99,2
	1,18 mm	36,4	96,5
	0,59 mm	24,2	66,1
	0,30 mm	16,2	14,5
	0,15 mm	6,8	1,7
Fondo		0	0
Peso unitario suelto (PUS)	kg/m ³	1426,06	1602,11
Peso unitario compactado (PUC)	kg/m ³	1654,93	1754,69
Peso específico corriente (PEC)	g/cm ³	2,47	2,73
Peso específico saturado (PES)	g/cm ³	2,52	2,76
Peso específico aparente (PEA)	g/cm ³	1,72	2,80
Retenido en tamiz 200	%	3,80	0,21
Huecos	%	33,07	35,69
Absorción de agua	%	1,57	0,98
Módulo de finura	%	3,79	2,22

Los resultados permiten observar que la arena de mar empleada posee una densidad y por ciento de huecos mayor que la arena Victoria III, y a su vez menor por ciento de absorción, módulo de finura y cantidad de material más fino

que el tamiz 200. Asimismo, presenta mayor peso específico.

En la Tabla 2 se muestran las propiedades del árido grueso proveniente de la cantera La Reforma.

Tabla 2: Caracterización de la gravilla de La Reforma.

Propiedades	Unidad de medida	Gravilla La Reforma
Pasado por tamices	37,5 mm	100,0
	25,4 mm	99,0
	19,5 mm	95,0
	12,5 mm	54,0
	9,5 mm	26,0
	6,3 mm	12,0
	Fondo	
Peso unitario suelto (PUS)	kg/m ³	2300
Peso unitario compactado (PUC)	kg/m ³	2490
Peso específico corriente (PEC)	g/cm ³	2,61
Peso específico saturado (PES)	g/cm ³	2,65
Peso específico aparente (PEA)	g/cm ³	2,72
Retenido en tamiz 200	%	0,25
Huecos	%	6,01
Absorción de agua	%	1,57
Tamaño máximo	mm	19,5

Los ensayos realizados demostraron que el árido grueso a emplear cumple con las especificaciones de granulometría, módulo de finura, porcentaje pasado por el tamiz 200 y con el porcentaje de absorción, todo según la NC 251:2018.

reductor de agua de rango medio, alta eficiencia y con permanencia de trabajabilidad, libre de cloruros y con una densidad de 1,12 kg/L. El mismo cumple con la norma ASTM-C-494 como tipo A en función de la dosificación y los materiales utilizados.

Además, se empleó el Aditivo SikaPlast® 9100CU, aditivo

Dosificaciones de hormigón

Se consideró en todas las dosificaciones una relación agua-cemento de 0,45, variándose el porcentaje de aditivo para alcanzar el asentamiento deseado. Se utilizaron tres dosificaciones, una de control con 100 % de arena triturada de

la cantera Victoria III; y otras dos, sustituyendo en cada una 50 % y 100 % de la arena triturada por arena de mar. En las tres dosificaciones se empleó agua de mar. Las dosificaciones de las mezclas de prueba elaboradas para 26 L de hormigón se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3: Dosificación de las muestras de prueba (26 L).

Materiales	Unidad de medida	Proporción de arena de mar, %		
		0	50	100
Cemento P-35	kg	10,98	10,98	10,98
Agua de mar	L	5,60	5,54	5,46
Arena Victoria III	kg	20,58	10,29	-
Arena de mar	kg	-	10,30	20,60
Gravilla	kg	24,98	24,98	24,98
Aditivo	%	2	1,5	1
Relación (a/c)	-	0,45	0,45	0,45

Para la elaboración y curado de las probetas se utilizó la NC-ISO-1920-3:2010. Se empleó una mezcladora, siguiendo el mismo orden de amasado para todas las dosificaciones. Las dimensiones de los cilindros que se utilizan para las pruebas de ensayo fueron 10 cm de diámetro por 20 cm de altura.

Diseño experimental

Para evaluar las mezclas se realizaron ensayos en estado fresco y estado endurecido. Para el estado fresco se evaluaron las propiedades densidad del hormigón y consistencia, esta última se realizó mediante el ensayo del cono de Abrams. Ambas pruebas se realizaron según lo establecido en la norma NC-ISO 1920-2: 2010.

Las propiedades evaluadas en estado endurecido fueron densidad, velocidad del pulso ultrasónico y resistencia a compresión. Para la realización de los ensayos de velocidad del pulso ultrasónico y resistencia a compresión se utilizaron como referencias las normas cubanas NC-231: 2002 y NC-224: 2005 respectivamente.

Se realizó un diseño experimental simple con una variable independiente: porcentaje de sustitución de arena triturada por arena de mar, con tres niveles, 0 %, 50 % y 100 %. Las variables dependientes fueron la densidad y laborabilidad en estado fresco y densidad, velocidad del pulso ultrasónico y resistencia a compresión en estado endurecido.

Se realizaron un total de nueve probetas, un experimento

y dos réplicas para cada dosificación. Todas las muestras fueron ensayadas a los 3, 7 y 28 días después de hormigonado. El análisis de los resultados se realizó mediante un estudio estadístico con el empleo del programa computacional *Statgraphics Centurion*, sobre la base del análisis de varianza (ANOVA) y tuvo como objetivo determinar si el porcentaje de sustitución tenía una influencia significativa en la respuesta de cada variable dependiente estudiada. Para ello se propuso un diseño de experimento bajo las siguientes hipótesis:

Como hipótesis nula (H_0): La variable independiente no influye en el valor de la variable dependiente.

Como hipótesis alternativa (H_1): La variable independiente influye en el valor de la variable dependiente.

Los resultados del análisis dependen de la obtención del p-valor, si este es menor al 5 % sugiere que hay evidencia estadística suficiente para considerar que la hipótesis nula (H_0) puede no ser cierta.

3. Resultados y Discusión

Propiedades del hormigón en estado fresco

La Tabla 4 ilustra los resultados promedios de los ensayos de densidad y asentamiento en estado fresco para cada dosificación, además de la cantidad de aditivo utilizada para lograr el asentamiento deseado.

Tabla 4: Propiedades del hormigón en estado fresco.

Dosificación	Densidad, kg/m ³	Asentamiento, mm	Consistencia	Aditivo, %
Sustitución del 0 %	2400	165	Fluida	2
Sustitución del 50 %	2363	180	Fluida	1,5
Sustitución del 100 %	2399	205	Fluida	1

Para comparar estadísticamente si la diferencia entre los valores medios obtenidos era significativa se realizó la prueba de hipótesis. Las dos hipótesis evaluadas fueron:

Hipótesis nula: $\mu u_1 - \mu u_2 = 0,0$.

Hipótesis alterna: $\mu u_1 - \mu u_2 <>0,0$.

El análisis de los resultados para la densidad arroja un valor P igual 0,98, mayor o igual que 0,05, por lo que se acepta la

hipótesis nula con un 95,0 % de nivel de confianza, aceptando que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores medios de densidad en estado fresco. Los valores obtenidos se encuentran en el rango de 2300 a 2400 kg/m³, como establece la NC 120 del año 2018. Cabe destacar, que el agua de mar puede aumentar ligeramente la densidad producto al proceso acelerado de la hidratación del hormigón provocado por los iones cloruro, lo que densifica

la estructura de poros y reduce el volumen de poros del hormigón [17].

En cuanto al asentamiento, se observa un aumento del mismo a medida que aumenta el porcentaje de sustitución de la arena, siendo el mayor valor obtenido para la muestra con 100 % de sustitución. Se infiere que esto se debe a que la arena de mar mejoró la compactación del esqueleto granular que compone la mezcla, lo que implica mejor laborabilidad, ya que actúa como corrector granulométrico. Según los valores

de asentamiento obtenidos para cada muestra, la consistencia fue fluida para los tres porcentajes de sustitución.

Propiedades del hormigón en estado endurecido

Densidad

En la Figura 1 se muestran los resultados obtenidos en la medición de la densidad en estado endurecido, para las tres edades previstas.

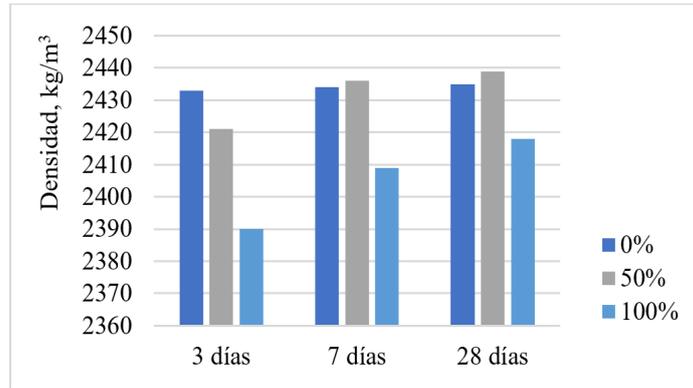


Figura 1. Resultados del ensayo de densidad en estado endurecido.

Los resultados muestran que a los 3 días existe una disminución de la densidad a medida que aumenta la sustitución. De igual forma, se observa en todos los casos un aumento de la densidad con el tiempo, alcanzándose con respecto a la primera edad incrementos de 0,1 %, 0,74 % y 1,2 % en las mezclas con 0 %, 50 % y 100 % de sustitución respectivamente. Los mayores valores de densidad a los 28 días se alcanzan para la dosificación correspondiente al 50 %, esto puede deberse a que la arena de mar actúa como fino mejorando la granulometría, garantizando un mejor empaquetamiento con menos espacios vacíos. Los menores valores corresponden al 100 % de sustitución, es posible

que esto se deba a la forma redondeada y ahuecada de las partículas de arena de mar, lo cual pudiera ser causa de albergar mayor contenido de aire atrapado en la mezcla. Por otro lado, al incrementar el porcentaje de arena de mar aumenta el contenido de carbonato de calcio pudiendo reaccionar este último con los componentes del cemento en el hormigón, generando dióxido de carbono lo que provoca una ligera expansión, y con ello una reducción en la densidad del hormigón. No obstante, todos los valores cumplen con los requerimientos de la NC 120 del año 2018.

Estos resultados son corroborados mediante el análisis estadístico mostrado en la Tabla 5 y Figura 2.

Tabla 5: Resultados del análisis de varianza ANOVA para el ensayo de densidad.

Fuente	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2	750,11	7,54	0,0230
Intra grupos	6	99,44		
Total (Corr.)	8			

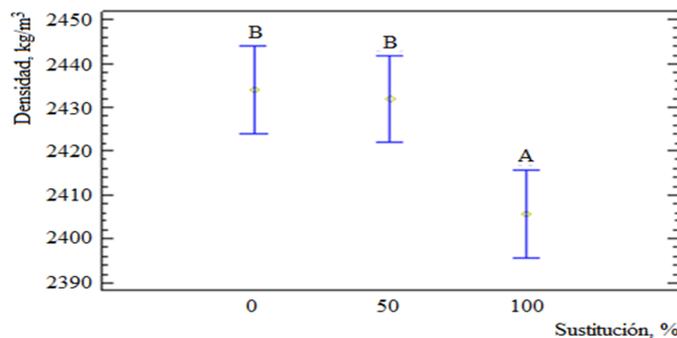


Figura 2. Gráfico de medias para densidad.

Dado que el valor-P de la prueba F es menor que 0,05, se comprueba que existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores medios de densidad, de un nivel de sustitución a otro, con un nivel de confianza del 95,0%. Los resultados de la prueba de rango múltiple

permiten observar dos grupos homogéneos, identificando que para un 100% de sustitución existen diferencias estadísticamente significativas en los resultados obtenidos con respecto a los otros porcentos de sustitución evaluados, lo que se puede apreciar en la Tabla 6.

Tabla 6: Pruebas de rangos múltiple para la densidad.

Porcentaje de sustitución	Casos	Media	Grupos homogéneos	Contraste	
				Diferencia	+/- Límites
100	3	2405,67	A	2,0	19,9234
50	3	2432,0	B	28,3333 (*)	19,9234
0	3	2434,0	B	26,3333 (*)	19,9234

Nota: Indica diferencia estadísticamente significativa

Velocidad de pulso ultrasónico

La velocidad del pulso ultrasónico está relacionada con la densidad y también con la rigidez. Los resultados obtenidos muestran que la mezcla con 100% de sustitución de arena presenta un ligero aumento en la velocidad de pulso ultrasónico a pesar de tener una menor densidad, esto puede deberse a que la misma presenta una estructura más homogénea o menos porosa debido a un mejor

empaquetamiento con menos espacio entre las partículas componentes de la masa, como puede apreciarse en la Figura 3. No obstante, los resultados del análisis estadístico mostrado en la Tabla 7 y Figura 4, arrojan que las diferencias no son estadísticamente significativas para un nivel de confianza del 95,0%, dado que el valor P de la prueba F es mayor o igual a 0,05, encontrándose los valores obtenidos comprendidos en el rango 4707 m/s a 5020 m/s, lo que los califica como hormigones durables según la Red Durar [18].

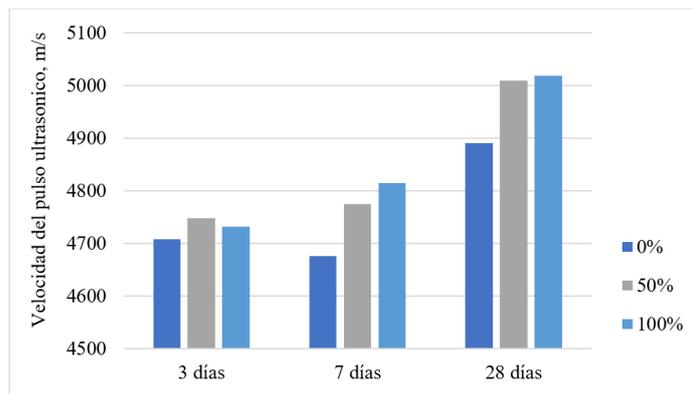


Figura 3. Resultados del ensayo de velocidad del pulso ultrasónico.

Tabla 7: Resultados del análisis de varianza ANOVA para el ensayo de velocidad del pulso ultrasónico.

Fuente	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2	8524,11	0,46	0,6529
Intra grupos	6	18605,3		
Total (Corr.)	8			

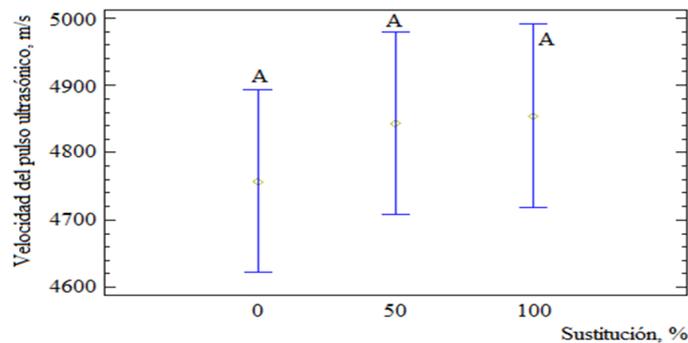


Figura 4. Gráfico de medias para velocidad de pulso ultrasónico.

Resistencia a compresión

De manera general, la resistencia a compresión de los hormigones crece a medida que aumentan las edades de los especímenes. Los hormigones con agua de mar a edades tempranas presentan resistencias superiores a los hormigones convencionales debido al agua marina que acelera el proceso de fraguado [19]. En lo que respecta a las muestras con arena

de mar, mejora también la resistencia, lo cual se atribuye a la distribución granulométrica y a la modificación del esqueleto granular, por la presencia de conchas que absorben el agua libre circundante y como resultado, la relación a/c relativa disminuye. La Figura 5 muestra el comportamiento de la resistencia a compresión a lo largo de las tres edades para todas las dosificaciones estudiadas.

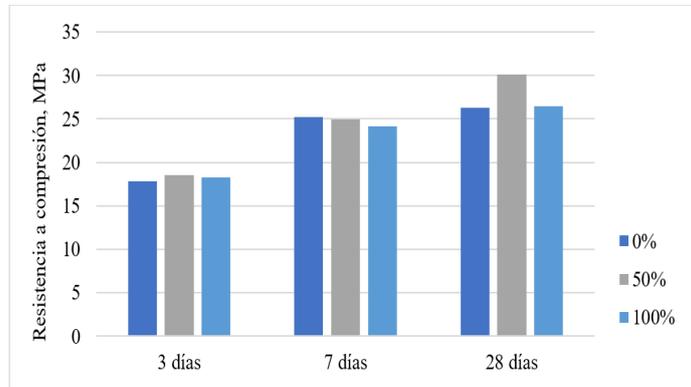


Figura 5. Resultados del ensayo de resistencia a compresión.

Los valores de resistencia obtenidos a los 28 días superan en todos los casos los 25 MPa. La dosificación que mejor comportamiento tuvo fue con 50% de sustitución del árido fino por arena de mar, con la cual se alcanzan 30 MPa, coincidiendo esta dosificación con la que alcanzó los mayores valores de densidad, lo que está en total correspondencia. Pudiera esperarse que el esqueleto granular se viera

favorecido por una mejor distribución granulométrica debido a la presencia de la arena de mar actuando como corrector, mejorando así el empaquetamiento. El análisis estadístico mostrado en la Tabla 8 y Figura 6, demuestra que no existen diferencias estadísticamente significativas entre la resistencia a compresión de un nivel de sustitución a otro, para un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 8: Resultados del análisis de varianza ANOVA para el ensayo de resistencia a compresión.

Fuente	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2	2,198	0,091	0,9143
Intra grupos	6	24,1824		
Total (Corr.)	8			

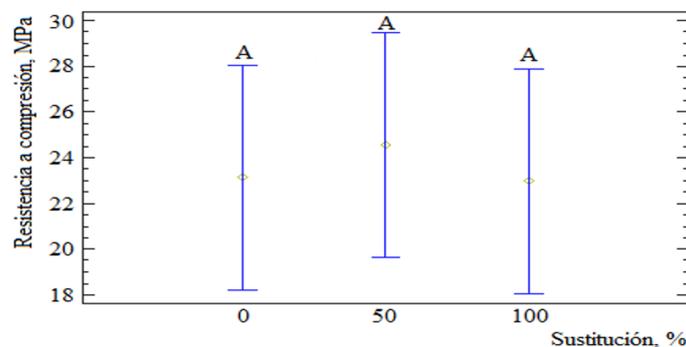


Figura 6. Gráfico de medias para resistencia a compresión.

4. Conclusiones

El empleo de agua y arena de mar en la elaboración de hormigones, no genera variaciones estadísticamente significativas en las propiedades físico mecánicas del hormigón, ya sea en estado fresco como endurecido,

cumpliendo con las especificaciones establecidas en las normas cubanas, por lo que es factible el empleo de ambas materias primas en la elaboración del hormigón, siempre que no sea reforzado con barras de acero. El hormigón elaborado con agua de mar, y con un 50% de sustitución de la arena de

cantera por arena de mar, presenta los mejores resultados en las propiedades medidas: densidad, velocidad de ultrasonido y resistencia a compresión a los 28 días, lo que constituye referencia para futuras investigaciones. Los resultados de este estudio, recomiendan no utilizar sustitución del 100% de arena triturada por arena de mar.

Se recomienda dar continuidad a la investigación, determinando el comportamiento del hormigón a edades tardías.

Financiamiento:

Los autores expresan que no ha sido necesario financiamiento para realizar esta obra de investigación.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de autor/es:

Bajo los lineamientos CRediT (Taxonomía de Roles de Contribuyente), los autores dan fe de las contribuciones realizadas al trabajo de investigación, que se detallan: Autor principal: David León González, Escritura, Gestión; Recursos y Tecnología, Investigación Coautor 1: René Puig Martínez, Escritura, Gestión; Investigación Coautor 2: Isel del Carmen Díaz Pérez, Escritura, Gestión; Investigación Coautor 3: Hugo Wainshtok Rivas, Escritura, Gestión; Investigación

5. Referencias

1. SHEKHAR, S. Y MOHAMMAD, H. B. Seawater concrete: A critical review and future prospects. *Developments in the Built Environment* [online]. 2023, vol. 16, n.º 4–5, pág. 100257. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100257>.
2. LI, Y., LIU, W., MI, T., TANG, L. Y XING, F. Durability study of seawater and sea-sand concrete under the combined effects of carbonation and chloride redistribution. *Journal of Building Engineering* [online]. 2023, vol. 89, pág. 109294. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4370584>.
3. NIU, D., SU, L., LUO, Y., HUANG, D. Y LUO, D. Experimental study on mechanical properties and durability of basalt fiber reinforced coral aggregate concrete. *Construction Building Materials* [online]. 2020, vol. 237, pág. 117628. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117628>.
4. MONTANARI, L., SURANENI, P., TSUI CHANG, M. Y KHATIB, M. Hydration, Pore Solution, and Porosity of Cementitious Pastes Made with Seawater. *Journal of Materials in Civil Engineering* [online]. 2019, vol. 31, pág. 8. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002818](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002818).
5. HUSSEIN, M. H., FARID, A., BASSAM, T., MOHAMMED, S. A. J., ALI, M. Y SALIM, T. Y. Effect of recycled seashells on concrete properties: A comprehensive review of the recent studies. *Construction and Building Materials* [online]. 2023, vol. 376, pág. 131036. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131036>.
6. WU, W., KANG, S., WANG, X. Y LIU, H. Study on carbonation resistance and chloride ion distribution after carbonation of alkali-activated raw sea sand slag mortar. *Case Studies in Construction Materials* [online]. 2023, vol. 19, e02649. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02649>.
7. WANG, F., SUN, Y., XUE, X., WANG, N., ZHOU, J. Y HUA, J. Mechanical properties of modified coral aggregate seawater sea-sand concrete: Experimental study and constitutive model. *Case Studies in Construction Materials* [online]. 2023, vol. 18, e02095. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02095>.
8. VINOTHKUMAR, K. Y VIJAYAKUMAR, G. Study on the physical, mechanical and mineralogical properties of dredged marine sand as a partial replacement for fine aggregate in concrete. *Materials Today: Proceedings* [online]. 2023. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.695>.
9. SANGEETHA, P., SHANMUGAPRIYA, M., SARAVANAN, K. S., PRABHAKARAN, P. Y SHASHANKAR, V. Mechanical properties of concrete with seashell waste as partial replacement of cement and aggregate. *Materials Today: Proceedings* [online]. 2022, vol. 61, págs. 320-326. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.501>.
10. GANESAN, K., KANAGARAJAN, V. Y DOMINIC, J. R. J. Influence of marine sand as fine aggregate on mechanical and durability properties of cement mortar and concrete. *Materials Research Express* [online]. 2022, vol. 9, n.º 3, pág. 035504. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ac5f88>.
11. HE, X., ZHOU, J., WANG, Z. Y ZHANG, L. Study on mechanics and water transport characteristics of sea-sand concrete based on the volume analysis of each solid composition. *Construction and Building Materials* [online]. 2020, vol. 257, n.º 4, pág. 119591. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119591>.
12. AHMED, A., GUO, S., ZHANG, Z., SHI, C. Y ZHU, D. A review on durability of

- fiber reinforced polymer (FRP) bars reinforced seawater sea sand concrete. *Construction and Building Materials* [online]. 2020, vol. 256, pág. 119484. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119484>.
13. CUI, Y., JIANG, J., FU, T. Y LIU, S. Feasibility of using waste brine/seawater and sea sand for the production of concrete: An experimental investigation from mechanical properties and durability perspectives. *Sustainability* [online]. 2022, vol. 14, n.º 20, pág. 13340. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su142013340>.
 14. TENG, J. G., XIANG, Y., YU, T. Y FANG, Z. Development and mechanical behaviour of ultra-high-performance seawater sea-sand concrete. *Advances in Structural Engineering* [online]. 2019, vol. 22, n.º 4, págs. 3100-3120. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/1369433219858291>.
 15. GUO, M., HU, B., XING, F., ZHOU, X., SUN, M. Y SUI, L. Characterization of the mechanical properties of eco-friendly concrete made with untreated sea sand and seawater based on statistical analysis. *Construction and Building Materials* [online]. 2020, vol. 234, pág. 117339. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117339>.
 16. LI, T., LIU, X., ZHANG, Y., YANG, H., ZHI, Z. Y LIU, L. Preparation of sea water sea sand high performance concrete (SHPC) and serving performance study in marine environment. *Construction and Building Materials* [online]. 2020, vol. 254, n.º 3–4, pág. 119114. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119114>.
 17. EBEAD, U., LAU, D., LOLLINI, F., NANNI, A., SURANENI, P. Y YU, T. A review of recent advances in the science and technology of seawater-mixed concrete. *Cement concrete research* [online]. 2022, vol. 152, pág. 106666. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106666>.
 18. CYTED. PROGRAMA IBEROAMERICANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO. Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado. *Red DURAR. Subprograma XV/CYTED Corrosión/Impacto Ambiental sobre Materiales. Río de Janeiro, Brasil* [online]. 1998, pág. 205. ISBN 980-296-541-3. Disponible en: <https://www.phd.eng.br/manual-de-inspeccion-evaluacion-y-diagnostico-de-corrosion-en-estructuras-de-hormigon-armado/>.
 19. LANZA FERNÁNDEZ, V. D., PAZÓ COYOLA, G., ALAEJOS GUTIÉRREZ, M. P. Y LOPE CARVAJAL, A. Influencia del agua de mar en el curado del hormigón. Aplicación al caso de los cajones flotantes. *Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, CEDEX* [online]. 2023, pág. 24. ISBN 978-84-7790-665-0. Disponible en: <https://publicaciones.transportes.gob.es/influencia-del-agua-de-mar-en-el-curado-del-hormig%C3%B3n-aplicaci%C3%B3n-al-caso-de-los-cajones-flotantes>.



Artículo de **libre acceso** bajo los términos de una **Licencia Creative Commons Reconocimiento – NoComercial – CompartirIgual 4.0 Internacional**. Se permite que otros remezcLEN, adapten y construyan a partir de su obra sin fines comerciales, siempre y cuando se otorgue la oportuna autoría y además licencien sus nuevas creaciones bajo los mismos términos.