ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.2241

Durability and mechanical properties of cement partially replaced by seashells

Joseph Melendez[1], Elvis Huamancusi[1], Carlos Eyzaguirre[2]
[1]Ingeniería Civil. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima-Perú. U20181A639@upc.edu.pe, U20201A915@upc.edu.pe
[2]Dirección de Investigación, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima-Perú. pcciceyz@upc.edu.pe

Abstract–Concrete is one of the most widely used materials in the construction industry, playing a crucial role in the development of new infrastructure essential to society. However, its excessive use generates significant amounts of CO_2 worldwide. In this context, new research has emerged proposing a more eco-friendly and sustainable concrete industry. The development of an ecological concrete incorporating recycled seashell powder aims to repurpose organic waste and contribute to environmental conservation. This study investigates the compressive strength development of ecological concrete that includes seashell powder as a partial replacement for cement. The objective is to evaluate the impact of seashell powder on the mechanical performance of concrete, with a particular focus on the compressive strength achieved at 28 days. In this research, cement was replaced with seashell powder at substitution rates of 4%, 8%, and 12%, based on previous findings suggesting potential benefits for strength development. Concrete specimens were prepared and tested at different curing intervals (7, 14, 21, and 28 days) to monitor the evolution of compressive strength over time. The results showed a positive effect on both early-age and final compressive strength, demonstrating the viability of seashell powder as a sustainable alternative material in concrete mixtures. It was confirmed that compressive strength increased when the replacement rate was 4% and 8% at 28 days. However, a 12% replacement resulted in lower compressive strength at 28 days compared to the control mix. In conclusion, this study provides valuable insights into the potential of utilizing waste seashells to reduce cement consumption, contributing to environmental sustainability in the construction industry. Based on the findings, this research recommends replacing cement with seashell powder at an optimal rate of 8% by weight.

Keywords— Concrete, Seashells, Mechanical Properties, Durability, Physical Properties.

.

Durabilidad y propiedades mecánicas del cemento parcialmente reemplazado por conchas marinas

Joseph Melendez[1], Elvis Huamancusi[1], Carlos Eyzaguirre[2]
[1]Ingeniería Civil. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima-Perú. U20181A639@upc.edu.pe, U20201A915@upc.edu.pe
[2]Dirección de Investigación, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima-Perú. pcciceyz@upc.edu.pe

Resumen*— El concreto es uno de los productos más usados en la industria de la construcción, siendo esencial en el desarrollo de nueva infraestructura vital para la sociedad. Sin embargo, su uso excesivo genera grandes cantidades de C02 en el mundo. En ese sentido, han surgido nuevas investigaciones que proponen una industria concretera más ecológica y amigable con el medio ambiente. La creación de un concreto ecológico a base de conchas marinas recicladas tiene por finalidad reutilizar los desechos orgánicos y contribuir a la conservación del medio ambiente. Este estudio investiga el desarrollo de la resistencia a la compresión del hormigón ecológico que incorpora polvo de concha marina como reemplazo parcial del cemento. En esta investigación se sustituyó el cemento por polvo de concha marina a una tasa de reemplazo del 4%,8% y 12%, según hallazgos previos que indicaban posibles beneficios en la resistencia. Se prepararon y probaron muestras de concreto en varios intervalos de curado (7, 14, 21 y 28 días) para monitorear la evolución de la resistencia a lo largo del tiempo. Los resultados mostraron un efecto positivo sobre la resistencia a la compresión temprana y final, lo que demuestra la viabilidad del polvo de concha marina como material alternativo sostenible en mezclas de hormigón. Se comprobó que la resistencia a la compresión se incrementó en 0.33% y 4.82% cuando hubo un reemplazo de 4% y 8% respectivamente a los 28 días con una mezcla patrón de 3.82 Mpa. Por otro lado, también se comprobó que la resistencia a la flexión tuvo un decrecimiento de 5.25%, 3.94% y 3.41% cuando hubo un reemplazo de 4%, 8% y 12% respectivamente a los 28 días. En conclusión, este estudio proporciona información valiosa sobre el potencial de utilizar conchas marinas de desecho para reducir el consumo de cemento, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental en la industria de la construcción. Esta investigación recomienda reemplazar polvo de conchas marinas en la mezcla de concreto de 8% en peso de cemento.

Palabras clave—Concreto, Conchas marinas, Propiedades mecánicas, Durabilidad, Propiedades físicas.

I. INTRODUCCIÓN

El concreto es uno de los materiales de construcción más utilizados a nivel mundial debido a su resistencia, durabilidad y versatilidad. Sin embargo, su producción representa un desafío ambiental considerable, principalmente por el alto consumo de cemento, cuyo proceso de fabricación contribuye significativamente a las emisiones de dióxido de carbono (CO_2). De hecho, en 2022, China generó 2,31 mil millones de toneladas de CO2 por esta industria. Ante la necesidad urgente de reducir el impacto ambiental de la construcción, se han explorado diversas alternativas para sustituir parcialmente el cemento en las mezclas de concreto.

Actualmente se están realizando múltiples investigaciones para encontrar el material reemplazante definitivo del cemento dentro de la mezcla del concreto. Uno de esos materiales son las conchas marinas (Tipo almeja Bivalvo). Sin embargo, existen variedades de conchas marinas. Se investiga la llamada "Glycymeris Nummaria". Un tipo de concha marina de fácil obtención en las costas peruanas. Esta investigación estudia la posibilidad de moler y quemar conchas de almejas bivalvas para producir polvo de ceniza de concha. Si se agregan cantidades superiores podría comprometer sus propiedades mecánicas. También, si se agregan cantidades mínimas, no tendría ningún efecto positivo en la reducción de la contaminación por parte del cemento [1]. Asimismo, existen variedades de conchas marinas para reemplazo parcial en la mezcla de concreto. Las conchas de gran tamaño reducen las resistencias a la flexión y a la tracción del cemento, mientras que las partículas finas aumentan las resistencias a la flexión y a la tracción debido a la buena unión entre los agregados y la matriz aglomerante. Evidencia que hay que tener cuidado al momento de la preparación del material en fases iniciales [2].

Además, los hallazgos en el laboratorio muestran que el porcentaje de polvo de conchas marinas debe ser de entre 5%-10%. Asimismo, se comprobó que para agregar polvo de concha marina a la mezcla de concreto la proporción adecuada fue de 10% para no alterar las propiedades mecánicas [3]. Si el porcentaje es superior a 10% el nuevo concreto disminuye sus propiedades de resistencia. Por otro lado, se evidenció que la adición de polvo de concha puede mejorar ciertas propiedades del mortero, como la resistencia a la compresión y una mejor trabajabilidad. Del 9 al 12% proporcionó un comportamiento mecánico superior en términos de capacidades de resistencia a la compresión y a la

flexión. [4]. Esto comprueba que el uso de esta técnica de adicionar elementos a la mezcla debe manejarse cuidadosamente en porcentajes bajos.

Los porcentajes óptimos de reemplazo varían según el tipo de concha bivalva y podría sufrir variaciones positivas cuando las conchas marinas se hayan calentado a distinta temperatura, abriendo la posibilidad de un porcentaje de reemplazo más alto [5].

En este contexto, los desechos de conchas marinas se presentan como una opción innovadora y sostenible. Las conchas, ricas en carbonato de calcio, poseen propiedades que pueden potencialmente mejorar las características mecánicas del concreto, al tiempo que ofrecen una solución para el reciclaje de residuos marinos. Diversas investigaciones han demostrado que el uso de materiales alternativos en el concreto no solo disminuye la huella de carbono, sino que también contribuye a una economía circular mediante el aprovechamiento de desechos naturales.

El aporte de esta investigación tiene como finalidad estudiar la influencia de las conchas marinas quemadas a 500 ° C para producir polvo fino de este material orgánico que se utilizará para reemplazar parcialmente el cemento en mezclas de hormigón en tres porcentajes (4%, 8% y 12%) para determinar cual tiene mejor comportamiento.

La importancia de esta investigación radica en el uso de "Argopecten Purpuratus", que es una especie de almeja bivalva de agua salada muy común en el mar de la costa de Perú. Además, esta investigación prueba la durabilidad del hormigón a base de conchas marinas tratadas a una cierta temperatura, algo que no se había informado antes en estudios anteriores. Se espera que el resultado de esta investigación proporcione materiales alternativos para la producción de hormigón por un lado y mejore el tratamiento de residuos orgánicos en las playas por el otro.

II. MATERIALES

A. *Cemento*

Para el presente informe se utilizó el cemento puzolánico Portland Tipo I, cumpliendo con las especificaciones de la AASHTO M 85 (Specification for Portland Cement) y NTP 334.009 (Cemento Portland – requisitos) con C3A máximo del 5%.

B. *Agregados*

La calidad de los agregados en la mezcla de concreto es de suma importancia y no se debe tomar a la ligera porque estos componentes representan alrededor del 60% al 75% de la mezcla de concreto. En ese sentido, los agregados para esta investigación se seleccionaron de acuerdo a las especificaciones para garantizar su desempeño en la mezcla de concreto. Para los agregados finos se empleó arena limpia de una cantera local, cumpliendo con las especificaciones de la norma ASTM C33 y NTP 400.037. Para esta investigación se empleó un agregado que pasó por un tamiz número 4 o 4.75mm. Por otro lado, para los agregados gruesos se optó por piedras de 1/2" trituradas de una cantera local para asegurar la estructura interna de la mezcla de concreto, cumpliendo también con las especificaciones de la norma ASTM C33 (AASHTO M6).

C. *Conchas Marinas*

Las conchas de almejas bivalvas se recogieron de las orillas del mar, exactamente del mar de Pisco, Perú. Como se verifica en la figura 1.

Fig.1. Obtención de conchas marinas del puerto de Pisco

Este material, rico en carbonato de calcio, fue llevado calentado, como se muestra en la figura 2, en el horno a altas temperaturas, tamizado y triturado hasta obtener partículas finas que facilitaban su uso como reemplazo parcial del cemento. El polvo de concha marina pasó por el tamiz N°200 o 75µm para que pueda ser reemplazado por el cemento. La composición de dichos desechos orgánicos es de carbono (C), Calcio (Ca) y Oxígeno (O) con un 47.96%, 40.04% y 12% respectivamente.

Fig.2. Proceso de horneado y triturado de las conchas marinas

D. *Agua*

Utilizada para la hidratación de las mezclas de concreto, conforme a las especificaciones de calidad para la elaboración de mezclas ASTM C 94 (AASHTO M 157) y AASHTO T 26, controlando la relación agua-cemento constante en todos los especímenes.

III. HERRAMIENTAS

Para llevar a cabo la investigación, se utilizaron diversos equipos de laboratorio especializados con el fin de asegurar la precisión y confiabilidad en la fabricación y evaluación de las muestras de concreto. A continuación, se detallan los principales instrumentos utilizados:

A. *Moldes para probetas de concreto*

Se utilizaron moldes cúbicos de acero de dimensiones 150 mm x 150 mm x 150 mm para la fabricación de las probetas destinadas a los ensayos de compresión. Además, se emplearon vigas prismáticas de 150 mm x 150 mm x 500 mm para las pruebas de flexión.

B. *Máquina de ensayo de compresión*

Para evaluar la resistencia a compresión de las probetas en distintos períodos de curado, se utilizó una máquina de compresión con capacidad para aplicar cargas controladas de hasta 2000 kN. Este equipo fue esencial para determinar la resistencia de las muestras a los 7, 14, 21 y 28 días de curado.

C. *Máquina de ensayo de flexión*

Este equipo especializado permite aplicar una carga central sobre las probetas, apoyadas en dos puntos. Así, se midió la resistencia a flexión de las muestras prismáticas, lo que permitió evaluar el desempeño del concreto bajo esfuerzos de flexión.

D. *Mezcladora de concreto de laboratorio*

Se utilizó una mezcladora planetaria de 0.05 m^3 de capacidad para garantizar una mezcla homogénea de los materiales. Este equipo fue fundamental para obtener una consistencia controlada en las diversas mezclas de concreto.

E. *Balanza digital de alta precisión*

Con capacidad para medir hasta 20 kg y una precisión de 0.1 g, esta balanza permitió pesar los materiales con exactitud, asegurando el cumplimiento de los porcentajes de reemplazo de cemento y las proporciones de agua en las mezclas.

F. *Tamizadora de laboratorio:*

Se emplearon tamices conforme a la norma ASTM C136 para obtener el tamaño adecuado del polvo de concha y de los agregados, garantizando que la granulometría de los materiales fuera adecuada para el diseño de mezcla y que cumpliera con las especificaciones requeridas.

G. *Cámara de curado controlado:*

Para el curado de las probetas, se utilizó un sistema que mantuvo condiciones constantes de temperatura (23 ± 2 °C) y humedad relativa (95%). Este ambiente controlado aseguró un curado uniforme y adecuado de las muestras, crucial para obtener resultados consistentes en los ensayos.

IV. MÉTODO

La metodología empleada en esta investigación se estructuró en tres etapas fundamentales: el diseño de la mezcla, la preparación de las probetas y la realización de los ensayos de resistencia a compresión y flexión. A continuación, se detallan los procedimientos seguidos en cada una de estas fases:

A. *Diseño de Mezcla*

En este estudio se desarrollaron cuatro diferentes composiciones de concreto, variando los niveles de sustitución parcial del cemento por polvo de conchas marinas recicladas. Los porcentajes de reemplazo fueron: 0% (mezcla de control), 4%, 8% y 12% en relación con el peso del cemento utilizado en cada mezcla. A fin de mantener la consistencia en el proceso de mezcla y obtener resultados comparables, se mantuvo una relación agua-cemento constante de 0.50 en todas las composiciones.

Propósito de la Variabilidad en los Porcentajes de Reemplazo La elección de los niveles de reemplazo (0%, 4%, 8% y 12%) se realizó con base en la evaluación de sus posibles efectos sobre las propiedades mecánicas del concreto, como la resistencia a compresión y flexión. Este enfoque permite observar cómo varía el desempeño del material a medida que se incrementa la proporción de polvo de conchas marinas, lo que puede resultar en una mejora o reducción de las propiedades deseadas, como la resistencia y durabilidad.

- *Relación Agua-Cemento*

Se mantuvo una relación agua-cemento constante de 0.50 en todas las mezclas para evitar que las variaciones en la cantidad de agua alteraran el proceso de hidratación del cemento y, por ende, los resultados experimentales. Esta relación fue elegida para garantizar una trabajabilidad adecuada del concreto y una adecuada hidratación del cemento, incluso cuando se añadió el polvo de conchas marinas.

B. *Tablas de Dosificación*

A continuación, se presenta la dosificación de la mezcla de concreto con diferentes porcentajes de reemplazo de cemento por polvo de conchas marinas. Los porcentajes considerados son 0% (mezcla de control), 4%, 8% y 12%. La tabla 1 muestra la cantidad de cada componente (cemento, polvo de conchas marinas, arena, grava y agua) utilizado para obtener las mezclas de concreto. En esta tabla se consolidan las cuatro dosificaciones, destacando las variaciones únicamente en los porcentajes de cemento reemplazados por polvo de conchas marinas, mientras que los demás componentes permanecen constantes.

Tabla 1

Dosificación de concreto con diferentes porcentajes de polvo de conchas marinas

Componente	0%	4%	8%	12%
Cemento (Kg/m3)	414.85	398.26	318.66	365.07
Agua (Kg/m3)	217.16	217.16	217.16	217.16
Agregado fino (Kg/m3)	1043.15	1043.15	1043.15	1043.15
Agregado grueso (Kg/m3)	683.54	683.54	683.54	683.54
Polvo de concha (Kg/m3)	0	16.59	33.19	49.78

C. *Métodos de Mezcla y Preparación*

El procedimiento estándar para la preparación de las mezclas de concreto se describe en los siguientes pasos:

- *Peso de los materiales*

Todos los materiales (cemento, arena, grava, agua y polvo de conchas marinas) fueron pesados de acuerdo con las dosificaciones especificadas en las tablas anteriores. Se prestó especial atención a la precisión del peso para garantizar la correcta proporción de cada componente en la mezcla.

- *Mezcla de Materiales Secos*

Se inició con la mezcla de los materiales secos, que incluyen el cemento, polvo de conchas marinas, arena y grava. Este paso es fundamental para asegurar una distribución homogénea de todos los componentes secos antes de añadir el agua.

- *Adición de agua*

Se agregó el agua siguiendo una relación agua- cemento de 0.50, ajustando el volumen de agua según la dosificación específica de cada mezcla. Este paso es crucial para mantener la consistencia deseada en todas las mezclas y evitar variaciones en el proceso de hidratación del cemento.

- *Mezclado*

El concreto fue mezclado en una batidora de alta capacidad durante [tiempo especificado] minutos para asegurar una mezcla uniforme. La mezcla continuó hasta lograr una consistencia homogénea en todos los componentes, garantizando que no hubiera segregación ni formación de grumos.

- *Elaboración de Muestras*

Las mezclas de concreto fueron vertidas en moldes para su posterior análisis. Se utilizaron moldes cúbicos de 150 mm para las pruebas de compresión y moldes prismáticos de 150 mm x 150 mm x 500 mm para los ensayos de flexión. Las sondas fueron compactadas cuidadosamente utilizando una varilla de acero para eliminar cualquier vacío o burbuja de aire**. La figura 3** muestra las probetas y vigas que se diseñaron.

Fig.3. Especímenes antes del curado

- *Curado y desmoldeo*

Después de un período de 24 horas, las sondas fueron desmoldadas y colocadas en una cámara de curado controlado. Las muestras permanecieron en esta cámara hasta el día de la prueba, manteniendo una temperatura constante y una humedad relativa adecuada para simular las condiciones

óptimas de curado. Como se muestra en **la figura 4**, se aseguraron las condiciones ambientales necesarias para que el proceso de fuera curado lo más cercano posible a las condiciones ideales, garantizando la precisión y consistencia de los resultados experimentales.

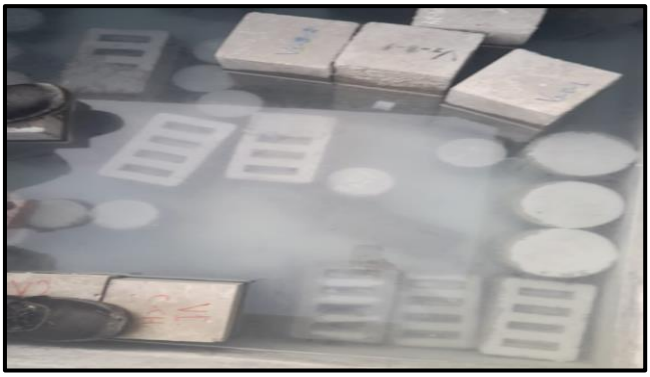

Fig.4. Curado de los especímenes

D. *Ensayo de resistencia a compresión:*

La resistencia a compresión de las mezclas de concreto fue evaluada a los 7, 14, 21 y 28 días de curado, utilizando una máquina de compresión. Durante el ensayo, se aplicó una carga progresiva sobre las sondas hasta su ruptura, registrándose la carga máxima alcanzada en cada caso.

Los resultados obtenidos fueron utilizados para comparar la resistencia a compresión de las mezclas con diferentes niveles de sustitución de cemento por polvo de conchas marinas. Este análisis permitió observar la evolución de la resistencia a compresión a lo largo del tiempo, considerando los porcentajes de reemplazo (0%, 4%, 8% y 12%) y cómo el polvo de conchas marinas influye en el comportamiento del concreto en términos de resistencia. Como se muestra en **la figura 5**, se presenta la comparación visual de los resultados de resistencia a compresión para cada porcentaje de sustitución de cemento, lo que facilita la interpretación y análisis de los datos.

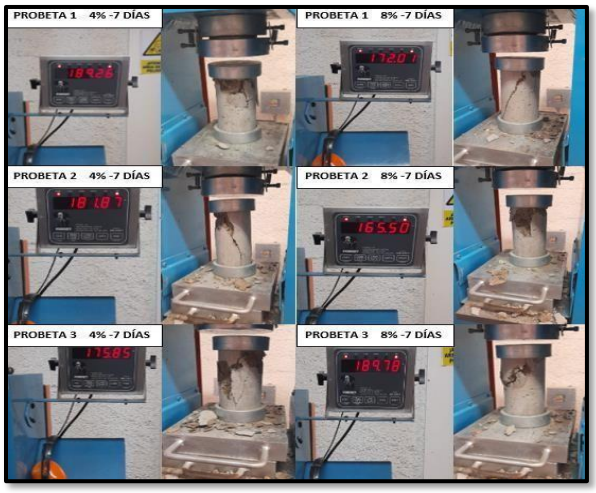

Fig.5. Ensayo de compresión a los 7 días

E. *Ensayo de resistencia a flexión:*

La resistencia a flexión fue evaluada a los 28 días de curado en sondas prismáticas, mediante un ensayo de flexión en tres puntos. Para realizar el ensayo, las sondas fueron colocadas sobre dos apoyos a una distancia de 450 mm entre ellos, y se aplicó una carga central progresiva utilizando una máquina de compresión.

Los resultados obtenidos permitieron analizar el efecto del polvo de conchas marinas como sustituto parcial del cemento sobre la resistencia a flexión del concreto. Además, se comparó el rendimiento de las mezclas con diferentes niveles de reemplazo (0%, 4%, 8% y 12%) con respecto a la mezcla de control (0% de reemplazo), para evaluar cómo el incremento del contenido de conchas marinas influía en la capacidad del concreto para resistir esfuerzos de flexión.

Finalmente, los valores registrados fueron analizados para determinar el porcentaje óptimo de reemplazo de cemento en términos de desempeño mecánico, considerando su impacto en la resistencia a flexión. **La figura 6** muestra el diseño de concreto bajo a la carga de flexión.

Fig.6. Viga de concreto sometida a carga de flexion

V. RESULTADOS

A. *Resistencia a la compresión*

Los resultados obtenidos para las resistencias a compresión de las mezclas con concha marina a diferentes

edades de curado (7, 14, 21 y 28 días) evidencian tanto el impacto positivo de la incorporación de este material como los efectos limitantes al aumentar su porcentaje de sustitución. A continuación, se detallan los resultados observados para cada intervalo de tiempo.

Tabla 2

Resistencia a la compresión del hormigón con diferente contenido de cemento de concha marina (MPa)

Edad de la muestra	Porcentaje de reemplazo de cemento			
	0%	4%	8%	12%
7 días	25.06	22.32	21.06	19.18
14 días	27.88	28.35	28.08	26.40
21 días	29.71	32.64	32.25	27.57
28 días	32.96	33.07	34.55	30.45

A los 7 Días: La resistencia a compresión del concreto convencional (25.06 MPa) supera a todas las mezclas que contienen concha marina. La mezcla con 4% de concha marina (22.32 MPa) exhibe la mejor resistencia dentro de las mezclas modificadas, aunque esta es un 6.2% inferior en comparación con el concreto convencional. Por otro lado, las mezclas con un 8% (21.06 MPa) y 12% (19.18 MPa) muestran una caída significativa en la resistencia, con reducciones de 11.5% y 19.4%, respectivamente.

A los 14 días: Se observa una notable recuperación en las resistencias de las mezclas con concha marina. La mezcla con 4% de concha marina (28.35 MPa) supera al concreto convencional (27.91 MPa), lo que sugiere que una leve sustitución de cemento con concha marina podría mejorar la resistencia del concreto con el tiempo. Las mezclas con 8% (28.08 MPa) y 12% (26.40 MPa) también muestran mejoras, aunque aún se encuentran por debajo de la mezcla con 4%.

A los 21 Días: La tendencia de mejora se mantiene en el tiempo, evidenciándose un incremento significativo en la resistencia. Las mezclas con 4% (32.64 MPa) y 8% (32.25 MPa) superan nuevamente al concreto convencional (29.71 MPa), destacando el potencial de la concha marina para mejorar el rendimiento mecánico del concreto a mediano plazo. Sin embargo, la mezcla con 12% (27.57 MPa) sigue estando por debajo de la resistencia del concreto convencional.

A los 28 Días: Los resultados a los 28 días, como se muestra en la figura 7, refuerzan la tendencia de mejora observada anteriormente. La mezcla con 8% de concha marina (34.55 MPa) supera al concreto convencional (32.96 MPa), mientras que la mezcla con 4% (33.07 MPa) mantiene un rendimiento competitivo. Por su parte, la mezcla con 12% (30.45 MPa), aunque muestra una mejora respecto a los días anteriores, aún se encuentra por debajo de todas las demás mezclas, lo que sugiere que el exceso de sustitución de cemento afecta negativamente el rendimiento a largo plazo.

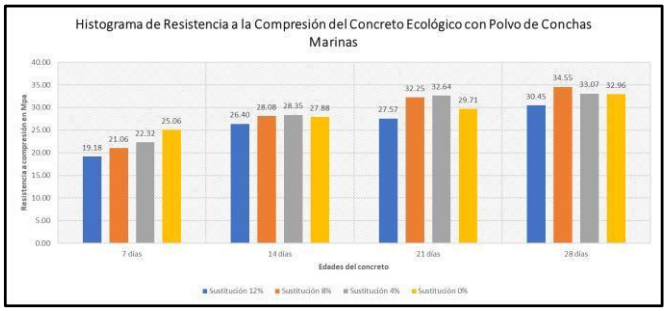

Fig.7. Resultados de ensayos de compresión a los 28 días

B. *Resistencia a la flexión*

Los resultados obtenidos para la resistencia a la flexión a distintas edades de curado (7, 14, 21 y 28 días) muestran una evolución positiva en todas las mezclas con sustitución de cemento por concha marina, aunque en menor medida en comparación con el concreto convencional. (0%). A continuación, se presenta un análisis detallado de la resistencia a la flexión de las distintas mezclas a lo largo del tiempo.

Tabla 3

Resistencia a flexión del hormigón con diferente contenido de cemento de concha marina (MPa)

Edad de la muestra	Porcentaje de reemplazo de cemento			
	0%	4%	8%	12%
7 días	2.59	2.46	2.32	2.06
14 días	3.69	3.13	3.28	3.39
21 días	3.80	3.40	3.46	3.52
28 días	3.81	3.61	3.66	3.68

A los 7 Días: La mezcla sin sustitución (0%) presenta la resistencia más alta a la flexión, alcanzando 2.59 MPa. A partir de este valor de referencia, se observa que la mezcla con 4% de concha marina presenta la segunda mejor resistencia a la flexión con 2.46 MPa. La mezcla con 8% de sustitución muestra un valor de 2.32 MPa, mientras que la mezcla con 12% de sustitución tiene la menor resistencia, con 2.06 MPa. Este patrón inicial sugiere que las mayores proporciones de sustitución afectan negativamente la

resistencia a la flexión en las primeras etapas de curado.

A los 14 Días: La tendencia de crecimiento en la resistencia a la flexión se mantiene en todas las mezclas. La mezcla sin sustitución (0%) sigue siendo la de mayor resistencia, con
3.69 MPa, mientras que la mezcla con 12% de concha marina muestra una resistencia de 3.39 MPa, acercándose progresivamente al concreto convencional. Las mezclas con 8% (3.28 MPa) y 4% (3.13 MPa) también experimentan aumentos, aunque no alcanzan los valores de la mezcla sin sustitución. A pesar de que la mezcla con 12% muestra un crecimiento notable, aún se mantiene por debajo de las demás mezclas.

A los 21 Días: La resistencia continúa aumentando en todas las mezclas. El concreto convencional (0%) alcanza 3.80 MPa, manteniéndose como la mezcla más resistente. Sin embargo, las mezclas con concha marina se acercan más a este valor. La mezcla con 12% de sustitución presenta una resistencia de 3.52 MPa, seguida de cerca por la mezcla con 8% (3.46 MPa) y la mezcla con 4% (3.40 MPa). A pesar de las diferencias, todas las mezclas con concha marina muestran un rendimiento competitivo en comparación con el concreto convencional.

A los 28 Días: El comportamiento observado, como se muestra en la figura 8 a los 28 días, refuerza la tendencia general. La mezcla sin sustitución (0%) continúa siendo la de mayor resistencia con 3.81 MPa, pero las mezclas con concha marina muestran valores cercanos. La mezcla con 12% alcanza 3.68 MPa, la mezcla con 8% llega a 3.66 MPa y la mezcla con 4% presenta 3.61 MPa. Aunque todas las mezclas con concha marina tienen una resistencia inferior al concreto convencional, la diferencia es mínima, sugiriendo que la adición de concha marina mejora la resistencia a la flexión a largo plazo, especialmente a concentraciones más bajas de sustitución.

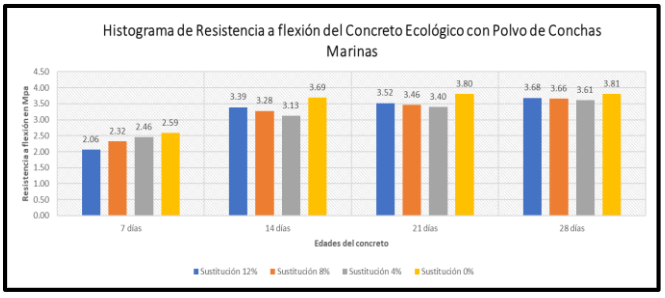

Fig.8. Resultados de ensayos de flexión a los 28 días

VI. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que las mezclas con concha marina tienen un potencial significativo para mejorar la resistencia a compresión del concreto, especialmente cuando la sustitución de cemento es moderada (4% a 8%). A pesar de que el concreto convencional muestra un rendimiento superior en las primeras etapas de curado, las mezclas con 4% y 8% de concha marina superan al concreto convencional a los 14, 21 y 28 días de curado, lo que sugiere que la concha marina puede ser una alternativa viable para mejorar las propiedades mecánicas del concreto a largo plazo. En cambio, el aumento en el porcentaje de sustitución (12%) parece tener un efecto negativo sobre la resistencia, especialmente en los primeros días de curado, lo que indica que el uso excesivo de concha marina puede comprometer el rendimiento del concreto.

Asimismo, los resultados muestran que la resistencia a la flexión de las mezclas con concha marina mejora con el tiempo, especialmente en las mezclas con menores proporciones de sustitución (4% y 8%). La mezcla sin sustitución (0%) siempre presenta la mayor resistencia a lo largo del período de curado, lo que indica que el cemento convencional sigue siendo superior en términos de propiedades mecánicas. Sin embargo, las mezclas con concha marina, especialmente con 4% y 8% de sustitución, ofrecen un rendimiento cercano al concreto convencional, lo que sugiere que una sustitución moderada de cemento por concha marina puede ser una opción viable para mejorar la sostenibilidad del concreto. sin comprometer significativamente sus propiedades mecánicas. La mezcla con 12% de sustitución muestra un rendimiento inferior en las primeras etapas de curado, pero aun así presenta un comportamiento positivo a largo plazo, lo que sugiere que la cantidad de sustitución óptima puede estar entre 4% y 8%.

Al validar los resultados de los ensayos de compresión de la investigación observamos que la resistencia del concreto disminuye a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de cemento con conchas marinas **[6]**. Además, con un 4% de sustitución se alcanzó la resistencia objetivo de 25 MPa, pero al aumentar la sustitución al 8% y 12%, la resistencia bajó a 24.5 MPa y 22 MPa respectivamente. Estos resultados sugieren que el reemplazo óptimo se encuentra entre el 5% y el 10%, ya que, superior a ese porcentaje, la resistencia a la compresión se ve notablemente afectada.

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos agradecer a Ing. Carlos Augusto Eyzaguirre Acosta, no solo por ser paciente con nosotros y darnos parte de su tiempo para ayudarnos en la creación del artículo, sino también por presentarnos el hermoso mundo de la investigación.

También queremos agradecer a la Dirección de Investigación de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas por el apoyo brindado para la realización de este trabajo de investigación a través del incentivo UPC-EXPOST-2025-1.

"Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas / UPC-EXPOST-2025-1"

REFERENCIAS

[1] T. Bassam, H. Mohammed, Z. Abdullah, A. Mohanad, A. Abdulaziz, M. Abdeliazim, and A. Rayed, "Durability and mechanical properties of seashell partially-replaced cement," *Journal of Building Engineering*, vol. 31, Art. no. 101328, 2020.

[2] H. Hussein, A. Farid, T. Bassam, A. Mohammed, M. Ali, and Y. Salim, "Effect of recycled seashell on concrete properties: A comprehensive review of the recent studies," *Construction and Building Materials*, vol. 376, Art. no. 131036, 2023.

[3] P. Sangeetha, V. Annamalai, and P. Kaythry, "Concrete durability studies with partial replacement of cement and coarse aggregate from shell waste," Materials Today: Minutes, vol. 139, pp. 570–576, 2023.

[4] S. M. Ahmed, M. Chávez-Delgado, and S. Avudaiappan, "Experimental investigations on sustainable mortar containing recycled shell powder as partial cement replacement," *Engineering Research Express*, vol. 6, no. 2, p. e025101, 2024.

[5] Y. Wu, J. Lu, Y. Nie, and W. He, "Effect of seashell powder as binder material on the performance and microstructure of low-carbon sustainable alkali-activated concrete," *Journal of Building Engineering*, vol. 90, Art. no. 109442, 2024.

[6] BA Tayeh, MW Hasaniyah, AM Zeyad, MM Awad, A. Alaskar, AM Mohamed y R. Alyousef, "Durabilidad y propiedades mecánicas del cemento parcialmente reemplazado por conchas marinas", *Journal of Building Engineering* , vol. 31, pág. 101328, 2020.

[7] Tayebani, B.; Said, A.; Memari, A. Less Carbon Producing Sustainable Concrete from Environmental and Performance Perspectives: A Review. Constr. Build. Mater. 2023, 404, 133234.

[8] Supriya; Chaudhury, R.; Sharma, U.; Thapliyal, P.C.; Singh, L.P. Low-CO2 Emission Strategies to Achieve Net Zero Target in Cement Sector. J. Clean. Prod. 2023, 417, 137466.

[9] Xuan, M.Y.; Cho, H.K.; Wang, X.Y. Performance Improvement of Waste Oyster-Shell Powder–Cement Binary System via Carbonation Curing. J. Build. Eng. 2023, 70, 106336.

[10] Liu, S.; Zhang, Y.; Liu, B.; Zou, Z.; Liu, Q.; Teng, Y.; Zhang, L.V. Sustainable Use of Waste Oyster Shell Powders in a Ternary Supplementary Cementitious Material System for Green Concrete. Materials 2022, 15, 4886.