

Incorporation of marmolina waste in the compressive strength of structural concrete

Sánchez Terrones Cleber Leodan, student of the 10th cycle Civil Engineering¹, Villanueva Caja José Elías, student of the 10th cycle Civil Engineering², Villanueva Bazan Lilian Rocio, Professor Universidad Privada del Norte³, Victor Raul Sebastian Lucano, Professor Universidad Privada del Norte⁴.

¹Universidad Privada del Norte, Perú, N00276778@upn.pe

²Universidad Privada del Norte, Perú, N00277883@upn.pe

³Universidad Privada del Norte, Perú, Lilian.villanueva@upn.edu.pe

⁴Universidad Privada del Norte, Perú, victor.sebastian@upn.edu.pe

Abstract– The objective of this research is to determine the influence of the incorporation of marmolina waste on the compressive strength of structural concrete. The research is applied, with descriptive level and experimental design. The pertinent tests were carried out in the concrete laboratory, determining that the aggregates used comply with the established standards. Subsequently, the mix design was made for a concrete $f'_c=210$ kg/cm² using the ACI method, adding 5%, 10% and 15% marmolina residues to the mix according to the weight of cement. At 7 days, the average strength of the standard concrete was 165.13 kg/cm², while for the samples with marmolina it was lower, with an average of 158.89 kg/cm² for 5%, 157.95 kg/cm² for 10%, and 154.89 kg/cm² for 15%. Over time, the strengths increased, but still remained below the target. In conclusion, the study reveals that its use may result in a short-term strength reduction. It is suggested that this type of concrete could be considered as a retarding material, which would reach the desired strength after a longer curing period.

Keywords-- Concrete, marble, compressive strength, admixture.

Incorporación de los desechos de marmolina en la resistencia a la compresión del concreto estructural

Sánchez Terrones Cleber Leodan, estudiante del 10° ciclo Ing. Civil¹, Villanueva Caja José Elías, estudiante del 10° ciclo Ing. Civil², Villanueva Bazán Lilian Rocío, Profesor Universidad Privada del Norte³, Víctor Raúl Sebastián Lucano, Profesor Universidad Privada del Norte⁴.

¹Universidad Privada del Norte, Perú, N00276778@upn.pe

²Universidad Privada del Norte, Perú, N00277883@upn.pe

³Universidad Privada del Norte, Perú, Lilian.villanueva@upn.edu.pe

⁴Universidad Privada del Norte, Perú, victor.sebastian@upn.edu.pe

Resumen— La presente investigación tiene como objetivo determinar la influencia de la incorporación de desechos de marmolina en la resistencia a la compresión del concreto estructural. La investigación es de tipo aplicada, con nivel descriptivo y con diseño experimental. Se realizó los ensayos pertinentes en laboratorio de concreto, determinando que los agregados empleados cumplan las normas establecidas. Posteriormente, se realizó el diseño de mezcla para un concreto $f'c=210$ kg/cm² utilizando el método ACI adicionando a la mezcla residuos de marmolina en 5%, 10% y 15% en función al peso de cemento. A los 7 días, la resistencia promedio del concreto patrón fue de 165.13 kg/cm², mientras que para las muestras con marmolina fue inferior, con un promedio de 158.89 kg/cm² para el 5%, 157.95 kg/cm² para el 10%, y 154.89 kg/cm² para el 15%. Con el tiempo, las resistencias aumentaron, pero aun así se mantuvieron por debajo del objetivo. En conclusión, el estudio revela que su uso puede resultar en una reducción de la resistencia a corto plazo. Se sugiere que este tipo de concreto podría ser considerado como un material retardante, que alcanzaría la resistencia deseada tras un periodo de curado más prolongado.

Palabras claves: Concreto, marmolina, resistencia a la compresión, adición

I. INTRODUCCIÓN

La construcción civil está experimentando un rápido crecimiento global, lo que conlleva problemas de contaminación [1], en el país el enfoque de las edificaciones ha evolucionado para no solo transformar, sino también para preservar el contorno ambiental, explorando soluciones como el uso de minerales y materiales reciclados [2], por el cual uno de los materiales más versátiles es el concreto que ha sido la clave de la construcción de las grandes ciudades en el mundo, desde sus inicios de la antigüedad en el Imperio Romano [3].

El concreto se compone de una combinación de agregados, cemento y agua, los cuales al mezclarse crean un componente sólido y resistente, perfecto para la construcción [4]. En el contexto de esta investigación, nos centraremos en el concreto estructural, dado que es muy utilizado en obras civiles. Además, es importante reconocer los problemas que se

dan con mayor frecuencia, uno de ellos es la pérdida de resistencia, es por ello que se busca mejorar las propiedades del concreto adicionando los materiales reciclados.

La marmolina es una roca que se extrae en bloques de grandes dimensiones, en las canteras ubicados en la provincia de San Pablo, desde donde se transportan a sus talleres de los propios artesanos, para ser talladas en obras de distintos tamaños [5]. A raíz de este proceso de tallados se producen partículas muy pequeñas de esta piedra, provocando unos desechos contaminantes en este lugar.

Al incorporar estas partículas de marmolina al concreto estructural, responde al mejoramiento en la resistencia, puesto que este desecho contiene propiedades químicas del cemento, como, sílice (0.40%), Alúmina (0.10%), Fierro (0.12%), Sodio (0.50%), Azufre (0.50%), Magnesio (0.30%), Insolubles de ácido (0.10%), Calcio como carbonato (97.02%) y Calcio total (38.88%) [6].

Luego de haber mencionado los diferentes componentes químicos de la marmolina, planteamos realizar un concreto estructural convencional (Cemento, agregados y agua) con la dosificación según la norma (NTP-334.034) y adicionarle 5, 10 y 15 porciento de polvo de marmolina, para el análisis de la influencia de estas partículas en el concreto mediante el ensayo de resistencia a la compresión.

El planteamiento del problema para la presente investigación, se da a causa de que los residuos de los trabajos que realizan los picapedreros en Huambocancha terminan como desechos contaminantes en el río Mashcon y además porque se busca mejorar las propiedades del concreto, mediante aditivos o sustituyendo por componentes de materiales reciclados, en este caso los residuos de marmolina, planteándonos la siguiente interrogante, ¿Cuál es la influencia de la incorporación de los desechos de marmolina en la resistencia a la compresión del concreto estructural en Cajamarca 2024?

La presente investigación tiene como objetivo principal, determinar la influencia de la incorporación de desechos de marmolina en la resistencia a la compresión del concreto estructural en Cajamarca en el año 2024, a partir del diseño de mezcla ACI 211, realizando un total de 60 probetas.

La pregunta de investigación también llevó a plantearse la siguiente hipótesis: “La incorporación de los desechos de marmolina tiene influencia significativa en la resistencia a la compresión del concreto estructural en Cajamarca 2024”

Esta investigación es fundamental puesto que no solo busca avanzar en la línea de investigación sobre materiales reciclados en el concreto, sino que también pretende ofrecer soluciones prácticas que beneficien a la industria de la construcción, contribuyendo así a un desarrollo más sostenible y responsable.

Para la búsqueda de antecedentes de este presente estudio se realizó la revisión de artículos, tesis y revistas, con la finalidad de ver el comportamiento de los desechos contaminantes en el concreto estructural.

En la investigación realizada en Ecuador en la Universidad Técnica de Manabí [7] se usó la marmolina en la elaboración de hormigón sustituyendo parcialmente al cemento convencional, centrándose en el impacto de la resistencia a la compresión. El estudio siguió un enfoque científico, incluyendo ensayos de laboratorio y diseño de mezcla, para proporcionar datos sobre el comportamiento del 25%, 50% y 75% de sustitución de marmolina por cemento. Resultando la resistencia con el 25% fue mayor, mientras que con el 50% se mantiene dentro de los límites de aceptación, y los testigos con 75% mostraron valores inferiores a 210 kg/cm².

En un estudio realizado por Goicochea (2021), sobre un análisis comparativo entre un concreto estándar y otro que incluía un 10 % de marmolina en lugar de cemento, se siguieron las directrices de diseño de mezcla del ACI 211.1-91 (1997) para preparar las probetas, y fueron evaluadas la resistencia a la compresión en 1, 3, 7 y 28 días de curado. Los resultados se analizaron estadísticamente, concluyendo que la adición de 10 % de marmolina incrementó la resistencia del concreto en aproximadamente un 10%.

Según [8], realizaron una comparación de la resistencia a la compresión del concreto elaborado con residuos de mármol, utilizaron una metodología descriptiva y un diseño experimental prospectivo longitudinal. Su objetivo fue comparar el concreto tradicional con el concreto con desechos de mármol, evaluando sus propiedades en estado fresco y endurecido. Se analizaron las características de los agregados siguiendo normas peruanas e internacionales, y los resultados se mostraron en diferentes esquemas. Las muestras fueron examinadas a los 3, 7, 14 y 28 días. El estudio concluyó que el

concreto con desechos de mármol superó al convencional alcanzando una resistencia de 268.01 kg/cm², mientras que el de mármol llegó a 279.18 kg/cm².

En la tesis realizada por [9], presenta los porcentajes de polvo de mármol y aditivo superplastificante para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de un concreto autocompactante, de los resultados obtenidos de la bibliografía consultada, la capacidad de relleno mejora en 2.9% para las mezclas con 15% de polvo de mármol y 1.6% de aditivo superplastificante. Para adiciones del 20% de polvo de mármol y 1% de aditivo superplastificante, se observó un aumento de 19% en los resultados de resistencia a la compresión para la adición del 10% de polvo de mármol y un aumento del 8% para los resultados de resistencia a la tracción para las mezclas con adición del 10% de polvo de mármol, obteniendo valores máximos de 791 kg/cm² y 70 kg/cm² respectivamente a los 28 días de curado. Finalmente, para esta investigación se concluye que la adición de polvo de mármol y aditivo superplastificante en porcentajes adecuados, mejora las propiedades físicas y mecánicas de un concreto autocompactante.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se caracteriza por un tipo de investigación aplicada, puesto que el proyecto de investigación se enfoca en examinar la inclusión de marmolina en el concreto para lograr una resistencia requerida.

El diseño es de tipo experimental porque los residuos de marmolina, considerados como la variable independiente, se emplearán para evaluar su efecto en el concreto estructural, que se considera la variable dependiente. Este enfoque permitirá obtener datos sobre el comportamiento físico y mecánico del material.

En la presente investigación, la población estuvo conformada por agregados (fino y grueso), cemento, agua y los porcentajes de marmolina, que son 5%, 10% y 15%, que se procede a realizar una mezcla respetando los parámetros del diseño de mezcla (ACI-211), y que están restringidos a una resistencia para un concreto estructural, para tener un poco más claro el concepto de población se refiere a un grupo de elementos o fenómenos que son objeto de estudio, pero cuyo tamaño impide un análisis exhaustivo en su totalidad.

La muestra es una parte de la población que está siendo estudiada y representa la mayor población, la cual se utiliza para obtener conclusiones para esta investigación, el muestreo que se realizó es probabilístico, no estadístico por conveniencia, ya que el tamaño de la muestra es limitado, debido a los factores económicos y de tiempo que conlleva al desarrollo de la investigativo.

TABLA 1
 MATERIALES UTILIZADOS PARA LA ELABORACIÓN DE
 ESPECÍMENES CILINDRICOS DE CONCRETO ESTRUCTURAL

Material	Descripción	Cantidad
Cemento	Cemento portland tipo I	59.85 Kg
Agregado fino	Agregado obtenido de la cantera "Juan sin miedo" Cajamarca	204.29 Kg
Agregado grueso	Agregado obtenido de la cantera "Juan sin miedo" Cajamarca	202.29 kg
Agua	Agua potable	46.88 Lt
Desechos de Marmolina	Polvo de piedra de marmolina, obtenido de los picapedreros de Huambocancha	5%, 10% y 15% del peso del cemento
Moldes cilíndricos	Moldes con dimensiones de 15 cm * 30 cm	36 moldes

TABLA 2
 DISTRIBUCIÓN DE ESPECÍMENES CILINDRICOS SEGÚN
 DOSIFICACIÓN PARA SER SOMETIDOS AL ENSAYO DE
 COMPRESIÓN A LOS 7, 14 Y 28 DÍAS

Descripción de muestra	Resistencia a la compresión		
	7 días	14 días	28 días
Concreto estructural (muestra patrón)	3	3	3
Concreto estructural + 5% Marmolina	3	3	3
Concreto estructural + 10% Marmolina	3	3	3
Concreto estructural + 15% Marmolina	3	3	3
Sub total de muestras	12	12	12
Total de muestras	36		

Para el procesamiento de los datos obtenidos, a continuación, se describen las técnicas e Instrumentos y análisis de datos utilizados:

Las técnicas que se utilizó fueron de observación directa, desde el diseño de mezcla, el análisis de contenido de humedad, granulometría, peso unitario, peso específico, absorción y el ensayo de compresión de los especímenes cilíndricos. Los instrumentos de recolección fueron protocolos establecidos en laboratorio de concreto de la Universidad Privada Del Norte, Cajamarca.

- Protocolo 01: Contenido de Humedad del agregado fino y grueso MTC E. 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127
- Protocolo 02: Análisis Granulométrico de agregados gruesos y finos ASTM C136 / NTP 400.012
- Protocolo 03: Peso específico y absorción de agregados gruesos ASTM C127 / NTP 400.021
- Protocolo 04: Peso unitario de los agregados ASTM C29 / NTP 400.017

- Protocolo 05: Cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 por lavado ASTM C117 / NTP 400.018
- Protocolo 06: Resistencia a la compresión de testigos cilíndricos ASTM C39 / NTP 339.034
- Hoja de cálculo prediseñada para elaborar el diseño de mezcla y obtener las proporciones para fabricar los especímenes de concreto estructural patrón y concreto con incorporación de desechos de marmolina.

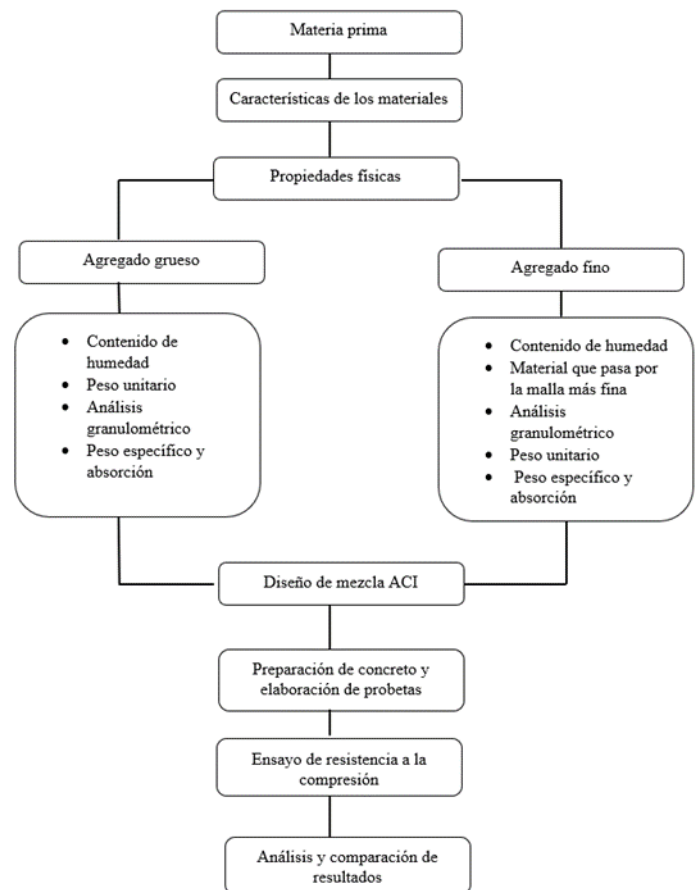


Fig. 1 Esquema de los pasos realizados para la fabricación de testigos cilíndricos

Luego de la recolección de datos, se realizó un análisis estadístico descriptivo básico para obtener el promedio de la resistencia a compresión, además el uso de la desviación estándar y la resistencia requerida para brindar confiabilidad en los datos y someterlos a un análisis que permita establecer comparaciones entre las variables de estudio, de esta forma responder a la interrogante de investigación.

Para el análisis de datos se tuvo con herramienta al software Microsoft Excel, para procesar los datos obtenidos y posteriormente dar respuesta a la hipótesis.

Se utilizó desechos de marmolina porque está provocando contaminación a los ríos en Cajamarca, es por ello, tomamos estos residuos para evaluar en el concreto estructural y así ayudar a disminuir la contaminación al medio ambiente. Sí mismo, respetamos los aspectos éticos que están alineados con los principios de la Universidad Privada del Norte, que abarcan el respeto, la responsabilidad, la honestidad y la integridad. Estos principios garantizan que la información presentada sea veraz. Además, conforme a las normas de la séptima edición de APA, la autenticidad de la información se puede verificar mediante el informe de similitud generado por el programa turnitin.

A. Obtención de agregados fino y grueso

Los agregados se obtuvieron de la cantera “Juan sin miedo” proveniente del río chonta – Baños del Inca.

B. Adquisición del desecho de marmolina

Se obtiene de los picapedreros de huambocancha al realizar sus esculturas.

C. Obtención y elección del cemento

Se usó Cemento Portland Tipo I porque es un cemento de uso general, este material se obtuvo de la ferretería “Juan sin miedo”

D. Elaboración de diseño de mezcla

Luego de realizar los ensayos de los agregados se procedió a realizar el diseño de mezcla mediante el método ACI, prosiguiendo la adición de porcentajes de marmolina respecto al cemento.

E. Elaboración de testigos cilíndricos

Se realizó 36 probetas de concreto estructural, de los cuales 9 fueron patrón, 9 con 5%, 9 con 10% y 9 probetas con 15%

F. Ensayos de la resistencia a la compresión de probetas de concreto a los 7, 14 y 28 días

Luego de haber desencofrado y curado las probetas se procedió a realizar las roturas en 3 grupos.

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Este capítulo muestra los resultados de los ensayos, incluyendo las características físicas y mecánicas del concreto, el diseño de mezcla, así como gráficos y cuadros con las resistencias de las probetas convencionales y las con adición de desechos de marmolina a los 7, 14 y 28 días.

TABLA 3
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Ensayo	Agregado fino	Agregado grueso
Peso específico	2.48 g/cm ³	3.59 g/cm ³
Absorción	3.09 %	4.00%
Contenido de humedad	4.00%	0.20 %
Módulo de finura	2.81	-
Tamaño máximo nominal		¾”
Peso seco compactado		1635.17 kg/m ³

TABLA 4
RESISTENCIA PROMEDIO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL, PATRÓN Y CON LA INCORPORACIÓN DE DESECHOS DE MARMOLINA

Descripción	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)		
	Edades		
	7 días	14 días	28 días
Probetas patrón	165.13	198.41	216.25
Probetas con 5 %	158.89	186.80	202.46
Probetas con 10%	157.95	182.06	189.68
Probetas con 15%	154.89	177.29	184.45

Los valores promedio de resistencia a la compresión a los 7 días de curado muestran que la muestra patrón alcanzó 165.13 kg/cm², mientras que las muestras con adición de marmolina presentaron los siguientes resultados: 158.89 kg/cm² para un 5% de marmolina, 157.95 kg/cm² para un 10%, y 154.89 kg/cm² para un 15%. Los resultados muestran una disminución progresiva en la resistencia del concreto a medida que se incrementa el porcentaje de marmolina en la mezcla, evidenciando una reducción notable en la resistencia tras 7 días de curado.

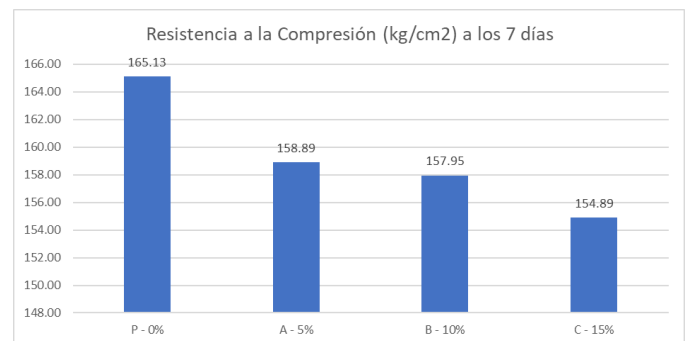


Fig. 2 Resistencia promedio del concreto estructural, patrón y con adición de marmolina a los 7 días

Las resistencias promedio de las muestras con 14 días de curado indica que en la muestra patrón se obtuvo una resistencia a la compresión de 198.41 kg/cm², para la muestra de marmolina (5%) se tiene una resistencia a la compresión de 186.80 kg/cm², para la muestra de marmolina (10%) se tiene una resistencia a la compresión de 182.06 kg/cm² y para la muestra de marmolina (15%) se tiene una resistencia a la compresión de 177.29 kg/cm². Esto indica una tendencia negativa al adicionar marmolina dentro de la mezcla de concreto, dando como resultado una disminución de resistencia a los 14 días de curado.

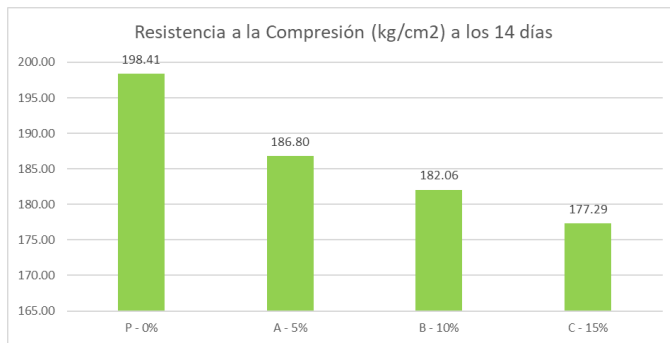


Fig. 3 Resistencia promedio del concreto estructural, patrón y con adición de marmolina a los 14 días

Las resistencias promedio de las muestras con 28 días de curado indica que en la muestra patrón se obtuvo una resistencia a la compresión de 216.25 kg/cm², para la muestra de marmolina (5%) se tiene una resistencia a la compresión de 202.46 kg/cm², para la muestra de marmolina (10%) se tiene una resistencia a la compresión de 189.68 kg/cm² y para la muestra de marmolina (15%) se tiene una resistencia a la compresión de 184.45 kg/cm². Esto indica una tendencia negativa al adicionar marmolina dentro de la mezcla de concreto, dando como resultado una disminución de resistencia a los 14 días de curado.

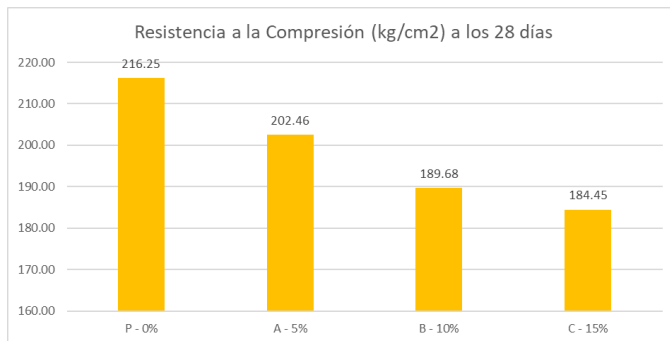


Fig. 4 Resistencia promedio del concreto estructural, patrón y con adición de marmolina a los 28 días

III. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Después de analizar los resultados obtenidos, se rechaza la hipótesis “La incorporación de los desechos de marmolina tiene influencia significativa en la resistencia a la compresión del concreto estructural”.

Las pruebas de compresión realizadas en muestras de concreto con adiciones de marmolina en proporciones del 5%, 10% y 15%, evaluadas a los 7, 14 y 28 días de curado, muestran un comportamiento que requiere un análisis minucioso. A los 7 días, la muestra de referencia alcanzó una resistencia a la compresión promedio de 165.13 kg/cm². En comparación, la muestra con 5% de marmolina muestra una resistencia de 158.89 kg/cm², la muestra con 10% presenta 157.95 kg/cm² y la muestra con 15% alcanza solo 154.89 kg/cm². Los resultados evidencian una marcada tendencia a la

reducción de la resistencia conforme se incrementa el porcentaje de marmolina en la mezcla. Esta tendencia negativa sugiere que la adición de marmolina puede estar afectando negativamente el desarrollo inicial de la resistencia en las primeras etapas de curado. A los 14 días, la resistencia promedio de la muestra patrón sube a 198.41 kg/cm². Las muestras con marmolina presentan resistencias de 186.80 kg/cm² (5%), 182.06 kg/cm² (10%) y 177.29 kg/cm² (15%). Aunque las resistencias han aumentado en todas las muestras, la tendencia negativa persiste, ya que las adiciones de marmolina siguen resultando en valores inferiores a la muestra patrón. Esto sugiere que, a pesar de que la resistencia global del concreto mejora con el tiempo, el efecto de la marmolina en las etapas intermedias sigue siendo desfavorable, indicando que su incorporación no es óptima en las proporciones evaluadas. A los 28 días, la resistencia promedio de la muestra patrón alcanza 216.25 kg/cm². Las muestras con marmolina presentan resistencias de 202.46 kg/cm² (5%), 189.68 kg/cm² (10%) y 184.45 kg/cm² (15%). Aunque se observa un incremento en la resistencia a medida que avanza el tiempo de curado, la tendencia negativa continúa, con las muestras de marmolina aún por debajo de la muestra patrón. Este comportamiento puede indicar que, a pesar de que el concreto sigue ganando resistencia con el tiempo, la adición de marmolina no está contribuyendo de manera efectiva a alcanzar los niveles deseados. Los resultados sugieren que la inclusión de marmolina, especialmente en porcentajes más altos, puede comprometer el desarrollo inicial de la resistencia a la compresión del concreto. A pesar de que las resistencias aumentan con el tiempo, no logran alcanzar los valores esperados en comparación con la muestra patrón. Esto destaca la importancia de realizar un ajuste en las proporciones de aditivos para optimizar el rendimiento del concreto. En general, se recomienda investigar más a fondo las interacciones entre la marmolina y otros componentes de la mezcla para encontrar un equilibrio que maximice la resistencia y la durabilidad del concreto.

Esta investigación se llevó a cabo con algunas limitaciones, como el transporte de los materiales como en el caso de la marmolina que primero se debe recolectar minuciosamente separando de otros materiales desechados. Otra de las limitaciones ha sido la presencia de lluvia justo en los días programados de traslado de los agregados (fino y grueso), considerando estos cambios se procedió a realizar un reajuste en las propiedades de los agregados. Finalmente, el problema presentado fue el espacio reducido del laboratorio para el curado de las probetas.

El análisis de las resistencias a la compresión de las muestras con adición de marmolina en este estudio muestra resultados que contrastan con los hallazgos de otros estudios en el ámbito de los materiales de construcción. A continuación, se presenta una comparación con investigaciones relevantes.

Según la investigación de Goicochea (2021), reportó que la adición de un 10% de marmolina incrementó la resistencia del concreto en aproximadamente un 10%. En contraste, en nuestra investigación, el concreto con 10% de marmolina mostró una disminución de la resistencia en comparación con el patrón, evidenciando una tendencia negativa. Este contraste sugiere que la formulación de los materiales, la calidad del cemento utilizado y las condiciones de curado pueden influir significativamente en los resultados. La diferencia podría deberse a variaciones en la calidad de la marmolina o en el método de preparación.

En el estudio de [10], determinaron que un 3% de cerámica reciclada es el porcentaje óptimo para mejorar la resistencia a la compresión del concreto con f'_c de 210 kg/cm². Si bien su aplicación no tiene un efecto considerable en las propiedades mecánicas, influye en aspectos físicos como el asentamiento y el peso unitario. Esto sugiere que la cerámica reciclada podría ser una alternativa sostenible para sustituir parcialmente el cemento en la fabricación de concreto.

En la investigación de [11], evidencia que al añadir ceniza de cascara de café y fibra de bagazo de caña de azúcar los ensayos de resistencia a compresión realizadas a los 28 días de curado fueron; el concreto patrón mostró un resultado de 417.10 Kg/cm², el experimental 01 de 436.97 Kg/cm², el experimental 02 de 312.47 Kg/cm², el experimental 03 de 258.67 Kg/cm², y el experimental 04 de 252.43 Kg/cm². Por otro lado, respecto a la resistencia a tracción el concreto patrón mostró un resultado de 38.42 Kg/cm², el experimental 01 de 41.63 Kg/cm², el experimental 02 de 27.40 Kg/cm², el experimental 03 de 29.87 kg/cm² y el experimental 04 de 26.80 kg/cm². Concluyendo que al añadir un porcentaje de 2% de ceniza de cascara de café y 0.25% de fibra de bagazo de caña de azúcar la resistencia del concreto a tracción y compresión tiene un incremento significativo en comparación con el concreto patrón y experimental 02, 03 y 04.

En el artículo de Mendoza concluyeron que al sustituir parcialmente el cemento con marmolina en proporciones del 25%, 50% y 75% mostró resultados divergentes en la resistencia a la compresión. Mientras que las sustituciones del 25 y 50% presentaron un incremento gradual en la resistencia, la sustitución 75% mostró una disminución, indicando la necesidad de considerar cuidadosamente los porcentajes de sustitución.

En conclusión, se analizaron las propiedades físicas de los agregados grueso y fino, determinándose que la incorporación de marmolina altera algunas características del concreto, como la trabajabilidad y la cohesión de la mezcla. No obstante, también se observaron factores que podrían influir de manera negativa en la resistencia a la compresión, particularmente en las muestras con mayores proporciones de marmolina.

Se definió la proporción de materiales para una mezcla de concreto diseñada para alcanzar una resistencia de 210 kg/cm², asegurando que la dosificación permita lograr dicho nivel de resistencia mostrando que la combinación de cemento, agua, agregados y marmolina debe ser cuidadosamente calibrada. A pesar de que se lograron resistencias significativas en algunas muestras, las adiciones de marmolina en porcentajes del 5%, 10% y 15% resultaron en un comportamiento retardante, indicando que el tiempo de curado requerido para alcanzar la resistencia deseada es mayor al inicialmente esperado.

En conclusión, aunque las adiciones de marmolina en el concreto pueden ofrecer beneficios en ciertos contextos, este estudio sugiere que su efecto puede ser negativo a corto plazo. Reconocer el comportamiento retardante de este concreto es crucial para su aplicación en proyectos donde el tiempo de curado es un factor crítico. Además, se debe prestar atención a la composición química de los materiales y a las condiciones de curado para optimizar el rendimiento del concreto y asegurar que se alcancen las resistencias deseadas en el tiempo adecuado.

Los resultados del uso de marmolina y otros materiales reciclados presenta un potencial interesante para la sostenibilidad en la construcción, los resultados de este estudio indican que la adición de marmolina, especialmente en las proporciones evaluadas, no siempre resulta en mejoras en la resistencia a la compresión del concreto. Los hallazgos resaltan la importancia de continuar investigando diferentes proporciones y condiciones de mezcla, así como el uso de otros materiales reciclados, para optimizar el rendimiento del concreto y lograr un equilibrio entre sostenibilidad y propiedades mecánicas. Los resultados obtenidos en este estudio indican que las muestras con adición de marmolina no alcanzaron la resistencia a la compresión esperada en los tiempos de curado establecidos. Esto sugiere que el concreto elaborado con marmolina puede comportarse como un concreto retardante, lo que implica que podría requerir un período de curado más prolongado para alcanzar las resistencias deseadas. Esta característica es relevante, ya que, en aplicaciones prácticas, el tiempo de curado puede afectar la planificación y ejecución de proyectos de construcción.

REFERENCIAS

- [1] Adnan, E., Bernd, K., & Edson, R. (2014). Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción. SciELO, 1.
- [2] ANA. (2008). Escenarios y estrategias para el manejo sostenible de los recursos naturales del Perú al 2030. *INRENA*, 291.
- [3] Jaimes Estupiñán, D. F., & García Caballero, J. J. (2020). Importancia del concreto en el campo de la construcción. *Formación Estratégica*.
- [4] Burga, P. (2021). "Determinación de la Pérdida de Trabajabilidad, Resistencia a la Compresión y Flexión de Concretos Elaborados con Sikacem. Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- [5] Olivas Weston, M. (2001). La talla en piedra en Cajamarca, Perú. SciELO.
- [6] Goicochea Trujillo, K. B., & Inga Cruz, N. J. (2021). La marmolina y su influencia en las propiedades de concretos de alta resistencia $f'c = 350$ kg/cm² y $f'c = 400$ kg/cm² para la ciudad de Trujillo. Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego.
- [7] Mendoza Parra, J. A., Vega Velásquez, E. L., & Ruiz Párraga, W. E. (2024). Uso de marmolina en la elaboración de hormigón. *Ingeniería de construcción*, 16.
- [8] Arimana Huamani, I. A., & Taquiri Pillaca, L. A. (2020). Evaluación de la resistencia a la compresión y flexión del concreto $f'c$: 210 kg/cm², mediante la adición de residuos de mármol, Lima 2020. SciELO.
- [9] Huamán Vara, D. O., & Maza Suarez, S. J. (2021). Polvo de mármol y aditivo superplastificante para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de un concreto autocompactante. URP.
- [10] Bayona Panta, I., & Berrospi Mori, C. A. (2021). Incorporación de cerámica reciclada para analizar la resistencia a la compresión del concreto $f'c$ 210 kg/cm², Lima 2021. Scielo.
- [11] Castro Mendoza, A. I., & Pérez Pereda, F. Y. (2022). Adición de residuos de café y caña de azúcar en la resistencia a compresión y tracción del concreto estructural. Scopus.