

Evaluación experimental de la resistencia a compresión en cilindros de hormigón con sustitución parcial de agregado fino por piedra triturada

Experimental Evaluation of the Compressive Strength in Concrete Cylinders with Partial Replacement of Fine Aggregate by Crushed Stone

RESUMEN

Este estudio presenta una investigación experimental sobre la resistencia a la compresión de cilindros de hormigón, destacando la relevancia de este material en la construcción debido a su alta resistencia a compresión y baja resistencia a tracción, razón por la cual suele combinarse con acero para formar hormigón armado. Dada la creciente escasez de arena natural y el impacto ambiental de su extracción, se evaluó el efecto de reemplazar parcialmente el agregado fino por piedra triturada. El objetivo principal fue comparar la resistencia a la compresión entre mezclas tradicionales de hormigón y aquellas con un 40% de sustitución de arena por piedra triturada. Para ello, se elaboraron probetas cilíndricas de 30 cm de altura y 15 cm de diámetro, siguiendo una dosificación H25 (25 MPa). El proceso incluyó mezclado, vibrado, fraguado (tres días) y curado (cinco días). Las pruebas de compresión se realizaron en las instalaciones de la Universidad Técnica de Ambato. Los resultados indicaron que el hormigón tradicional alcanzó una resistencia promedio de 22.07 MPa, mientras que la mezcla con piedra triturada obtuvo 11.45 MPa. Esta disminución podría atribuirse a la mayor angularidad de la piedra triturada, lo que incrementa la demanda de agua y los vacíos en la mezcla. A pesar de la reducción observada en la resistencia, se sugiere que, con ajustes en la relación agua-cemento y tiempos de curado, la piedra triturada podría considerarse una alternativa viable para la sustitución parcial de arena.

PALABRAS CLAVE: Agregado fino, Dosificación, Ensayo, Hormigón, Materiales de construcción, Resistencia a compresión

ABSTRACT

This study presents an experimental investigation on the compressive strength of concrete cylinders, highlighting the relevance of this material in construction due to its high compressive strength and low tensile strength, which is why it is commonly combined with steel to form reinforced concrete. Given the growing scarcity of natural sand and the environmental impact of its extraction, this research evaluated the effect of partially replacing fine aggregate with crushed stone. The main objective was to compare the compressive strength between traditional concrete mixtures and those in which 40% of the sand was replaced with crushed stone. To achieve this, cylindrical specimens measuring 30 cm in height and 15 cm in diameter were prepared, following an H25 mix design (25 MPa). The process included mixing, vibrating, initial setting (three days), and curing (five days). The compression tests were conducted at the Technical University of Ambato. The results showed that traditional concrete reached an average strength of 22.07 MPa, while the mixture with crushed stone reached 11.45 MPa. This reduction may be attributed to the greater angularity of crushed stone, which increases both water demand and the void content in the mix. Despite the observed decrease in strength, it is suggested that, with adjustments to the water-cement ratio and curing time, crushed stone could be considered a viable alternative for the partial replacement of sand.

KEYWORDS: Fine aggregate, Mix design, Compression test, Concrete, Construction materials, Compressive strength

TECNOCENCIA ACTUAL

Recepción: 26/07/2025

Aceptación: 06/08/2025

Publicación: 31/12/2025

AUTOR/ES

 **Carlos Damian Pinto Almeida**

 **Marco Padilla**

 **Nicole Sánchez**

 **Erick Amaguaña**

 cpinto4@indoamerica.edu.ec

 mpadilla14@indoamerica.edu.ec

 nsanchez18@indoamerica.edu.ec

 eamaguana6@indoamerica.edu.ec

 Universidad Tecnológica Indoamérica

 Universidad Tecnológica Indoamerica

 Universidad Tecnológica Indoamerica

 Universidad Tecnológica Indoamerica

 Ecuador

 Ecuador

 Ecuador

 Ecuador

CITACIÓN:

Pinto, C., Padilla, M., Sánchez, N., Amaguaña, E. (2025). Evaluación experimental de la resistencia a compresión en cilindros de hormigón con sustitución parcial de agregado fino por piedra triturada. Revista InnovaSciT. 3 (2.), 131 – 147.

INTRODUCCIÓN

En una primera aproximación conceptual, y tal como lo señala Puertas Maroto (2024), la Real Academia Española (RAE) lo describe como un “material que resulta de la mezcla de agua, arena, grava y cemento o cal, y que, al fraguar, adquiere más resistencia”. No obstante, desde una perspectiva técnica y en línea con la normativa ecuatoriana, la NTE INEN 1762 (2015) ofrece una definición más precisa al establecer que el hormigón es un “material compuesto que consiste esencialmente de un medio aglutinante en el que están embebidos partículas y fragmentos de áridos. En el hormigón de cemento hidráulico, el aglutinante está formado por una mezcla de cemento hidráulico y agua”.

Con base en lo anterior, el hormigón puede definirse como un material pétreo. Este se elabora a partir de una mezcla de cemento hidráulico de cualquier tipo y agua, que forman un aglutinante. A este aglutinante se le incorporan agregados, tanto finos (como la arena) como gruesos (como el ripio y/o la grava), con la posible adición de otros componentes. Es importante que esta combinación se realice mediante un proceso de dosificación y mezclado adecuado, lo cual permite que, al fraguar y endurecer, el hormigón adquiera la resistencia deseada (Recalde & Ruiz, 2020). En términos más sencillos, el hormigón es una mezcla pétreo compuesta por "CARAA": cemento, arena, ripio, agua, y en ocasiones, aditivos.

El hormigón, al igual que las rocas naturales, es un material excepcionalmente fuerte bajo compresión, lo que le permite alcanzar su máxima resistencia en estas condiciones. Sin embargo, es muy vulnerable y frágil cuando se somete a fuerzas de tracción. Para superar esta debilidad y capitalizar sus ventajas, en la construcción se combina el hormigón con varillas de acero, que sí resisten bien la tracción. Esta combinación se denomina Hormigón Armado (Universidad Politécnica de Cartagena, 2007).

En este contexto, se plantea la presente investigación con el siguiente objetivo general: Evaluar experimentalmente la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el agregado fino por piedra triturada. Y para cumplir con objetivos específicos como: Determinar experimentalmente la resistencia a compresión de cilindros de hormigón elaborados con diferentes porcentajes de sustitución parcial de agregado fino natural por piedra triturada. Y Comparar la resistencia a compresión de las mezclas de hormigón con sustitución de agregado fino frente a la de una mezcla de hormigón de referencia (tradicional).

Composición del hormigón:

El hormigón es un material de construcción, definido en la literatura científica como un compuesto formado esencialmente por la mezcla de un aglomerante (generalmente cemento Portland), agregados finos (arena), agregados gruesos (grava o piedra) y agua. Esta combinación, al hidratarse, endurece y adquiere propiedades mecánicas que lo convierten en uno de los materiales más utilizados a nivel mundial en la ingeniería y la arquitectura (Latorre, 2024).

Cemento

El cemento Portland es el aglutinante fundamental del hormigón. Se presenta como un polvo grisáceo muy fino, compuesto principalmente por silicatos de calcio y aluminio. Estos compuestos se obtienen mediante procesos especializados que combinan calizas, arcillas o pizarras, y yeso. Al mezclarse con agua, el cemento desencadena una reacción química conocida como hidratación, que da lugar a una pasta que se endurece progresivamente y adquiere resistencia (Mastropietro, 2019).

Junto al cemento, el agregado fino y grueso cumple un rol esencial en la composición del hormigón. Según Hernández Eddisson (2021), los agregados finos se identifican principalmente como arena, ya sea de origen natural o producida artificialmente. Los agregados gruesos, por su parte, se definen generalmente como grava, también de origen natural o proveniente de piedra triturada.

Lejos de ser simples componentes pasivos, los agregados constituyen entre el 60% y el 75% del volumen total del concreto, formando el esqueleto resistente de la mezcla. La pasta de cemento solo ocupa el volumen restante y actúa como ligante. Por ello, las propiedades del hormigón están fuertemente influenciadas por las características de los agregados: su resistencia, rigidez y comportamiento térmico. Cualquier variación o deficiencia en estos materiales puede afectar significativamente la calidad y durabilidad del hormigón (Hernández, 2021).

En este sentido, la incorporación de piedra triturada como agregado fino puede modificar notablemente la trabajabilidad de la mezcla. Su mayor angularidad y superficie específica, en comparación con las arenas naturales redondeadas, genera más vacíos y fricción interna, lo que eleva la demanda de agua entre un 5% y un 10% (Urban, 2024). Este incremento obliga a ajustar la relación agua/cemento (a/c), que influye directamente en la resistencia a la compresión: a mayor a/c , menor resistencia. Incluso variaciones del 1% en el contenido de vacíos pueden provocar diferencias de 2 a 5 kg/cm² en el requerimiento de agua para mantener la misma consistencia (Positieri, López, Baronetto, & Gonzalez, 2016).

Agua

El agua en una mezcla de cemento cumple varias funciones: reacciona químicamente con el cemento para formar productos de hidratación, lubrica los componentes de la mezcla y provee espacios libres para el desarrollo de dichos productos de hidratación (Mastropietro, 2019).

Aditivos

Los aditivos son sustancias que se incorporan al hormigón con un propósito muy específico: mejorar sus propiedades, ya sea cuando está fresco o una vez que ha endurecido. Gracias a estos aditivos, el hormigón puede adaptarse con mayor precisión a distintos contextos de obra, condiciones climáticas o requerimientos técnicos. En otras palabras,

permiten que el material se "ajuste" a las necesidades del proyecto, optimizando su comportamiento sin alterar su composición básica.

En el mercado actual, existe una amplia gama de aditivos, cada uno con funciones muy concretas. Por ejemplo, los aceleradores de fraguado y endurecimiento se utilizan para ganar tiempo en obras urgentes o en climas fríos; los anticongelantes permiten trabajar a bajas temperaturas sin comprometer la resistencia; los plastificantes mejoran la fluidez sin necesidad de añadir más agua; los incorporadores de aire aumentan la durabilidad frente a ciclos de congelación y deshielo; y los hidrófugos ayudan a reducir la absorción de agua, favoreciendo la impermeabilidad del hormigón (Mastropietro, 2019). En definitiva, los aditivos son como ajustes inteligentes que transforman un material tradicional en uno más versátil y eficiente, adaptado a los desafíos actuales de la ingeniería y la arquitectura.

Ensayo de compresión

La correcta ejecución del ensayo de compresión y la interpretación precisa de sus resultados son esenciales para garantizar la seguridad, estabilidad y longevidad de las estructuras. Esta prueba actúa como una salvaguarda frente a posibles fallas y asegura que las edificaciones cumplan con su vida útil de diseño (Parrales, Chiliquinga, & Guerra, 2023). La resistencia a la compresión, designada como f_c , es la propiedad mecánica más relevante del hormigón, siendo el parámetro más utilizado en el diseño estructural de elementos de hormigón armado (Berrezueta, 2010).

En Ecuador, el ensayo de compresión de cilindros de hormigón está regulado por las Normas Técnicas Ecuatorianas (NTE INEN) y la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC). Ambas se alinean con estándares internacionales establecidos por la American Society for Testing and Materials (ASTM) y el American Concrete Institute (ACI). En particular, la NTE INEN 1573 (2010) establece el procedimiento para determinar la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos, ya sean moldeados en obra o laboratorio, o extraídos como núcleos, siempre que la densidad del hormigón supere los 800 kg/m³.

El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión controlada, mediante una máquina universal, hasta que el espécimen falla. La resistencia se calcula dividiendo la carga máxima ($f_c \text{ max}$) soportada por el área de la sección transversal del cilindro. Los resultados obtenidos permiten verificar la calidad de la dosificación, evaluar la mezcla y colocación del hormigón, comprobar el cumplimiento con las especificaciones de diseño y analizar el efecto de aditivos u otros componentes (Narváez & Orellana, 2024).

A nivel global, la construcción es uno de los sectores con mayor consumo de hormigón, lo que implica un uso intensivo de sus componentes (Seguí, 2019). De hecho, la arena es el segundo recurso natural más utilizado después del agua, con un consumo aproximado de 50 mil millones de toneladas al año, valoradas en unos 70 mil millones de dólares (Berger, 2022). Este nivel de demanda ha generado una profunda dependencia de los agregados naturales, que

representan entre el 70% y el 85% del volumen total del hormigón (Flores, 2013). Esta dependencia vuelve al sector vulnerable a interrupciones en la cadena de suministro y provoca un alto impacto ambiental por la extracción descontrolada, sobre todo en cauces de ríos.

La extracción de áridos en ríos ha causado una degradación ambiental significativa, con descensos del lecho fluvial de entre 7 y 15 cm por año en ciertas zonas, afectando seriamente los ecosistemas acuáticos y la estabilidad geológica (Alarcón, 2024). En este escenario, la piedra triturada surge como una alternativa parcial para mitigar estos efectos negativos. Este material, disponible en canteras como las ubicadas en las afueras de la ciudad de Baños, suele ser un subproducto del procesamiento de ripio y representa una opción viable para la sustitución parcial del agregado fino natural, promoviendo un uso más sostenible de los recursos locales.

MÉTODOS MATERIALES

Esta investigación adopta un enfoque experimental y cuantitativo, centrado en la evaluación comparativa de la resistencia a compresión del hormigón, utilizando como variable de estudio la sustitución parcial del agregado fino natural (arena) por un material alternativo de origen local. El objetivo es analizar si dicha sustitución afecta significativamente las propiedades mecánicas del hormigón y, al mismo tiempo, proponer una alternativa que contribuya a la reducción del impacto ambiental generado por la extracción intensiva de arena.

Con este propósito, se realizó una visita técnica a una cantera ubicada en las afueras de la ciudad de Baños (nombre específico pendiente de confirmación), donde, previa gestión formal para la inspección del proceso de extracción, se identificó un subproducto en forma de polvo blanquecino, conocido por el personal técnico como piedra triturada. Este material, al no generarse en grandes volúmenes, fue considerado apto únicamente como reemplazo parcial del agregado fino, no total.

Para el desarrollo del experimento, se elaboraron cuatro probetas cilíndricas de hormigón con dimensiones estándar: 30 cm de altura y 15 cm de diámetro. Se prepararon dos mezclas: una con composición tradicional, y otra con una mezcla modificada, en la que el 40% de la arena fue sustituida por piedra triturada, manteniendo el 60% de arena natural. Esta relación de sustitución fue seleccionada para observar un impacto intermedio en las propiedades mecánicas.

Una vez definidas las dimensiones de las probetas, se calculó su volumen para determinar la cantidad exacta de cada componente por unidad volumétrica, siguiendo una dosificación tipo H25 (25 MPa), la cual proporciona una resistencia estructural adecuada para usos generales. El cálculo de los materiales se realizó mediante métodos tabulares (ver Tabla 1), y se pesaron los componentes individualmente (cemento, agregados finos y gruesos, agua) con ayuda de una balanza de precisión, colocándolos por separado en recipientes limpios antes del proceso de mezclado (ver Tablas 2 y 3 para ambas composiciones).

Tabla 1

Dosificación de hormigón.

Dosificación del Hormigón por metro cúbico					
	Resis	Cemen	Gravil	Aren	Agu
	t. MPa	to kg	la kg	a kg	a lt
		127.5	1010	980	195
5	H5	170	1025	910	195
10	H10	230	1055	835	195
15	H15	275	1070	800	195
20	H20	340	1095	715	200
25	H25	380	1120	645	200
30	H30	440	1145	585	200

Fuente: <https://www.hormipavimento.es/dosificacion-hormigon-por-m3/>

Con base en el volumen calculado de las probetas cilíndricas y siguiendo la dosificación H25 (25 MPa), se determinó la cantidad exacta de materiales requeridos para la preparación de ambas mezclas: una tradicional y otra con reemplazo parcial del agregado fino. Esta dosificación se ajustó proporcionalmente al volumen de cada espécimen, manteniendo constantes las proporciones relativas de los componentes.

Las Tablas 2 y 3 detallan la dosificación específica de materiales empleada para la elaboración de las probetas de hormigón. La Tabla 2 corresponde a la mezcla tradicional, mientras que la Tabla 3 presenta la mezcla modificada, en la cual se incorporó 2.83 kilogramos de piedra triturada, en sustitución parcial del agregado fino. Ambos diseños mantuvieron iguales proporciones de cemento, arena, ripio y agua, a fin de garantizar que la única variable modificada fuera la incorporación del material alternativo.

Este control riguroso en la dosificación y el peso de los materiales fue fundamental para asegurar la validez de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a compresión, permitiendo una comparación objetiva entre ambas composiciones.

Tabla 2

Dosificación de Materiales para probetas de hormigón tradicional.

Material	Peso
Cemento	4,180 kilogramos
Arena	4,258 kilogramos
Ripio	12,328 kilogramos
Agua	2,020 litros

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2

Dosificación de Materiales para probetas de hormigón con proporciones distintas.

Material	Peso
Cemento	4,180 kilogramos
Arena	4,258 kilogramos
Ripio	12,328 kilogramos
Agua	2,020 litros
Piedra triturada	2,83 kilogramos

Fuente: Elaboración propia.

Es importante destacar que este método tabular es meramente una guía, ya que para obtener las proporciones adecuadas se deben aplicar criterios como los que proporciona el American Concrete Institute (ACI 211.1), que considera la norma ASTM C33 (Markets, 2023) para los agregados; además de las normativas ecuatorianas (NTE INEN 1855-1, 2015) y (NTE INEN 1855-2, 2015).

Para la elaboración de las probetas cilíndricas se prepararon dos tipos de mezcla: una con dosificación tradicional y otra con una proporción modificada que incluye un 40% de piedra triturada como reemplazo parcial del agregado fino. El proceso de preparación se llevó a cabo de manera manual y controlada, siguiendo los lineamientos técnicos establecidos para este tipo de ensayos. Previo al vertido del hormigón, se recubrió el interior de los moldes cilíndricos con aceite desmoldante, con el objetivo de facilitar el proceso de desmoldeo posterior (Figura 3).

Una vez dosificados los materiales secos y líquidos, se vertieron por separado en una bandeja metálica. A continuación, se mezclaron manualmente utilizando una espátula, hasta obtener una consistencia homogénea. Es importante señalar que la calidad del mezclado depende directamente de la correcta relación agua-cemento, que influye en la trabajabilidad y resistencia de la mezcla (Figuras 4 y 5).

Vertido y compactación de la mezcla

Con la mezcla ya uniforme, se procedió a verterla en los moldes cilíndricos en tres capas iguales, compactando cada capa mediante 25 golpes de varilla metálica, según lo indicado en las especificaciones técnicas para asegurar la correcta eliminación de vacíos (Figuras 6 y 7).

Luego del llenado, se realizó un proceso de vibrado para garantizar una compactación adecuada y evitar la presencia de burbujas de aire. Este procedimiento se ejecutó el viernes 30 de mayo de 2025, en las instalaciones de la Universidad Tecnológica Indoamérica (Figuras 8 y 9).

Fraguado y curado de las probetas

Tras el proceso de vibrado, las probetas se dejaron en reposo durante tres días, lo que permitió el fraguado inicial del hormigón. Posteriormente, el lunes siguiente, se procedió al desencofrado de los especímenes, trasladándolos a la piscina de curado del laboratorio de la misma universidad, donde permanecieron durante cinco días bajo condiciones ambientales normales (Figuras 10 a 13).

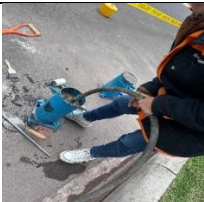
Ensayo de compresión

Finalmente, el viernes 6 de junio de 2025, las probetas fueron trasladadas al laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato para realizar los ensayos de compresión, con el fin de evaluar su comportamiento mecánico y analizar la influencia de la piedra triturada en la resistencia del hormigón (Figuras 14 y 15).

Tabla 4.

Matriz descriptiva de figuras del proceso experimental de elaboración y ensayo de cilindros de hormigón

Figura N°	Título	Descripción / Observación
1. 	Moldes con aceite	Moldes cilíndricos preparados con agente desmoldante para facilitar el desencofrado.
2. 	Componentes secos	Cemento y agregados secos dispuestos en la bandeja metálica.
3. 	Adición de agua	Mezcla de los componentes con la cantidad adecuada de agua.

4.		Mezcla vertida en molde	Inicio del llenado del molde con la mezcla.
5.		Compactación con varilla	Aplicación de 25 golpes por capa según normativa.
6.		Proceso de vibrado	Vibración para eliminar vacíos y asegurar compactación.
7.		Probetas en fraguado	Reposo por tres días tras el llenado.
8.		Desenfrado de probetas	Extracción cuidadosa de los moldes luego del fraguado inicial.
9.		Probetas listas para curado	Probetas colocadas en la piscina de curado.
10.		Proceso de curado	Inmersión de probetas en agua durante cinco días.
11.		Curado final	Finalización del curado bajo condiciones ambientales normales.
12.		Traslado al laboratorio	Transporte de las probetas a la Universidad Técnica de Ambato.

13.		Ensayo de compresión – cilindro 1	Observación del momento de falla del primer espécimen.
14.		Ensayo de compresión – cilindro 2	Registro gráfico de la rotura del segundo espécimen.
15.		Comparación visual final	Comparación visual de los especímenes después del ensayo. (Opcional si tienes esta imagen)

Fuente: Elaboración propia.

Equipos, herramientas y materiales

Previo al desarrollo del ensayo experimental, fue necesario disponer de una serie de equipos, herramientas y materiales que garantizaran la correcta elaboración, manipulación y evaluación de las probetas de hormigón. La siguiente tabla detalla los elementos utilizados en cada una de las etapas del proceso, desde la dosificación y mezclado hasta el curado y ensayo de compresión de las muestras.

Tabla 5

Equipos, herramientas y materiales utilizados en la práctica.

Equipos		Herramientas	Materiales
Máquina de compresión		Barra de metal	Cemento
		Moldes de probetas	Arena
Balanza digital		Martillo de goma	Ripio
		Pala	Agua
		Bandeja de metal	Piedra triturada
		Balde	
		Espátula	

Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de compresión realizado con la máquina universal. En la Tabla 5 se muestran los datos de la mezcla de hormigón tradicional, mientras que en la Figura 16 se ilustra su correspondiente curva esfuerzo-deformación.

Tabla 6.

Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del hormigón tradicional

N.º de Cilindro	Fuerza Máxima (kN)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Tiempo de Falla (s)
1	386.8	21.88	52.02
2	393.3	22.26	54.78
Promedio	390.05	22.07	-

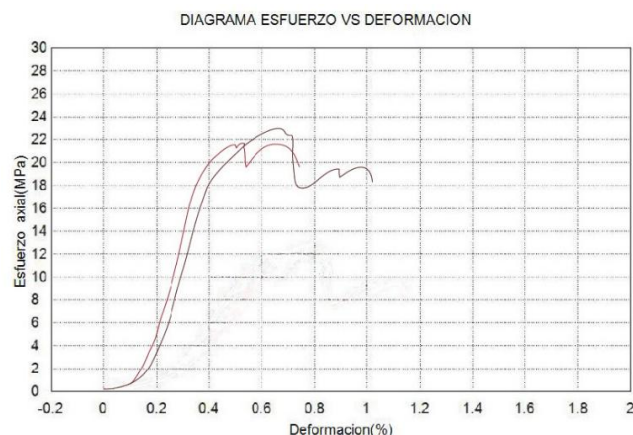
Fuente: Elaboración propia

Nota: Los valores en negrita representan el promedio de resistencia del hormigón tradicional.

La Figura 16 muestra la curva esfuerzo-deformación obtenida a partir del ensayo de compresión realizado sobre probetas de hormigón tradicional. Esta gráfica permite visualizar el comportamiento mecánico del material bajo carga axial, evidenciando tanto la fase elástica inicial como el punto máximo de resistencia y la posterior caída en la capacidad portante. El análisis de esta curva es fundamental para comprender la ductilidad, rigidez y capacidad de deformación del hormigón, parámetros clave en el diseño estructural.

Figura 16.

Curva esfuerzo-deformación del hormigón tradicional



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos para la mezcla con 60% de arena

fin y 40% de polvo de piedra, y en la Figura 17 se muestra su curva esfuerzo-deformación.

Con el objetivo de evaluar el impacto de la sustitución parcial del agregado fino por piedra triturada en el comportamiento mecánico del hormigón, se elaboraron y ensayaron cilindros con una composición modificada que incluía un 40% de polvo de piedra y un 60% de arena fina. A continuación, en la Tabla 7 se detallan los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a compresión para esta mezcla, incluyendo los valores individuales de fuerza y esfuerzo máximos, así como el tiempo de falla de cada probeta.

Este conjunto de datos permite realizar una comparación objetiva frente a la mezcla tradicional, considerando que ambas fueron sometidas a idénticas condiciones de preparación, curado y ensayo. Además, las Figuras 17 y 18 presentan las respectivas curvas esfuerzo-deformación, que permiten analizar el comportamiento estructural del hormigón con la nueva composición, destacando sus características de rigidez, ductilidad y capacidad portante.

Tabla 7.

Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del hormigón con composición modificada

N.º de Cilindro	Fuerza Máxima (kN)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Tiempo de Falla (s)
1	198.0	11.20	47.89
2	207.0	11.70	50.34
Promedio	202.50	11.45	-

Nota: Los valores en negrita representan el promedio de resistencia de la mezcla modificada.

Las curvas esfuerzo-deformación obtenidas a partir del ensayo de compresión realizado sobre probetas de hormigón con una composición modificada, en la que se sustituyó parcialmente el agregado fino por piedra triturada como indica las figuras 17 y 18. Estas gráficas permiten observar el comportamiento mecánico del material bajo carga axial, mostrando su capacidad de absorción de esfuerzo hasta el punto de falla. En comparación con el hormigón tradicional, se evidencia una menor resistencia máxima, lo cual puede atribuirse al incremento de vacíos y a la menor compacidad de la mezcla debido a la angularidad del agregado sustituto.

Figura 17.

Curva esfuerzo-deformación del hormigón con una composición diferente



Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 1

Gráfica esfuerzo-deformación del hormigón con una composición diferente.



Fuente: *Elaboración propia.*

Para asegurar una comparación justa, ambas mezclas fueron preparadas y ensayadas bajo condiciones idénticas. Las probetas se mantuvieron 7 días en encofrado y 5 días en curado, lo que garantiza que las variaciones en resistencia y comportamiento se atribuyen exclusivamente a la diferencia en las proporciones de agregados.

Tabla 8

Analisis comparativo de propiedades físicas y mecánicas del hormigón evaluado

Parámetro	Hormigón Tradicional	Hormigón con 40% Piedra Triturada	Diferencia / Observación
Nº de probetas	2	2	Mismo número de muestras
Fuerza máxima promedio (kN)	390.05	202.50	Disminución de 48.1%
Esfuerzo máximo promedio (MPa)	22.07	11.45	Disminución de 48.1%
Tiempo promedio de falla (segundos)	53.4	49.1	Ligera reducción
Relación agua/cemento	Igual	Igual	Controlada para ambos casos
Compactación y curado	Igual	Igual	Condiciones uniformes
Trabajabilidad observada	Buena	Menor trabajabilidad	Mayor demanda de agua
Material fino usado	100% Arena	60% Arena + 40% Piedra Triturada	Variable independiente
Característica destacada	Alta resistencia	Sostenibilidad, uso de subproducto	Compromiso entre resistencia y impacto ambiental

Fuente: elaboración propia

Los resultados muestran que la mezcla tradicional alcanzó un promedio de 22.07 MPa, aproximadamente el doble de la resistencia registrada en la mezcla modificada (11.45 MPa). Esta diferencia confirma que la sustitución parcial del 40% de arena por piedra triturada reduce significativamente la resistencia, posiblemente por la angularidad del material y el aumento en la relación agua/cemento

DISCUSIÓN

El presente estudio evaluó los efectos de sustituir parcialmente el agregado fino por piedra triturada en la resistencia a compresión del hormigón. Los resultados muestran que, en particular, las probetas con un 40% de piedra triturada alcanzaron una resistencia promedio de 11.45 MPa, mientras que las elaboradas con mezcla tradicional lograron 22.07 MPa. La incorporación de piedra triturada como agregado fino puede alterar significativamente la demanda de agua en la mezcla de hormigón debido a su angularidad y mayor superficie específica (Urban, 2024)

Este comportamiento es coherente ya que los agregados finos constituyen la mayor proporción volumétrica del hormigón (60-75%), y sus propiedades determinan en gran medida el desempeño general del material (Hernández, 2021). Además, la presencia de vacíos en exceso interfiere con el correcto empaquetamiento de los componentes, lo cual incide negativamente en el desarrollo de la resistencia mecánica.

Si bien los resultados muestran una disminución en la resistencia, el uso de piedra triturada como subproducto industrial representa una alternativa frente a la creciente escasez de arena natural. Según (Berger, 2022) la arena es el segundo recurso más utilizado a nivel mundial después del agua con un consumo estimado de 50 mil millones de toneladas al año. Su aprovechamiento puede reducir significativamente el impacto ambiental generado por la explotación de áridos fluviales. No obstante, para que su uso sea viable a nivel estructural, mantener la trabajabilidad implica ajustar la relación agua/cemento, lo cual tiene un impacto directo en la resistencia a la compresión (Urban, 2024). El número reducido de muestras limita la generalización de los resultados, lo cual abre la oportunidad para futuros estudios más amplios que confirmen estas tendencias. Lo cual restringe la generalización de los resultados. Asimismo, no se evaluaron propiedades como la trabajabilidad, revenimiento o durabilidad a largo plazo, factores que también influyen en la calidad del hormigón.

Por tanto, se recomienda llevar a cabo investigaciones adicionales que garanticen su uso eficiente en aplicaciones constructivas sostenibles, especialmente en regiones con escasez de arena natural que consideren diferentes porcentajes de sustitución de arena por piedra triturada, la incorporación de aditivos plastificantes y la variación de los tiempos de curado. Estos estudios permitirán establecer formulaciones óptimas que maximicen las propiedades mecánicas del hormigón y garanticen su uso eficiente en aplicaciones constructivas sostenibles.

CONCLUSIÓN

Se determinó el efecto que puede llevar la sustitución parcial del agregado fino por piedra triturada en la resistencia a compresión del hormigón. Los resultados obtenidos muestran que con un 40% de piedra triturada en una mezcla de hormigón, presenta un valor promedio de 11.45 MPa, lo cual es bajo para el resultado esperado, a comparación de la mezcla de hormigón tradicional que presentó un valor promedio de 22.07 MPa. Al evaluar la resistencia a la compresión de los cilindros modificados, se evidenció que la sustitución de arena por piedra triturada afecta negativamente la resistencia del hormigón, esto puede deberse al mayor contenido de vacíos generado por la textura angular de la piedra triturada, lo cual requiere un porcentaje de agua más alto. Los resultados muestran que, la piedra triturada al ser un recurso alternativo que se genera del proceso de obtención de agregado grueso y fino, si se otros factores como la relación agua-cemento y el tiempo de curado, es un gran candidato como reemplazo parcial a la arena.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, M. (2024). *Efectos de la extracción de arena en el desarrollo del turismo sostenible en la playa la reveza del cantón palenque*. Babahoyo: Universidad Técnica de Babahoyo.
- Berger, A. (19 de Julio de 2022). *Crónica de una escasez mundial de arena anunciada: ¿puede evitarse?* Obtenido de EQUALTIMES: <https://www.equaltimes.org/cronica-de-una-escasez-mundial-de?lang=es>
- Berrezueta, G. (2010). *Estudio de los efectos de la falta de vibración, en la resistencia a compresión y módulo elástico del hormigón, en función de variaciones del revenimiento.*. Guayaquil : Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Flores, L. (2013). *Evaluación de Escoria Siderúrgica como agregado grueso para concreto*. Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Hernández, E. F. (2021). Efecto del agregado grueso triturado en las propiedades del concreto . *Nexo Revista Científica*, 56-63.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). *NTE INEN 1762*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN).
- Latorre, H. (2024). Avances en el Uso del Hormigón Armado en Ingeniería Civil: Una revisión sistemática. *Magazine de las Ciencias* , 47-68.
- Markets, A. S. (17 de Agosto de 2023). *Especificación estándar para agregados de hormigón*. Obtenido de Advancing Standards Transforming Markets: https://store.astm.org/co033_co033m-18.html
- Mastropietro, M. (2019). *El hormigón para arquitectos (2a. ed.)*. Buenos Aires: Editorial Nobuko.
- Narváez, J., & Orellana, V. (2024). *Análisis de la resistencia a la compresión de $F'C= 240$ kg/cm² entre un hormigón convencional y un hormigón con mezcla de vidrio molido en reemplazo parcial del árido fino* . Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- NTE INEN 1573. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 1762. (2015). *Hormigón. Definiciones y Terminología*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 1855-1. (2015). *Hormigones, Hormigón premezclado*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 1855-2. (2015). *Hormigones. Hormigón preparado en obra. Requisitos*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Parrales, V., Chiliquinga, B., & Guerra, J. (2023). Composición de mezclas de agregados gruesos y finos en la resistencia a la compresión y porosidad del hormigón. *Polo del*

Conocimiento, 601-613.

- Positieri, M. J., López, R., Baronetto, C. E., & Gonzalez, M. (2016). Influencia de la forma y textura de las arenas en la demanda de agua de los hormigones. *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (REVISTA FCEFYN)*, 75-83.
- Puertas Maroto, F. (2024). *Cementos y hormigones*. Madrid: Editorial CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Recalde, D., & Ruiz, D. (2020). *Determinación de la deformación unitaria de un hormigón flexible elaborado con poliestireno de alta densidad*. Quito: Universidad Central del Ecuador .
- Segui, P. (1 de Agosto de 2019). *Impacto ambiental del hormigón ¡Un material destructivo para la Tierra!* Obtenido de OVACEN: <https://ovacen.com/hormigon-material-destructivo-tierra/>
- Universidad Politécnica de Cartagena. (2007). Hormigón. Tipos y propiedades. *Universidad Politécnica de Cartagena*, 80-97.
- Urban, M. (2024). Demanda de agua (o superficie específica) del agregado como factor dominante para el diseño de la composición del SCC. *MDPI*, 2-23.

CONFLICTO DE INTERÉS:

Los autores declaran que no existen conflicto de interés posibles.

FINANCIAMIENTO

No existió asistencia de financiamiento de parte de pares externos al presente artículo.

NOTA:

El articulo no es producto de una publicación anterior