

Evaluation of the compressive and flexural behavior of conventional concrete incorporating igneous rock for road works, Cajamarca 2025

Jhank Herick Altamirano Campos, Bach.¹; Julio Antony Chuquiruna Chavez, Bach.²

¹Universidad Privada del Norte, Perú, N00287046@upn.pe

²Universidad Privada del Norte, Perú, N00294913@upn.pe

Abstract– *In this study, the objective was to analyze how the incorporation of igneous rock, in percentages of 0%, 5%, 10%, and 15%, as a partial replacement of fine aggregate, influences the compressive and flexural strength of conventional concrete with a strength of 300 kg/cm². The research was applied in nature, with an explanatory approach and an experimental design. A total of 96 specimens were produced and evaluated at 7, 14, and 28 days of curing, following ASTM and NTP standards. The tests showed that the use of igneous rock improves the mechanical performance of concrete: with a 15% incorporation, a 10.87% increase in compressive strength was obtained, while with 10%, a 22.03% increase in flexural strength was recorded compared to the control mix. These results demonstrate that igneous rock can be used as an alternative aggregate, improving concrete performance while sustainably utilizing local resources.*

Keywords-- *Compressive strength, flexural strength, igneous rock, alternative material.*

Evaluación del comportamiento a compresión y flexión en un concreto convencional incorporando roca ígnea para obras viales, Cajamarca 2025

Jhank Herick Altamirano Campos, Bach.¹; Julio Antony Chuquiruna Chavez, Bach.²

¹Universidad Privada del Norte, Perú, N00287046@upn.pe

²Universidad Privada del Norte, Perú, N00294913@upn.pe

Resumen– En este estudio se tuvo como objetivo analizar de cómo influye la incorporación de roca ígnea, en porcentajes de 0%, 5%, 10% y 15%, como reemplazo parcial del agregado fino en la resistencia a compresión y flexión de un concreto convencional de 300 kg/cm². La investigación fue de tipo aplicada, con un enfoque explicativo y un diseño experimental. En total se fabricaron 96 probetas, evaluadas a los 7, 14 y 28 días de curado bajo las normas ASTM y NTP. Los ensayos evidenciaron que el uso de roca ígnea mejora el desempeño mecánico del concreto, con un 15% de incorporación se obtuvo un incremento del 10.87% en la resistencia a compresión, mientras que con un 10% se registró un aumento del 22.03% en la resistencia a flexión respecto a la mezcla patrón. Estos resultados evidencian que la roca ígnea puede emplearse como agregado alternativo, mejorando el desempeño del concreto y aprovechando de forma sostenible los recursos locales.

Palabras clave-- Resistencia a la compresión, resistencia a flexión, roca ígnea, material alternativo.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, a nivel global el concreto es uno de los materiales que más se utilizan en la construcción en todo el mundo, debido a su versatilidad y empleo en muchas aplicaciones diferentes [1]. Esta relevancia se ve claramente en estructuras como pavimentos rígidos o adoquinados, pero al estar expuestos a climas perjudiciales y al paso de vehículos continuos, hace que presenten fisuras en un tiempo menos previsto, conllevando a la pérdida de resistencia al agrietamiento, así como también su durabilidad [2].

En Chile, la mayor parte de carreteras que son construidas de concreto presentan una degradación rigurosa, siendo resultado por diseños deficientes o de utilizar materiales inadecuados, disminuyendo el potencial de resistir cargas recurrentes [3].

En el Perú, las obras de infraestructura vial afrontan dificultades relacionadas a las diferentes situaciones bioclimáticas del país, afectando de manera inmediata el desempeño del concreto. En climas bastante calurosos suele agrietarse por contracción, mientras que en ambientes gélidos puede degenerarse si se usan dosificaciones inapropiadas [4]. A ello, también se le suma la falta habitual de mantenimiento, ocasionando que los pavimentos sufran un desgaste rápido, se agrieten y se estropeen antes de tiempo [5].

En la región Cajamarca, casi todas las carreteras se construyen de pavimento rígido, esto por su rápida elaboración

y buen desempeño frente al movimiento vehicular. Pero últimamente, en los últimos años hemos visto que estas estructuras se están deteriorando por aumento transitorio, problemas de diseño y la falta de mantenimiento. En ese contexto, explorar sobre materiales que ayudan a mejorar el desempeño mecánico del concreto presenta una posibilidad para mejorar la vida de servicio de las estructuras viarias [6].

Entre estas opciones destacan los materiales de origen ígneo, como la diatomita, donde se han visto ser materiales ventajosos para la composición del concreto, aumentando la trabajabilidad, permeabilidad y propiedades mecánicas. Sin embargo, aún no se ha establecido un porcentaje óptimo de utilización para obtener un concreto normal con mejores cualidades, así que sigue siendo un campo abierto de indagación [7]. Además, usar materiales novedosos contribuye a una disminución de los costos de producción, ahorro energético y disminución de desechos [8].

Las rocas ígneas se dividen en dos tipos: plutónicas y volcánicas, distinguiéndose por medio de ensayos de laboratorio que permiten definir su composición [9]. En este estudio, se está optando por emplear una roca ígnea volcánica, precisamente toba volcánica originaria de la zona de exploración.

Para la evaluación del concreto, lo que más se utiliza es la resistencia a la compresión (f'_c), el cual es el indicador más usado para calcular la capacidad que tiene el concreto frente a cargas axiales, siendo determinada a través de ensayos normalizados en probetas cilíndricas. En cambio, la resistencia por flexión se expresa como módulo de rotura (M_r), en esta prueba se destaca la destreza que tiene el concreto ante esfuerzos por momento flector y normalmente el valor se ubica entre el 10% y 20% de la resistencia a la compresión [10].

Debido a que las obras viales satisfacen un rol sustancial en la inclusión territorial, permitiendo el desarrollo del transporte y fortificar la conectividad entre múltiples áreas demográficas [11]. El concreto figura como uno de los materiales más utilizados para su construcción, catalogándose como convencional cuando la resistencia a la compresión no sobrepasa los 40 MPa y de alta resistencia si excede dicho valor [12].

En ese aspecto, el uso de materiales no convencionales tales como: aditivos, fibras o materiales reciclados, impactan de manera notable en la preservación de recurso naturales,

evitando así la sobreexplotación de ríos y canteras [13]. Estas mejoras, se deben al cambio de la estructura interna del concreto, distribución de partículas, disminución de vacíos y optimización en la adherencia, las cuales son analizadas básicamente en ensayos de compresión, flexión y tracción [14]. En el presente estudio, se investiga específicamente la resistencia a la compresión por intermedio de carga axial en especímenes cilíndricos y en la resistencia a la flexión a través de cargas perpendiculares en vigas prismáticas.

En función de lo expuesto, la presente investigación tiene como objetivo principal evaluar el comportamiento a compresión y flexión de un concreto convencional de $f'c = 300$ kg/cm², mediante la incorporación de roca ígnea como material alternativo, con el propósito de determinar su viabilidad en proyectos de construcción vial en la ciudad de Cajamarca así como establecer un porcentaje adecuado de adición que contribuya a mejorar la durabilidad del concreto.

II. METODOLOGÍA

La investigación es de tipo aplicada, ya que busca aportar una solución práctica al analizar el efecto de la roca ígnea como reemplazo parcial del agregado fino en diferentes proporciones. Su enfoque es explicativo, ya que determina de cómo este material influye directamente en la resistencia del concreto. Asimismo, se emplea un método experimental, mediante la elaboración y el ensayo probetas en laboratorio para evaluar su comportamiento mecánico mediante pruebas estandarizadas.

A) Población y muestra

Para este estudio se realizó 96 especímenes de concreto con reemplazos de roca ígnea al 0%, 5%, 10% y 15% en un concreto de $f'c = 300$ kg/cm². La población igualmente a la muestra quedó constituida por un total de 48 cilindros de 15 cm de diámetro $\times$ 30 cm de altura para la resistencia a la compresión y vigas de 15 cm de ancho $\times$ 15 cm de altura $\times$ 50 cm de longitud para ensayos correspondientes a flexión. Las probetas fueron estudiadas a los 7, 14 y 28 días de curado. Por cada porcentaje de reemplazo se elaboraron 4 testigos de ensayo, cumpliendo el requerimiento mínimo de tres especímenes establecido en la norma NTP 339.183.

TABLA I
ASIGNACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO A COMPRESIÓN

% de reemplazo	N° de probetas por edades de curado		
	7	14	28
0%	4	4	4
5%	4	4	4
10%	4	4	4
15%	4	4	4
Total parcial:	16	16	16
Total:	48		

^aFuente: Propia

TABLA II
ASIGNACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO A FLEXIÓN

% de reemplazo	N° de probetas por edades de curado		
	7	14	28
0%	4	4	4
5%	4	4	4
10%	4	4	4
15%	4	4	4
Total parcial:	16	16	16
Total:	48		

^aFuente: Propia

B. Materiales, instrumentos y métodos

Los principales materiales utilizados para la elaboración de este trabajo corresponden a: Cemento Extra-Forte, agua, roca ígnea, agregado fino y agregado grueso provenientes de una cantera denominada “Casa Blanca”. Antes de usarlos, se realizaron ensayos físicos a los agregados tales como: análisis granulométrico (ASTM C136/NTP 400.012), contenido de humedad (ASTM D2216/NTP 339.127), peso unitario seco y compactado (ASTM C29/NTP 400.017), peso específico y absorción del agregado fino (ASTM C128/NTP 400.022), peso específico y absorción del agregado grueso (ASTM C127/NTP 400.021) y porcentaje de material pasante por el tamiz N°200 (ASTM C117/NTP 400.018).

Para la adquisición de roca ígnea, esta fue recolectada de una cantera ubicada en el centro poblado Agua Tapada, provincia y departamento de Cajamarca. Además fue sometida de manera similar a los ensayos aplicados al agregado fino, con la finalidad de ajustar de manera física y mecánica dentro de la mezcla de concreto.

Los instrumentos más utilizados para los procedimientos experimentales corresponden a: tamices, balanzas digitales, moldes para encofrado, termómetro, mezcladora de concreto, cono de abrams, entre otros. Además, del uso de protocolos instaurados por la Universidad Privada del Norte (UPN), los cuales fueron validados y certificados por los responsables del laboratorio.

C. Procedimiento

1. Se realizó un mapeo local con el propósito de identificar las fuentes de suministro de agregados. Como resultado, se seleccionó la cantera “Casa Blanca” debido a su cercanía al laboratorio UPN y por ser reconocida en la región de Cajamarca por la calidad de sus materiales para uso constructivo.

2. Para conseguir la roca ígnea, el material se extrajo de una cantera cercana a los alrededores del centro poblado Agua Tapada, caracterizada por la exuberancia y fácil obtención del recurso.

3. Luego, se realizaron los ensayos físicos al agregado fino, agregado grueso y roca ígnea, bajo los parámetros indicados en las normativas técnicas ASTM/NTP.

4. Se decidió utilizar cemento Extra-Forte, elegido por su uso común para la elaboración de concretos y disposición en el mercado local.

5. Teniendo recolectado los materiales listos, se procedió a la elaboración del diseño de mezcla de concreto bajo consideraciones del método ACI 211.1, teniendo en cuenta los

diferentes porcentajes de remplazo del material sustituto (0%, 5%, 10% y 15%).

6. Se realizaron las pruebas de resistencia a la compresión y flexión bajo especificaciones de las normativas NTP339.034/ASTM C 39 y NTP 339.079/ASTM C 293) a los 7, 14 y 28 días de curado.

7. En cuanto al análisis de datos recogidos de los ensayos realizados de resistencias a la compresión y flexión, estos fueron interpretados mediante tablas y gráficos haciendo uso de la herramienta estadística Microsoft Excel. Asimismo, se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) para los 28 días.

D. Análisis de datos

Para gestionar los datos recolectados de las pruebas realizadas, tanto físicas como también de resistencia del concreto. Se realizó mediante la estadística descriptiva e inferencial, disponiendo del programa Microsoft Excel como herramienta principal. Para cada porcentaje de incorporación de roca ígnea (0%, 5%, 10% y 15%) y para cada tiempo de curado (7, 14 y 28 días), se organizaron los resultados mediante tablas y gráficos, evaluando medidas de tendencia central, dispersión, promedios, desviación estándar y análisis de varianza (ANOVA), con la intención de evaluar la variabilidad entre los grupos de muestras.

Asimismo, todas las mediciones fueron registradas en fichas técnicas que consignaron fechas, observaciones y datos correspondientes de los ensayos para agregados, diseño de mezclas y resistencias.

Cada valor obtenido fue verificado por el personal de laboratorio y validado bajo los criterios establecidos por las Normas Técnicas Peruanas (NTP), lo cual garantiza la confiabilidad y precisión del análisis obtenido.

III. RESULTADOS

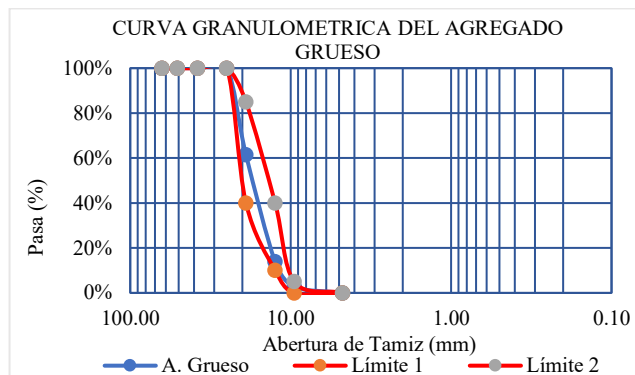
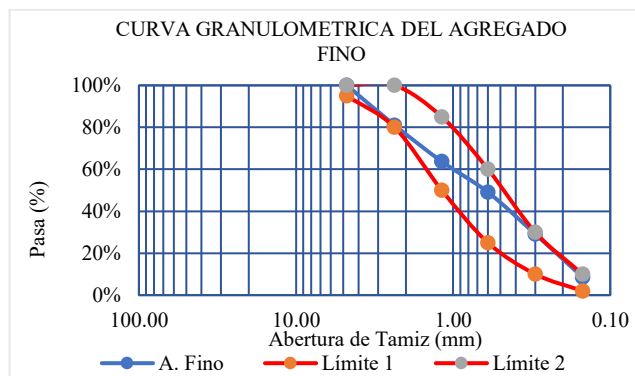
TABLA III

RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS Y ROCA ÍGNEA

Propiedades de los materiales	Agregado		Material
	Fino	Grueso	Roca ígnea
Contenido de humedad (%)	7.69	1.47	19.56
Absorción (%)	6.89	0.79	7.54
Módulo de finura (MF)	2.81	-	2.64
Tamaño máximo nominal	-	3/4	-
Coefficiente de uniformidad	6.44	1.64	5.99
Peso unitario seco suelto: PUSS (Kg/m ³)	1534.43	1467.76	1765.03
Peso unitario seco compactado: PUSC (Kg/m ³)	1553	1603.22	1978.30
Peso específico de masa: PeM (Kg/m ³)	2427.36	2581.53	2009.85
Peso específico: PeSSS (Kg/m ³)	2594.87	2602.07	2160.50
Peso específico aparente: PeA (Kg/m ³)	2917.77	2635.72	2365.28
Pasa tamiz N°200 (%)	2.76	0.23	12.61

^aFuente: Propia

En la figura 1 y 2, se aprecia la granulometría del agregado fino y agregado grueso dentro de los límites superior e inferior permisible, especificado por la normativa ASTM C136 / NTP 400.037.



Luego, se efectuó el diseño de mezclas mediante el método ACI 211.1. La tabla IV presenta las cantidades de materiales corregidas por humedad para los ensayos de compresión, mientras que la tabla V muestra las destinadas a los ensayos de flexión.

TABLA IV

DOSIFICACIÓN DE CONCRETO PARA ENSAYO A COMPRESIÓN

Materiales corregidos	Porcentajes			
	0%	5%	10%	15%
Cemento (kg)	9.53	9.53	9.53	9.53
Agua efectiva (Lts)	3.98	3.98	3.98	3.98
Agregado fino (kg)	16.75	15.91	15.07	14.24
Agregado grueso (kg)	21.37	21.37	21.37	21.37
Aire (%)	2.00	2.00	2.00	2.00
Roca ígnea (kg)	0.00	0.84	1.67	2.51

^aFuente: Propia

TABLA V

DOSIFICACIÓN DE CONCRETO PARA ENSAYO A FLEXIÓN

Materiales corregidos	Porcentajes			
	0%	5%	10%	15%
Cemento (kg)	21.84	21.84	21.84	21.84
Agua efectiva (Lts)	9.11	9.11	9.11	9.11
Agregado fino (kg)	38.38	36.46	34.54	32.63
Agregado grueso (kg)	48.98	48.98	48.98	48.98
Aire (%)	2.00	2.00	2.00	2.00
Roca ígnea (kg)	0.00	1.92	3.84	5.76

^aFuente: Propia

La tabla VI resume los resultados de resistencia a compresión a los 7 días, se observa que la mezcla con 10% de sustitución obtuvo la máxima resistencia (273.36 kg/cm²) aumentando un 71% de la resistencia mínima de diseño, además

también se evidencia la desviación estándar y la variación respecto a la muestra patrón.

TABLA VI VALORES DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN OBTENIDOS A LOS 7 DÍAS							
Desc.	Muestra	Carga de rupt. (kg)	F'c (Kg/cm²)	F'c prom. (kg/cm²)	Desv. est.	% F'c	Variación (%)
Muestra patrón (MP)	M1	40136.00	226.52	229.56	5.00	59.63	-
	M2	40352.00	224.14				
	M3	40456.00	234.21				
	M4	40558.00	233.38				
MP + 5% de roca ígnea	M1	41065.00	240.32	241.20	1.07	62.65	5.07
	M2	41195.00	240.27				
	M3	41309.00	241.75				
	M4	42159.00	242.43				
MP + 10% de roca ígnea	M1	46752.00	272.87	273.36	2.45	71.00	19.08
	M2	46766.00	274.32				
	M3	47544.00	276.03				
	M4	46994.00	270.24				
MP + 15% de roca ígnea	M1	41993.00	246.59	257.52	10.37	66.89	12.18
	M2	43584.00	252.42				
	M3	46626.00	270.48				
	M4	45283.00	260.57				

ⁱFuente: Propia

La figura 3 muestra cómo varía la resistencia a compresión tras 7 días de curado; se observa que los especímenes con 0%, 5%, 10% y 15% de roca ígnea registraron resistencias promedio de 229.56 kg/cm², 241.20 kg/cm², 273.36 kg/cm² y 257.52 kg/cm², respectivamente

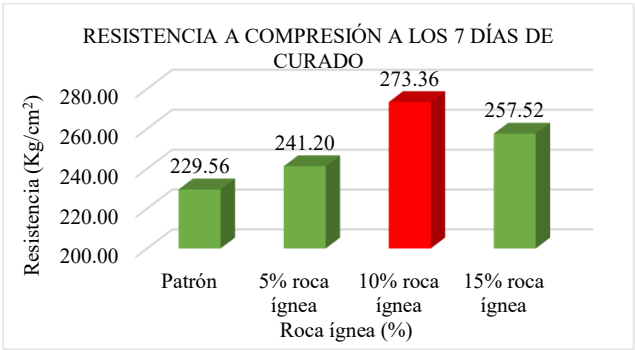


Fig. 3 Comparación de resistencias a compresión (7 días).

De manera similar, en la tabla VII se muestra los resultados de resistencia a compresión a los 14 días de curado, la desviación estándar y porcentaje de variación; en este caso, la mezcla con 15% de adición mostró el mejor desempeño (312.55 kg/cm²) mejorando un 81.18% de la resistencia de diseño.

TABLA VII VALORES DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN OBTENIDOS A LOS 14 DÍAS							
Desc.	Muestra	Carga de rupt. (kg)	F'c (Kg/cm²)	F'c prom. (kg/cm²)	Desv. est.	% F'c	Variación (%)
Muestra patrón (MP)	M1	47707.00	263.78	270.06	5.52	70.14	-
	M2	47987.00	267.26				
	M3	48419.00	275.83				
	M4	47921.00	273.36				
MP + 5% de roca ígnea	M1	49486.00	279.10	283.09	3.46	73.56	4.82
	M2	49530.00	287.52				
	M3	49545.00	283.19				
	M4	48769.00	282.53				

MP + 10% de roca ígnea	M1	50586.00	294.84	297.83	4.11	77.36	10.28
	M2	50663.00	296.49				
	M3	52376.00	303.90				
	M4	51833.00	296.07				
MP + 15% de roca ígnea	M1	53134.00	310.96	312.55	4.67	81.18	15.73
	M2	53279.00	312.86				
	M3	55207.00	318.75				
	M4	53134.00	307.61				

ⁱFuente: Propia

En la figura 4, muestra cómo varía las muestras de concreto a una edad de curado de 14 días; en donde, las probetas al 0%, 5%, 10% y 15% obtuvieron valores de 270.06 kg/cm², 283.09 kg/cm², 297.83 kg/cm² y 312.55 kg/cm², respectivamente.

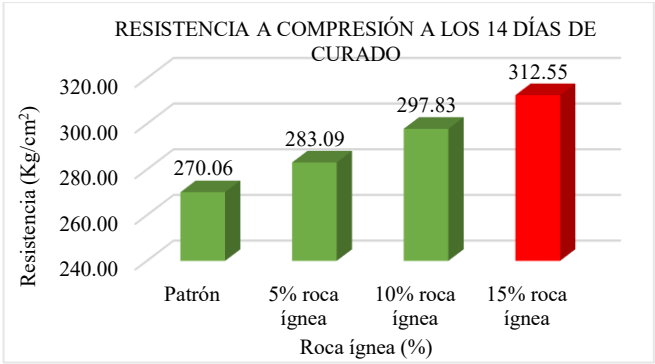


Fig. 4 Comparación de resistencias a compresión (14 días).

En cuanto a los 28 días de curado, los datos de la tabla VIII reveló que la mayor resistencia (428.00 kg/cm²) se logró con el 15% de roca ígnea, esto representa una mejora significativa respecto al concreto patrón (386.03 kg/cm²).

TABLA VIII VALORES DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN OBTENIDOS A LOS 28 DÍAS							
Desc.	Muestra	Carga de rupt. (kg)	F'c (Kg/cm²)	F'c prom. (kg/cm²)	Desv. est.	% F'c	Variación (%)
Muestra patrón (MP)	M1	66344.00	381.20	386.03	7.77	100.27	-
	M2	69833.00	396.60				
	M3	67634.00	387.00				
	M4	68150.00	379.30				
MP + 5% de roca ígnea	M1	67911.00	390.10	393.03	3.73	102.08	1.81
	M2	66776.00	391.80				
	M3	71552.00	398.50				
	M4	70554.00	391.70				
MP + 10% de roca ígnea	M1	73530.00	418.10	412.03	4.45	107.02	6.74
	M2	69926.00	407.40				
	M3	73540.00	411.20				
	M4	72662.00	411.40				
MP + 15% de roca ígnea	M1	74395.00	425.40	428.00	5.34	111.17	10.87
	M2	72258.00	425.70				
	M3	78991.00	436.00				
	M4	75758.00	424.90				

ⁱFuente: Propia

En la figura 5, se presenta una comparación gráfica de las resistencias a 28 días de curado; en donde, las probetas con roca ígnea al 0%, 5%, 10% y 15% obtuvieron valores de 386.03 kg/cm², 393.03 kg/cm², 412.03 kg/cm² y 428.00 kg/cm², respectivamente.

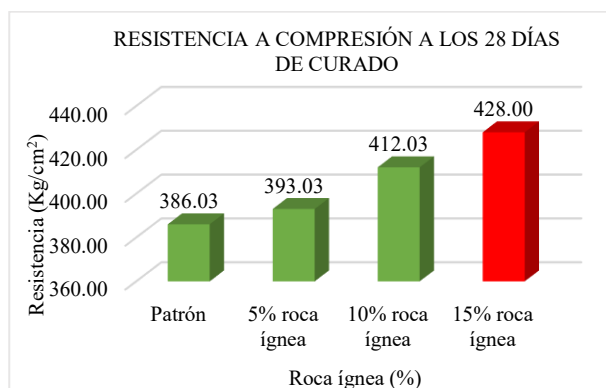


Fig. 5 Comparación de resistencias a compresión (28 días).

La figura 6 muestra los datos obtenidos en los tres tiempos de curado (7, 14 y 28 días), facilitando la comparación del desempeño de las diferentes mezclas.

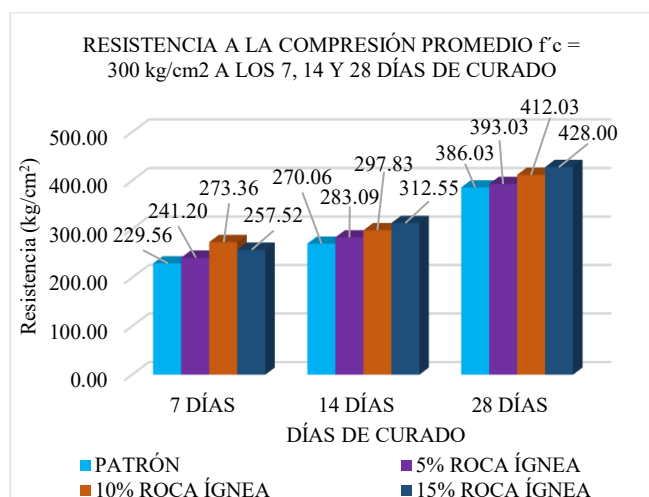


Fig. 6 Comparación general de resistencias a compresión.

Respecto a la resistencia a flexión, los valores promedios obtenidos a los 7 días de curado se encuentran en la tabla IX; se observa que la mezcla con 10% de roca ígnea logró el mayor valor de módulo de rotura (49.29 kg/cm²), frente a los 33.41 kg/cm² del concreto patrón.

Desc.	Muestra	Carga de ruptura (Kg)	Módulo de rotura "Mr" (Kg/cm²)	Mr promedio (Kg/cm²)	Desviación estándar	Variación (%)
Muestra patrón (MP)	M1	1503.00	30.88	33.41	2.07	-
	M2	1758.00	35.95			
	M3	1617.00	33.29			
	M4	1673.00	33.53			
MP + 5% de roca ígnea	M1	1798.00	36.63	38.40	1.44	14.93
	M2	1963.00	40.14			
	M3	1874.00	38.29			
	M4	1904.00	38.54			
MP + 10% de roca ígnea	M1	2517.00	47.88	49.29	1.13	47.51
	M2	2987.00	50.59			
	M3	2709.00	49.10			
	M4	2796.00	49.58			

MP +	M1	2121.00	46.40	46.41	0.01	38.89
15% de roca ígnea	M2	2215.00	46.41			
	M3	2157.00	46.39			
	M4	2188.00	46.42			

*Fuente: Propia

En la figura 7, se muestra un diagrama de la resistencia a flexión a los 7 días; en donde, las vigas con 0%, 5%, 10% y 15% de adición obtuvieron valores de 33.41 kg/cm², 38.40 kg/cm², 49.29 kg/cm² y 46.41 kg/cm², respectivamente.

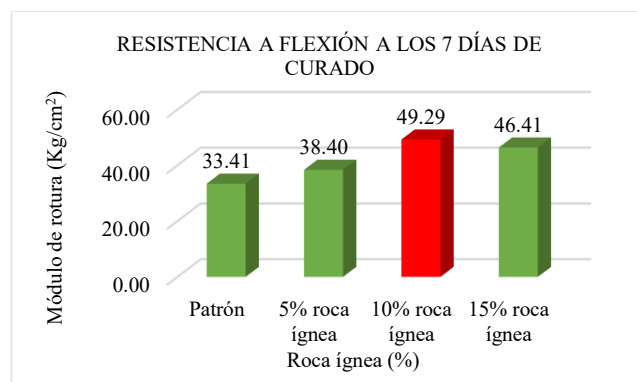


Fig. 7 Comparación de resistencias a flexión (7 días).

A los 14 días, los datos de la tabla X reflejan que la misma proporción de adición (10%) continúa proporcionando el mejor rendimiento a flexión (56.76 kg/cm²).

Desc.	Muestra	Carga de ruptura (Kg)	Módulo de rotura "Mr" (Kg/cm²)	Mr promedio (Kg/cm²)	Desviación estándar	Variación (%)
Muestra patrón (MP)	M1	2249.00	45.00	45.66	1.76	-
	M2	2140.00	46.18			
	M3	2365.00	47.81			
	M4	2041.00	43.66			
MP + 5% de roca ígnea	M1	2319.00	51.14	51.12	2.44	11.96
	M2	2315.00	51.73			
	M3	2514.00	53.75			
	M4	2261.00	47.87			
MP + 10% de roca ígnea	M1	2741.00	55.01	56.76	1.41	24.30
	M2	2934.00	58.45			
	M3	2847.00	56.69			
	M4	2535.00	56.89			
MP + 15% de roca ígnea	M1	2854.00	52.39	52.25	0.86	14.43
	M2	2676.00	52.96			
	M3	2768.00	52.65			
	M4	2516.00	51.01			

*Fuente: Propia

En la figura 8, se presenta una síntesis de la resistencia a flexión a una edad de curado de 14 días, en donde la mezcla con 0%, 5%, 10% y 15% de adición obtuvieron valores de 45.66 kg/cm², 51.12 kg/cm², 56.76 kg/cm² y 52.25 kg/cm², respectivamente.

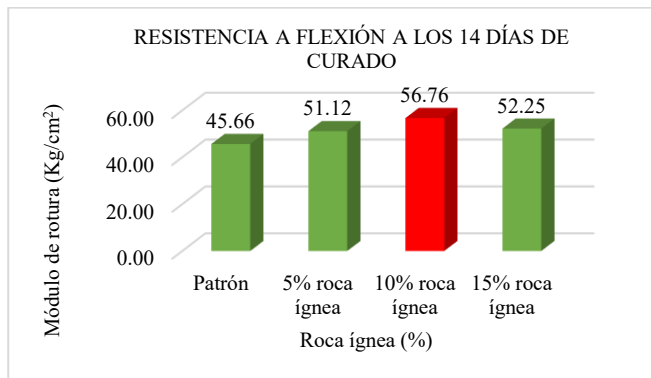


Fig. 8 Comparación de resistencias a flexión (14 días).

En la tabla XI se observa que la tendencia se mantiene también a los 28 días, donde la resistencia más alta (65.89 kg/cm²) vuelve a registrarse con dicha proporción (10%).

Tabla XI
VALORES DE RESISTENCIA A FLEXIÓN OBTENIDOS A LOS 28 DÍAS

Desc.	Muestra	Carga de ruptura (Kg)	Módulo de rotura "Mr" (Kg/cm²)	Mr promedio (Kg/cm²)	Desviación estándar	Variación (%)
Muestra patrón (MP)	M1	2882.00	54.35	54.00	0.30	-
	M2	2413.00	53.87			
	M3	2568.00	54.13			
	M4	2564.00	53.65			
MP + 5% de roca ígnea	M1	2627.00	56.72	59.00	3.93	9.27
	M2	3150.00	64.07			
	M3	2662.00	55.19			
	M4	3016.00	60.03			
MP + 10% de roca ígnea	M1	3238.00	63.16	65.89	2.08	22.03
	M2	3374.00	67.35			
	M3	3331.00	65.41			
	M4	3544.00	67.66			
MP + 15% de roca ígnea	M1	2698.00	56.18	56.50	0.58	4.63
	M2	2815.00	57.37			
	M3	2632.00	56.21			
	M4	2838.00	56.24			

^aFuente: Propia

De igual manera en la figura 9 se sintetiza los "Mr" a una edad de 28 días, en donde se obtuvo valores de 54.00 kg/cm², 59.00 kg/cm², 65.89 kg/cm² y 56.50 kg/cm² para los porcentajes de adición especificados.

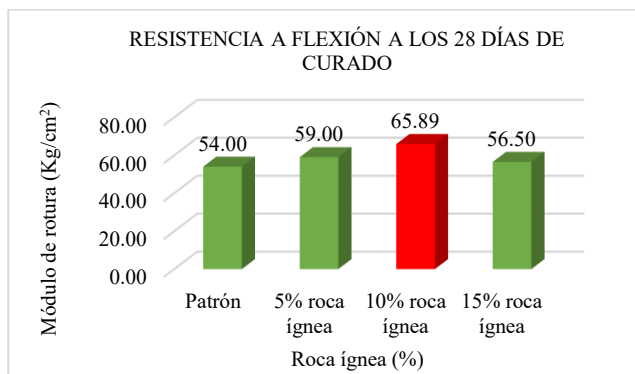


Fig. 9 Comparación de resistencias a flexión (28 días).

Para un análisis más claro, en la figura 10 se plasma una

comparación de las resistencias a flexión obtenidas en las 3 edades de curado (7, 14 y 28 días).

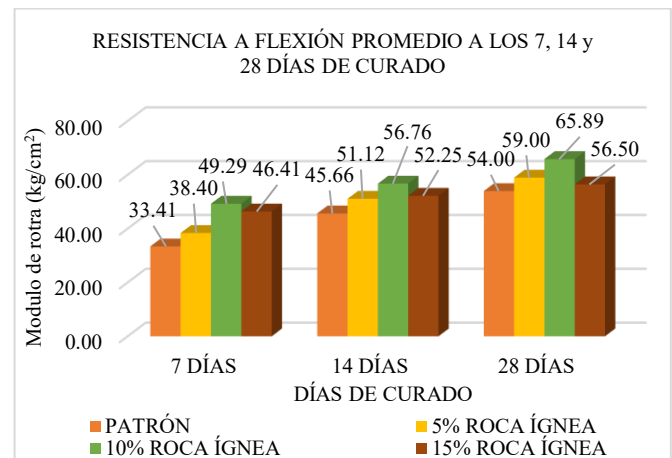


Fig. 10 Comparación general de resistencias a flexión.

En la tabla XII los resultados comparativos de resistencia a compresión y flexión a las edades de 7, 14 y 28 días evidencian una atención creciente. Se contempla mayores incrementos a los 28 días, resaltando como porcentajes óptimos de 15% para compresión y 10% en cuanto a flexión.

Tabla XII
RESULTADOS CUANTITATIVOS COMPARATIVO

Ensayo	Edad	0%	5%	10%	15%
Compresión	7 días	229.56	241.20	273.36	257.52
	14 días	270.06	283.09	297.83	312.55
	28 días	386.03	393.03	412.03	428.00
Flexión	7 días	33.41	38.40	49.29	46.41
	14 días	45.66	51.12	56.76	52.25
	28 días	54.00	59.00	65.89	56.50

^aFuente: Propia

De acuerdo con el análisis ANOVA, planteando como hipótesis en que la incorporación de roca ígnea aumenta o no la resistencia del concreto en porcentajes de 0%, 5%, 10% y 15%.

En las tablas XIII y XIV evidencian que dichos porcentajes de sustitución de roca ígnea tienen una influencia significativa en la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días.

Tabla XIII
RESUMEN ESTADÍSTICO POR PORCENTAJES DE SUSTITUCIÓN - COMPRESIÓN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
0%	4	1544.11	386.03	60.42
5%	4	1572.10	393.03	13.93
10%	4	1648.11	412.03	19.78
15%	4	1712.00	428.00	28.56

^aFuente: Propia

Tabla XIV
ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) DE COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre las muestras	4326.17	3	1442.06	47.02	6.58 E-07	3.49
Dentro de las muestras	368.02	12	30.67			
Total	4694.20	15				

^aFuente: Propia

De igual manera, en las tablas XV y XVI se muestra el análisis de varianza (ANOVA) para los diferentes porcentajes de sustitución de roca ígnea (0%, 5%, 10% y 15%) en la resistencia a flexión de concreto a los 28 días.

TABLA XV

RESUMEN ESTADÍSTICO POR PORCENTAJES DE SUSTITUCIÓN - FLEXIÓN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
0%	4	215.99	54.00	0.09
5%	4	236.01	59.00	15.48
10%	4	263.58	65.89	4.31
15%	4	226.00	56.50	0.34

^aFuente: Propia

TABLA XVI

ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) DE FLEXIÓN A LOS 28 DÍAS						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre las muestras	314.78	3	104.93	20.76	4.84E-05	3.49
Dentro de las muestras	60.66	12	5.06			
Total	375.44	15				

^aFuente: Propia

Conforme a los resultados evidenciados, se observa que incrementa la resistencia del concreto debido al mejoramiento de su microestructura, ya que el material ígneo actúa como relleno, reduciendo vacíos y densificando la matriz cementante, lo que favorece en la resistencia a la compresión.

No obstante, el concreto caracterizado por ser débil frente a esfuerzos de tracción. Los resultados muestran que al incorporar porcentajes excesivos de material fino, la resistencia disminuye debido a la falta de cohesión entre sus componentes, obteniéndose mejores resultados en cuanto compresión.

IV. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que incorporar roca ígnea como reemplazo parcial del agregado fino aumenta considerablemente el desempeño mecánico del concreto $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$. En el ensayo de compresión, se tuvo como porcentaje óptimo del 15%, alcanzando un incremento del 10.87% (428 kg/cm^2) por otro lado, en la resistencia a flexión, con un 10% se logró un aumento del 22.03% (65.89 kg/cm^2) ambos evaluados a los 28 días de curado.

El análisis estadístico (ANOVA) demostró que la sustitución en porcentajes de 0%, 5%, 10 % y 15% influye notablemente en la resistencia del concreto, alcanzando p-valores de 6.58×10^{-7} para compresión y 4.84×10^{-5} para flexión, ambas estimaciones inferiores al 5% de error permitido, facilitando rechazar la hipótesis nula y validar la hipótesis donde la roca ígnea mejora la resistencia del concreto.

La mejora de la resistencia a compresión se atribuye a la densificación de la matriz cementante, debido a que el material ígneo ayuda a rellenar vacíos. Sin embargo, en la resistencia a flexión, en porcentajes elevados, la resistencia disminuye a causa de la pérdida de cohesión entre los materiales por exceso de material fino.

Se realizaron los ensayos físicos a la roca ígnea presentando un módulo de finura de 2.64, peso específico de

2.37 g/cm^3 , absorción de 7.54%, 19.56% de humedad, PUSS de 1765.03 Kg/cm^3 y PUSC de 1978.30 Kg/m^3 .

Se realizó el diseño de mezcla mediante el método ACI 211.1 correspondiente a un concreto de $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$, alcanzando una dosificación final de 1: 1.76 : 2.24 : 17.73.

La roca ígnea, empleada como reemplazo parcial del agregado fino demostró ser una alternativa viable para concretos destinados a obras viales en Cajamarca, al mejorar la resistencia mecánica en porcentajes específicos. Se recomienda evaluar otras propiedades del concreto con roca ígnea, como la resistencia a la tracción y la durabilidad, para ampliar su caracterización.

REFERENCIAS

- [1] M. Refat, A. M. Al-Dahawi, and H. H. Baqir, "Sustainable Concrete Pavement Incorporating RAP and Fly Ash with Self-Sensing Properties," *Salud Ciencia Y Tecnología - Serie De Conferencias*, vol. 3, p. 870, Jan. 2024, doi: 10.56294/sctconf2024870.
- [2] Z. Lyu, A. Shen y W. Meng, "Propiedades, mecanismo y optimización de polímeros superabsorbentes y compuestos cementicios modificados con fibras de basalto", *Construction and Building Materials*, vol. 276, pág. 122212, enero de 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.122212.
- [3] R. Javier, M. Rebolledo, "Índice de materias". Disponible: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcim672d/doc/bmfcim672d.pdf>.
- [4] J. F. P. Quispe, L. C. Flores, L. V. R. Carbajal, and A. L. C. León, "Polymer fibers and natural fibers for vehicular pavement structures in Perú," *European Public & Social Innovation Review*, vol. 9, pp. 1–11, Dec. 2024, doi: 10.31637/epsir-2024-1787.
- [5] C. R. M. Uribe, J. S. Guzmán, and M. A. R. Moreno, "Experimental study of the semicircular bending test for estimating the flexural strength of concrete mixtures for pavements," *Revista Ingeniería De Construcción*, vol. 39, no. 2, pp. 127–139, Aug. 2024, doi: 10.7764/ric.00108.21.
- [6] J. Becerra, "Valoración del estado actual del pavimento rígido por el método pci en la av. Perú cuadra 01 hasta la cuadra 12, distrito de cajamarca, provincia de cajamarca, región cajamarca. 2019' Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú 2021". Disponible: <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/4403/TESIS%20JUAN%20CARLOS%20BECERRA%20S%C3%81NCHEZ.pdf?ssequence=4&isAllowed=y>.
- [7] E. I. T. Portilla and F. A. V. Huayta, "Compressive strength of concrete $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ with addition of 4%, 8% and 12% of diatomite and kaolin," *Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, Jan. 2025, doi: 10.18687/laccei2025.1.1.1515.
- [8] Y. Zhao, D. Goulias, M. Dobiszewska y P. Modrzyński, "Life-cycle sustainability assessment of using rock dust as a partial replacement of fine aggregate and cement in concrete pavements," *Sustainability*, vol. 14, no. 19, p. 12449, 2022, doi: 10.3390/su141912449.
- [9] Aguilar, J. & Vigil, L. (2011). Tipos de rocas. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- [10] C. Miguel y GL Melissa, "Viruta de Acero en la Resistencia a la Compresión y Flexión del Concreto", *Ucv.edu.pe*, 2019, doi: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/37450>.
- [11] D. V. Cruz et al., "Efeito da adição da casca de arroz nas propriedades físicas e mecânicas de blocos de concreto para pavimento," *Matéria (Rio De Janeiro)*, Jan. 2025, doi: 10.1590/1517-7076-rmat-2024-0620.
- [12] National Ready Mixed Concrete Association (2016), "El hormigón en la práctica (CIP)", *NRMCA*. <https://www.nrmca.org/association-resources/research-and-engineering/cip/>.
- [13] L. D. A. Pajares, L. E. S. Idrogo, and O. A. Aliaga, "Compressive Strength of Concrete $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ with Coarse Aggregate Substitution at 20%, 25%, and 30% Using Recycled Concrete," *Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, Jan. 2025, doi: 10.18687/laccei2025.1.1.960.
- [14] K. Caballero, "Propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras metálicas", *Prisma Tecnológico*, vol. 8, núm. 1, págs. 18 a 23, 2017, consultado: 23 de abril de 2026. [En línea]. Disponible: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/1527>.