

Analysis of the concrete $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, adding calcite stone as a biological additive in percentages of 1%, 2% and 3%.

Guevara Mego Jose Anderson, Ing.¹ ; Guevara Estela Dilmer, Ing.² ; and Carranza Liza Mario Rene, Ing.³ 

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca- Perú, N00181990@upn.pe

² Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca- Perú, N00183060@upn.pe

³ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca- Perú, mario.carranza@upn.edu.pe

Abstract—Our study aimed to use calcite as a natural additive to optimize the axial compressive strength of concrete with a resistance of $f'c 210 \text{ kg/cm}^2$ by incorporating crushed calcite stone in proportions of 1%, 2%, and 3% relative to the cement weight. The design was experimental with a quantitative approach, using a sample of 36 standard cylindrical specimens. Data was obtained from the concrete laboratory formats at Universidad Privada del Norte - Cajamarca campus (UPN), where both aggregate and concrete laboratory tests were conducted. For result analysis, direct observation and laboratory protocols provided by UPN were used. The results were evaluated based on the average axial compressive strength at 7, 14, and 28 days, revealing that the most effective addition was 3%, improving concrete strength by 7.92% after 28 days of curing. The additions of 1% and 2% crushed calcite stone increased strength by 0.53% and 5.86%, respectively.

Keywords— Compressive strength, concrete, calcite.

Análisis de la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, adicionando piedra calcita como aditivo biológico en porcentajes de 1%, 2% y 3%

Guevara Mego Jose Anderson, Ing.¹; Guevara Estela Dilmer, Ing.²; and Carranza Liza Mario Rene, Ing.³

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca- Perú, N00181990@upn.pe

² Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca- Perú, N00183060@upn.pe

³ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca- Perú, mario.carranza@upn.edu.pe

Resumen— El propósito de nuestro estudio fue utilizar a la calcita como aditivo natural para optimizar la resistencia a la compresión axial del concreto con una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, mediante la incorporación de piedra calcita triturada en proporciones del 1%, 2% y 3% en relación al peso del cemento. El diseño empleado fue experimental con un enfoque cuantitativo, utilizando una muestra de 36 probetas cilíndricas estándar. Los datos se obtuvieron a través de los formatos del laboratorio de concreto de la Universidad Privada del Norte - sede Cajamarca (UPN), donde se realizaron las pruebas de laboratorio tanto de los agregados como del concreto. Para el análisis de los resultados, se empleó la observación directa, protocolos de laboratorio proporcionados por la UPN. Los resultados se evaluaron en función de la resistencia a la compresión axial promedio a los 7, 14 y 28 días, revelando que la adición más efectiva fue la del 3%, mejorando la resistencia del concreto en un 7.92% después de 28 días de curado. Las adiciones de 1% y 2% de piedra calcita triturada aumentaron la resistencia en un 0.53% y 5.86%, respectivamente.

Palabras Clave: Resistencia a la compresión, concreto, calcita.

I. INTRODUCCIÓN

El concreto armado a nivel mundial se ve afectado por diversos tipos de daños, especialmente debido a la humedad y los agentes contaminantes. En Perú, [1] destaca la humedad como un factor clave en la corrosión del acero. La reacción entre la humedad y el CO_2 reduce el pH del concreto, causando carbonatación y corrosión. Para mitigar estos problemas, se ha incrementado el uso de aditivos en el concreto peruano. Estos aditivos mejoran propiedades como la trabajabilidad y la resistencia, contribuyendo a una mayor durabilidad de las estructuras de concreto.

[2] sugiere que, para proteger las edificaciones de la humedad, especialmente en cimientos superficiales afectados por el nivel freático, es fundamental combinar diversas técnicas constructivas. Una solución efectiva es el uso de aditivos líquidos de poliuretano. Estos aditivos, al aplicarse en capas sobre el concreto, crean una barrera impermeable que mejora la estabilidad de las cimentaciones y protege las estructuras de la humedad.

La investigación internacional ha demostrado que la adición de aditivos minerales como la calcita, puede mejorar significativamente la resistencia a la compresión del concreto. Estudios como los de [3] y [4] han evidenciado que la incorporación de calcita reduce la porosidad del material y

aumenta su resistencia. Además, investigaciones en la India, realizadas por [5] y [6], han explorado el potencial de la biomineralización, utilizando bacterias como el *Bacillus subtilis* para inducir la precipitación de calcita y sellar microfisuras en el concreto. Estos estudios sugieren que la biomineralización puede ser una alternativa prometedora para desarrollar materiales de construcción más sostenibles y duraderos.

En Perú, la investigación en materiales de construcción se ha enfocado en la utilización de recursos locales para mejorar la sostenibilidad y el desempeño del concreto. Estudios como los de [7] han demostrado que la adición de calcita puede aumentar significativamente la resistencia y durabilidad del concreto. Además, investigaciones como las de [8], así como los trabajos realizados en la Universidad Mayor de San Marcos, (UNMSM) han explorado el potencial de la biomineralización, utilizando bacterias como el *Bacillus pseudofirmus* y *Sporosarcina pasteurii* para inducir la precipitación de calcita y mejorar las propiedades mecánicas del concreto. Estos hallazgos sugieren que la utilización de materiales locales y técnicas de biomineralización puede ofrecer una alternativa sostenible y eficiente para la construcción en Perú.

En Cajamarca, la investigación sobre el uso de materiales locales en la construcción ha cobrado relevancia en los últimos años. Estudios como los de [9] han demostrado el potencial de la calcita local para mejorar las propiedades del concreto, aumentando su resistencia y reduciendo su permeabilidad. Por otro lado, investigaciones como las de [10] y [11] han explorado el uso de materiales orgánicos como la cáscara de café, la ceniza y el polvo de madera como aditivos para el concreto. Aunque los resultados han sido variados, estos estudios sugieren que la incorporación de materiales locales puede ofrecer alternativas más sostenibles y económicas para la construcción en la región. Sin embargo, se requieren investigaciones adicionales para optimizar las proporciones de estos aditivos y evaluar su comportamiento a largo plazo.

Este estudio se enfocó en explorar nuevas alternativas para mejorar las propiedades del concreto en el contexto de la construcción peruana. Al evaluar el impacto de los aditivos en la resistencia y durabilidad del concreto, se buscó promover el uso de materiales y técnicas constructivas más eficientes y sostenibles. Los resultados de esta investigación podrían contribuir a reducir costos, aumentar la seguridad de las

edificaciones y promover el desarrollo de una industria de la construcción más innovadora.

Finalmente, nuestra investigación tiene un aporte social, el cual contribuirá con los conocimientos adquiridos con respecto a la variable de estudio, es por ello que se realizó el diseño de mezcla con materiales propios de la zona.

En tal sentido, nos hacemos la siguiente pregunta, ¿De qué manera la adición de calcita en el 1%, 2% y 3% mejora la resistencia a la compresión axial del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$?

Para resolver la pregunta anterior nos planteamos como objetivo general: Determinar la influencia de la calcita adicionada en 1%, 2% y 3% a la resistencia a compresión axial del concreto. Como objetivos específicos: a) Ejecutar ensayos de materiales para determinar las propiedades de los agregados y de la calcita; b) Determinar la resistencia a la compresión del concreto patrón de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ de acuerdo a la norma ASTM C39-18; c) Determinar la resistencia a la compresión del concreto con adición del 1%, 2% y 3% de calcita de acuerdo a la norma ASTM C39-18.

Siendo nuestra hipótesis la siguiente: Al adicionar porcentajes del 1%, 2% y 3% de aditivo (piedra calcita), el análisis del comportamiento del concreto permitirá obtener una mayor resistencia a la compresión axial de este.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio adoptó un enfoque cuantitativo y experimental, siguiendo los lineamientos de autores [12], [13], [14] y [15]. A través de la experimentación controlada, se buscó recolectar datos numéricos que permitieron verificar la hipótesis y contrastar resultados. Este enfoque permitió obtener evidencias empíricas sólidas para analizar las variables de estudio y establecer relaciones causales.

Tomando en cuenta la Norma Peruana E.060, se emplearon 36 probetas cilíndricas de concreto (número mínimo considerado por la Normas Técnicas Peruanas (NTP) y esto debido a limitaciones en el laboratorio de UPN) para evaluar el efecto de tres diferentes porcentajes de aditivo de calcita (1%, 2% y 3%) distribuidos de acuerdo a la **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

TABLA I

DISTRIBUCIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN A 7, 14 Y 28 DÍAS DE CURADO.

	Resistencia a la compresión			Total
	7 días	14 días	28 días	
Patrón (0%)	3	3	3	36
Calcita (1%)	3	3	3	
Calcita (2%)	3	3	3	
Calcita (3%)	3	3	3	

Tipo de muestreo: Dada la ausencia de un protocolo específico para definir la cantidad de muestras cilíndricas en laboratorio de UPN, se optó por un muestreo no probabilístico, guiado por la experiencia y los estudios previos. Esta decisión

se tomó por conveniencia, ya que no existían reglas establecidas para este tipo de muestras.

Para garantizar la rigurosidad y la comparabilidad de los resultados, la metodología se basó en un marco normativo sólido. Se emplearon las NTP vigentes, principalmente aquellas relacionadas con la caracterización de agregados (NTP 400.010 a NTP 400.022) y el diseño de mezclas de concreto (NTP 339.33, NTP 339.35, NTP 339.37). Estas normas, alineadas con los estándares ASTM (American Society for Testing and Materials), permitieron evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales utilizados y asegurar el cumplimiento de los requisitos de calidad establecidos. En particular, la NTP 400.012 (Análisis granulométrico) fue útil para determinar la distribución de tamaños de las partículas de los agregados, mientras que la NTP 339.33 permitió evaluar la resistencia a la compresión del concreto.

Respecto a los materiales utilizados:

- (a) Los agregados fino y grueso de río, obtenidos de la cantera “Juan Sin Miedo E.I.R.L” de la provincia de Cajamarca.



Fig. 1 Ubicación de la cantera. UTM Este 775221.93 m, Norte 9209317.87 m, Cota 2750 m.s.n.m (Z-17s D: WGS84).

- (b) La calcita se extrajo de una cantera sin nombre ubicada en el distrito Ninabamba, provincia de Santa Cruz.

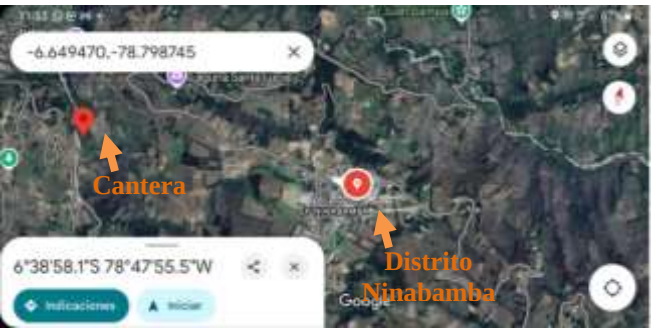


Fig. 2 Ubicación de la cantera. UTM Este 743366.44 m, Norte 9264459.19 m, Cota 2175 m.s.n.m (Z-17s D: WGS84).

- (c) Se eligió el cemento portland TIPO I (Pacasmayo) en su presentación de 42,5 kg.

Como técnica de recolección de datos: se empleó la observación directa mediante ensayos de compresión axial para evaluar las propiedades del concreto. Los procedimientos según

los protocolos establecidos por la universidad. Además, se complementó la investigación con una revisión bibliográfica sobre aditivos biológicos que puedan mejorar las características del concreto.

Los instrumentos de recolección de datos fueron: se empleó una rigurosa metodología, siguiendo los estándares ASTM y utilizando equipos proporcionados por el laboratorio de concreto de la UPN. Se realizaron ensayos para caracterizar los agregados (contenido de humedad, granulometría, gravedad específica y absorción) y el concreto fresco (asentamiento). La resistencia a la compresión se evaluó en especímenes cilíndricos.

Técnicas e instrumentos de análisis de datos: Se aplicó estadística experimental, siguiendo las normas ASTM, NTP y MTC, para analizar los datos obtenidos en los ensayos. Se utilizaron diversos instrumentos y software (Excel) para procesar la información. Los resultados se presentaron en tablas y gráficos, permitiendo comparar los valores obtenidos en diferentes pruebas, como resistencia, absorción y tiempo de curado, el flujograma de pasos lo plasmamos en la Fig. 3.



Fig. 3 Flujograma de procedimiento de recolección de datos.

Procedimiento de tratamiento y análisis de datos: Para determinar si existían diferencias significativas en la resistencia a la compresión entre las mezclas de concreto, se realizó una prueba t de Student. Previo a ello, se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Los datos fueron analizados utilizando Excel y se compararon con las especificaciones de las normas E 060 y NTP 339.033.

La piedra calcita fue sometida a un proceso de molienda manual para reducir su tamaño y facilitar su integración en la mezcla. Posteriormente, se añadió junto con los agregados antes de la incorporación del cemento, asegurando una distribución uniforme del aditivo en la composición del concreto. El mezclado se llevó a cabo en una mezcladora de concreto eléctrica, permitiendo una homogeneización adecuada de los materiales y optimizando la integración de la calcita en la matriz cementicia.

Se considerado el tipo de fractura de cada uno de los especímenes sometidos al ensayo de resistencia a compresión, teniendo en cuenta el inciso 10.1.8 -Tipo de fractura- de la NTP 339.034-2021.

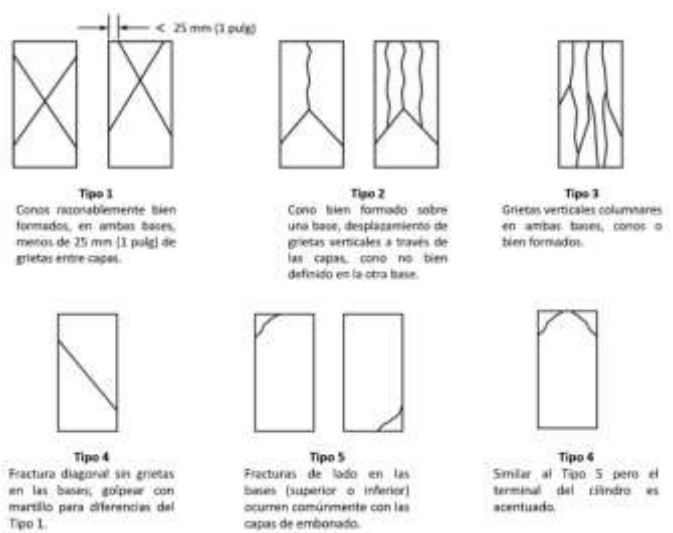


Fig. 4 Tipo de fractura

III. RESULTADOS

Los resultados de la investigación, según el objetivo general y los específicos fueron:

Objetivo específico (a) se muestran los resultados que corresponden a los ensayos de granulometría y diseño de mezcla, realizados en el laboratorio de suelos, concreto y pavimento de la UPN.

TABLA II
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

Tamiz (pulg)	Tamiz (mm)	Pes. Ret. (gr)	% Reten.	% Reten. acumulado	% Pas. Acum.	Limites (NTP 400.037)	
						Mínimo	Máximo
2 ½"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00		
1 ½"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1"	25.00	299.10	5.91	5.91	94.09	90.00	100.00
¾"	19.00	2222.70	43.92	49.83	50.17	40.00	85.00
½"	12.50	1505.70	29.76	79.59	20.41	10.00	40.00
3/8"	9.50	511.90	10.12	89.71	10.29	0.00	15.00
Nº 4	4.80	393.70	7.78	97.49	2.51	0.00	5.00
Bandeja	-	127.20	2.51	100.00	0.00		
Total		5060.30					
TMN				1"			
MF				7.37			

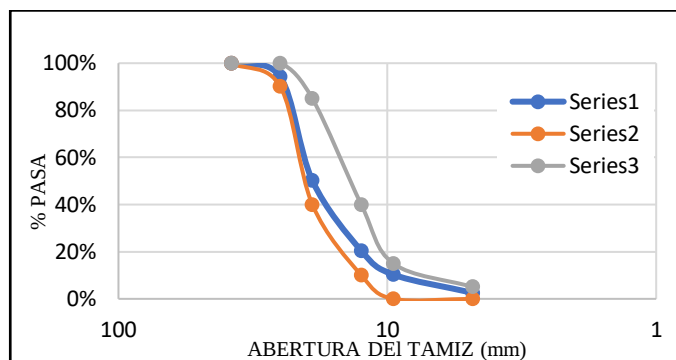


Fig. 5 Curva granulométrica del agregado grueso

TABLA III

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

Tamiz (pulg)	(mm)	Pes. Ret. (gr)	% Reten.	% Reten. acumul ado	% Pas. Acum.	Límites (NTP 400.037)	
						Mínimo	Máximo
N° 4	4.75	65.80	3.34	4.34	95.66	95.00	100.00
N° 8	2.36	224.00	14.78	19.13	80.87	80.00	100.00
N° 16	1.18	237.40	15.67	34.80	65.20	50.00	85.00
N° 30	0.60	326.30	21.54	56.34	43.66	25.00	60.00
N° 50	0.30	406.40	26.83	83.17	16.83	10.00	30.00
N° 100	0.15	165.40	10.92	94.09	5.91	02.00	10.00
N° 200	0.008	60.90	4.55	98.64	1.36	0.00	3.00
Bandeja	-	20.60	1.36	100.00	0.00		
Total			1514.80				
MF			2.9				

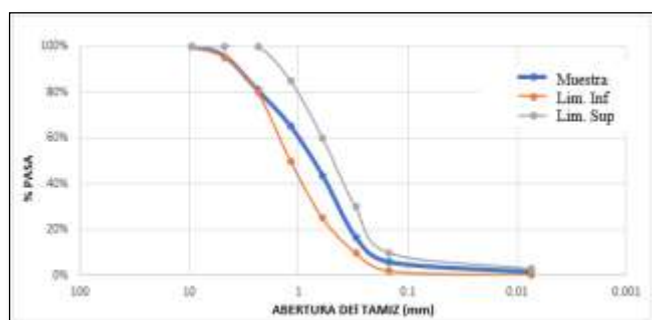


Fig. 6 Curva granulométrica del agregado fino

Después de llevar a cabo los ensayos en el laboratorio de concreto de la UPN, tanto para el agregado grueso como para el agregado fino, se obtuvieron los resultados que se presentan en la Tabla IV.

TABLA IV

RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS AL AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO

Propiedad de los agregados	Agregado Fino	Agregado Grueso
Peso unitario suelto (kg/m^3)	1705.19	1467.41
Peso unitario compactado (kg/m^3)	1793.33	1590.37
Peso específico (kg/m^3)	2687.33	2661.34
Módulo de fineza	2.92	7.37
TMN (tamaño máximo nominal)		1"
% abs (porcentaje de absorción)	3.28	1.20
% w (contenido de humedad)	6.47	0.16

El diseño de mezcla elegido para la elaboración de especímenes de concreto fue el Método ACI 211, evidenciándose las siguientes proporciones: que para una bolsa de cemento (42.5 kg) se requiere 101.06 kg de agregado fino, 128.90 kg de agregado grueso y 21.85 l de agua; las proporciones de la calcita son presentadas en la Tabla V.

TABLA V

PROPORCIONES EN PESO DE LA CALCITA PARA LAS ADICIONES DE 1%, 2% Y 3%.

Descripción	Características		
	Peso espsf.	Dosis de diseño	% para uso
Piedra calcita	2.79 gr/cm^3	0.43 kg/bls	1%
Piedra calcita	2.79 gr/cm^3	0.85 kg/bls	2%
Piedra calcita	2.79 gr/cm^3	1.28 kg/bls	3%

Según los objetivos específicos (b) y (c) se presentan los resultados de los ensayos a compresión a los 7, 14 y 28 días.

TABLA VI

RESISTENCIA A COMPRESIÓN $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ A LOS 7, 14 Y 28 DÍAS

Resultados del ensayo de resistencia a la compresión			
Identificación	Edad (días)	Carga última prom. (kg)	Resistencia Máxima (kg/cm^2)
Patrón	7	40535.33	228.91
Aditivo 1%	7	40389.67	227.90
Aditivo 2%	7	40034.33	226.47
Aditivo 3%	7	42003.00	235.18
Patrón	14	44994.00	263.46
Aditivo 1%	14	48474.33	275.16
Aditivo 2%	14	51392.33	292.37
Aditivo 3%	14	54431.00	310.91
Patrón	28	53996.54	304.92
Aditivo 1%	28	53507.46	306.45
Aditivo 2%	28	56978.25	322.14
Aditivo 3%	28	57256.71	328.18

La variación de las resistencias de los especímenes de concreto elaborados, se representan gráficamente en las Fig. 7, 8 y 9.



Fig. 7 Gráfico comparativo entre las muestras analizadas a los 7 días de curado.



Fig. 8 Gráfico comparativo entre las muestras analizadas a los 14 días de curado.



Fig. 9 Gráfico comparativo entre las muestras analizadas a los 28 días de curado.

El proceso de curado se realizó en intervalos de 7, 14 y 28 días para garantizar una adecuada hidratación del cemento y el desarrollo óptimo de la resistencia a la compresión del concreto. Durante este período, se controló la humedad y la temperatura para evitar fisuras prematuras y favorecer la formación de productos cementantes que mejoran la cohesión de la matriz. A medida que avanzó el curado, se observó una progresiva mejora en la resistencia mecánica, evidenciando la importancia de un tratamiento adecuado para optimizar las propiedades estructurales del material.



Fig. 10 Autores realizando el ensayo de compresión axial del concreto en el laboratorio de UPN.

TABLA VII		
DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y COEFICIENTE DE VARIANZA		
Grupo	Desviación estándar (S)	Coefficiente de varianza
7 días	3.17	1.38%
14 días	17.90	6.27%
28 días	9.93	3.15%

En el análisis estadístico de los datos, se obtuvieron desviaciones estándar de 3.17, 17.90 y 9.93. Complementariamente, los coeficientes de variación respectivos fueron de 1.38%, 6.27% y 3.15%, como se muestra en la Tabla VII. Estos resultados indican una dispersión baja a moderada en relación con la media de cada grupo. Cabe destacar que coeficientes de variación menores al 10% son indicativos de una aceptable homogeneidad en los datos.

TABLA VIII					
ANÁLISIS DE COSTO BENEFICIO POR PROBETA ENTRE EL CONCRETO 210 kg/cm² ADICIONANDO 3% DE ADITIVO Y EL CONCRETO 240 kg/cm²					
Materiales	210 kg/cm²	240 kg/cm²	Costo por kg o lt	Costo 210 kg/cm²	Costo 240 kg/cm²
Cemento (kg)	1.83	1.98	0.82	1.51	1.63
Aditivo calcita al 3% (kg)	0.05	-	0.5	0.03	-
A fino (kg)	4.30	4.22	0.22	0.96	0.94
A grueso (kg)	5.56	5.56	0.22	1.24	1.24
Agua (lt)	0.94	0.95	0.0014	0.0013	0.0014
Costo total por probeta S/				3.73	3.81

Se realizó un análisis de costo-beneficio entre el concreto de 210 kg/cm² con adición de 3% de piedra calcita y el concreto de 240 kg/cm² convencional, sin aditivos. Los resultados, presentados en la Tabla VIII, muestran que el concreto modificado tuvo un costo de S/ 3.73 por probeta, mientras que el concreto convencional registró un costo de S/ 3.81 por probeta. Estos datos evidencian que la incorporación de piedra calcita permite optimizar los costos de producción, obteniendo un material más económico en comparación con el concreto de mayor resistencia sin adiciones, sin afectar el medio ambiente.

IV. DISCUSIÓN

El estudio evaluó la influencia de la piedra calcita triturada en la resistencia a la compresión del concreto a los 7, 14 y 28 días. Los resultados mostraron que la adición del 3% de calcita generó un aumento significativo en la resistencia a los 28 días, alcanzando los 328.18 kg/cm². A los 7 y 14 días, también se observó un incremento en la resistencia, aunque en menor proporción. Estos hallazgos sugieren que la calcita actúa como un agente de relleno y mejora la cohesión de la matriz cementante, contribuyendo a un aumento gradual de la resistencia con el tiempo.

[5] demostraron que la adición de lactato de calcio al 5% puede mejorar significativamente la resistencia a la compresión del concreto. En nuestro estudio, evaluamos el efecto de la piedra calcita triturada y observamos un comportamiento similar, aunque con un porcentaje de adición óptimo del 3%. Si bien ambos aditivos mostraron potencial para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, los mecanismos de endurecimiento y las implicaciones para otras propiedades del concreto podrían variar.

La investigación sobre aditivos para mejorar las propiedades del concreto ha cobrado relevancia en los últimos años. Estudios previos, como el de [8] han demostrado el potencial de las bacterias para conferir propiedades autorregenerativas al concreto. En este estudio, se evaluó el efecto de la adición de piedra calcita triturada en la resistencia a la compresión. Los resultados obtenidos indican que ambos aditivos, bacterias y calcita, pueden mejorar significativamente las propiedades mecánicas del concreto, aunque a través de mecanismos diferentes. La piedra calcita, al actuar como un relleno activo, contribuye a un aumento gradual de la resistencia con el tiempo, mientras que las bacterias ofrecen una capacidad de autorreparación única. Estos hallazgos abren nuevas perspectivas para el desarrollo de concretos más sostenibles y duraderos, adaptándose a las demandas de la construcción moderna.

Estudios previos, como el de [17], han demostrado que la adición de materiales pozólicos como la puzolana volcánica puede mejorar las propiedades del concreto. Nuestro estudio se centró en evaluar el efecto de la piedra calcita triturada y los resultados obtenidos son consistentes con los hallazgos de [17]. Si bien ambos materiales mostraron un aumento en la resistencia a la compresión, el porcentaje óptimo de adición y los mecanismos de endurecimiento pueden variar. Estos

resultados subrayan el potencial de los materiales pozólicos para mejorar el desempeño del concreto y contribuir a una construcción más sostenible.

Si bien, tanto la piedra calcita triturada como el polvo de madera reciclado se han propuesto como alternativas para modificar las propiedades del concreto, los resultados de estos estudios muestran comportamientos distintos. Mientras que la calcita mejora la resistencia, el polvo de madera, según [11], la disminuye. Esto sugiere que el tipo de aditivo y su dosificación son factores críticos a considerar en el diseño de mezclas de concreto.

La investigación sobre aditivos para mejorar las propiedades del concreto ha cobrado relevancia en los últimos años. Estudios previos, como el de [10], han explorado el efecto de residuos orgánicos como la cascarilla y ceniza de café. Nuestro estudio, por su parte, se centró en la piedra calcita triturada. Si bien Rodríguez encontró que la cascarilla de café disminuye la resistencia, nuestros resultados muestran que la piedra calcita, al igual que la ceniza de café en algunos casos, mejora significativamente la resistencia a la compresión. Estos hallazgos subrayan la importancia de seleccionar cuidadosamente el tipo de aditivo y su dosificación para optimizar el desempeño del concreto.

El concreto de 210 kg/cm² con aditivo ha demostrado una mejora significativa en su resistencia, alcanzando 328.18 kg/cm², superando al concreto de 240 kg/cm² sin aditivo, cuya resistencia requerida es 324 kg/cm². Esto indica que el uso de aditivos no solo optimiza la trabajabilidad y durabilidad, sino que también permite obtener una resistencia superior sin incrementar significativamente los costos. Aunque el concreto de 240 kg/cm² no incluye aditivos, su costo es ligeramente mayor, lo que refuerza la eficiencia del concreto de 210 kg/cm² como una alternativa más rentable. En términos de costo-beneficio, la incorporación de aditivos permite mantener una mejor calidad estructural y operativa, asegurando una mayor estabilidad sin comprometer la economía del proyecto.

La variabilidad en los resultados de resistencia a la compresión del concreto con piedra calcita es un factor clave para determinar su viabilidad como aditivo. Las diferencias observadas pueden deberse a la homogeneidad de la mezcla, la precisión en la dosificación, las condiciones de curado y la metodología de ensayo. Si la dispersión de los datos es baja, se puede considerar que la incorporación de calcita mantiene estabilidad estructural y es confiable para su aplicación en la industria. Por el contrario, una alta variabilidad sugiere la necesidad de mejorar los procesos de mezcla y control de calidad para reducir inconsistencias. Comparar estos resultados con los del concreto convencional permitirá evaluar si el uso de calcita aporta ventajas significativas sin comprometer la uniformidad del material. En términos industriales, garantizar una variabilidad controlada es fundamental para la implementación de cualquier modificación en la composición del concreto.

La disponibilidad de la piedra calcita constituye un factor relevante en el análisis de su incorporación como aditivo en la

elaboración de concretos. La calcita, al ser uno de los minerales más abundantes en la corteza terrestre, presenta una alta disponibilidad en diversas regiones, lo que facilita su extracción y comercialización a costos accesibles. En el contexto local, se identifican yacimientos de calcita en zonas cercanas a la región de Cajamarca, permitiendo un acceso sencillo y económico a este recurso sin alterar el medio ambiente.

La presente investigación se enfrentó a diversas limitaciones que podrían haber influido en los resultados obtenidos, la precisión y la generalización de los mismos. En el laboratorio de UPN el espacio es reducido, por lo cual no se pudo atender cabalmente a los trabajos de investigación y el desarrollo en los cursos afines, además no cuenta con algunos equipos y en otros casos por el número limitado de los mismos.

En el proceso de molienda de la piedra calcita no se contó con trituradora de piedra, se realizó manualmente. Así mismo, para el curado de las probetas se improvisó una tina colocándola a la intemperie (fuera del laboratorio) en nuestra ciudad por las noches en la época en que se desarrolló el estudio hubo pronunciados cambios de temperatura. Sólo se elaboraron 36 probetas cumpliendo con el número mínimo permitido por las NTP. Además, la falta de estandarización en los procedimientos de ensayo. La escasez de información bibliográfica.

Este proyecto tiene una implicancia directa en la industria de la construcción, ya que busca optimizar el desempeño del concreto mediante la adición de piedra calcita triturada sin afectar el medio ambiente. Los ensayos realizados revelan un incremento notable en la resistencia a la compresión, lo que sugiere un potencial significativo para mejorar la durabilidad y eficiencia de las estructuras.

V. CONCLUSIONES

En concordancia con el objetivo específico (a) se concluye que los agregados utilizados cumplen con las especificaciones de las normas ASTM. El agregado grueso, con un TMN de 1" y un MF de 7.37, y el agregado fino, con un MF de 2.9, presentan una granulometría adecuada. Asimismo, los valores de absorción, que fueron de 1.20% para el agregado grueso y 3.28% para el fino, indican una buena calidad de los materiales. La calcita, con un peso específico de 2.79 g/cm³, se presenta como un aditivo potencial para mejorar las propiedades del concreto.

Respecto al objetivo específico (b) se diseñó una mezcla de concreto de $f'c=210$ kg/cm² siguiendo el método ACI 211. de los resultados obtenidos del ensayo a compresión del concreto patrón, se determinó que a los 7 días desarrolló una resistencia promedio de 228.91 kg/cm², a los 14 días se obtuvo una resistencia de 263.46 kg/cm² y a los 28 días de curado la resistencia fue de 304.92 kg/cm². Para lograr estos valores, se determinaron las proporciones óptimas de los materiales: por cada 42.5 kg de cemento se utilizaron 101.06 kg de agregado fino, 128.90 kg de agregado grueso, 1.28 kg de piedra calcita y 21.85 l de agua.

En relación al objetivo específico (c) se obtuvieron los siguientes resultados:

1. Para la adición del 1% se pudo observar que la resistencia aumenta de acuerdo a los días de curado con respecto al concreto patrón, a los 7 días de curado desarrolló una resistencia promedio de 227.90 kg/cm², a los 14 días desarrolló una resistencia de 275.16 kg/cm² y a los 28 días desarrolló una resistencia de 306.45 kg/cm².
2. Al 2%, la resistencia aumenta considerablemente, a los 7 días se obtuvo una resistencia promedio de 226.47 kg/cm², a los 14 días desarrolló una resistencia de 292.37 kg/cm² y a los 28 días la resistencia fue de 322.14 kg/cm².
3. Y por último al adicionar el 3% se obtuvo resultados muy favorables, a los 7 días desarrolló una resistencia promedio de 235.18 kg/cm², a los 14 días la resistencia obtenida fue de 310.91 kg/cm² y a los 28 días desarrolló una resistencia de 328.18 kg/cm².

Los resultados mostraron que la adición de calcita tuvo un impacto positivo en la resistencia a la compresión del concreto, especialmente a edades de curado más avanzadas (14 y 28 días). A los 28 días, las mezclas con 2% y 3% de calcita presentaron incrementos significativos en la resistencia a la compresión de hasta un 7.92% en comparación con la mezcla de referencia. Estos hallazgos sugieren que el uso de calcita como aditivo puede ser una alternativa viable para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. Se sugiere que haya estudios complementarios adicionando porcentajes del 4%, 5% y 6% para determinar si hay porcentajes más favorables al obtenido y así concluir que se llegó la óptima adición de la calcita.

Finalmente, Se propone el uso de piedra calcita triturada como aditivo natural en mezclas de concreto para mejorar su resistencia a la compresión. Se sugiere una proporción del 3% en relación al peso del cemento. Sin embargo, se advierte sobre la fragilidad de los especímenes de concreto durante las primeras 24 horas de curado y la importancia de manipularlos con cuidado para evitar daños. Para futuras investigaciones, se recomienda utilizar una máquina trituradora de piedra calcita para garantizar la consistencia del tamaño de las partículas y optimizar el proceso.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Privada del Norte – Sede Cajamarca, por el apoyo brindado al permitirnos emplear sus laboratorios de Mecánica de Suelos y Concreto.

REFERENCIAS

- [1] Sudario Salazar, R. (2018). Evaluación de la incorporación del aditivo sikacem impermeable en un concreto $f'c= 280$ kg/cm² elaborado con cemento tipo I Ventanilla 2018. (Tesis para obtener el título profesional de ingeniería civil). Universidad César Vallejos, Lima, Perú.
- [2] Rodríguez Araujo, A. M. (2021). Aplicación de poliuretano líquido en la impermeabilización de cimentaciones superficiales para edificaciones en zonas con presencia de nivel freático - Lima. (tesis de pregrado). Univercidad César Vallejo, Lima, Perú.

- [3] Smith, J., Brown, L., & Williams, R. (2018). Enhancing Concrete Compressive Strength through Calcite Addition: An Experimental Study (Vol. 3). *Journal of Materials in Civil Engineering*.
- [4] Müller, H., & Schmidt, P. (2019). Porosity Reduction and Compressive Strength Improvement in Concrete through Calcite Inclusion. *Construction and Building Materials Journal*.
- [5] Manikandan, A., & Padmavathi, A. (2015). An Experimental Investigation on Improvement of Concrete Serviceability by using Bacterial Mineral Precipitation. II. https://www.researchgate.net/publication/314141609_Bacterial_concrete_A_review
- [6] Rao, M. S., Reddy, V., & Sasikala, C. (2017). Performance of Microbial Concrete Developed Using *Bacillus Subtilis* JC3. *SpringerLink*, 501-510. <https://doi.org/10.1007/s40030-017-0227-x>
- [7] Gómez, R., & Rodríguez, P. (2021). Efectos de la adición de piedra triturada de calcita en la resistencia y durabilidad del concreto (Vol. 3). *Revista Peruana de Materiales de Construcción*.
- [8] Ponce de León, C., Huamani, S., & Sánchez, E. (2015). Los beneficios del uso de bacterias en el concreto autorregenerante. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/article/view/16153>
- [9] Chávez, L., Salazar, J., & Díaz, F. (2022). Uso de materiales locales en la mejora de propiedades mecánicas del concreto en Cajamarca. *Boletín Técnico de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca*.
- [10] Rodríguez, N. (Enero de 2017). Diseño de concreto $f'_c=250 \text{ kg/cm}^2$ reforzado con cascarilla de café en la ciudad de Jaén. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/2567>
- [11] Alvarez, T. (2022). Estudio de resistencia a la compresión del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, con la adición de polvo de madera reciclado y aditivo reductor de agua, Cajamarca 2021. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. <https://hdl.handle.net/11537/32046>
- [12] Cerón, A., Perea, M., & Figueroa, J. (2020). Métodos empíricos de la investigación. https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/icea/asignatura/mercaderia/2020/metodos-empiricos.pdf
- [13] Sarasola, J. (2022). Análisis empírico. <https://gizapedia.org/analisis-empirico>
- [14] Arias, E. (2022). Investigación experimental. <https://economipedia.com/definiciones/investigacion-experimental.html>
- [15] Thierer, J. (2015). ¿Qué son los estudios de corte transversal? <https://www.sac.org.ar/cuestion-de-metodo/que-son-los-estudios-de-corte-transversal/>
- [16] Norma Técnica Peruana NTP 339.185 . (2020). Concreto: Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- [17] Quiliche Villate, J. R. (2019). Resistencia a la compresión axial del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ adicionando puzolana volcánica, Cajamarca 2019. Tesis de licenciatura. Repositorio de la Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. <http://hdl.handle.net/11537/23568>
- [18] Guzmán, D. S. (2001). Tecnología del concreto.
- [19] Instituto Americano Del Concreto. (s.f.).
- [20] Instituto Geológico y Minero de España. (2019). Vocabulario De Rocas, Sedimentos y Formaciones Superficiales.
- [21] López, L. G. (2003). El Concreto Y Otros Materiales Para La Construcción.
- [22] Rendón Macías, M. E., Villasís Keeve, M. Á., & Miranda Novales, M. G. (2016). Estadística descriptiva. *Alergia México*, 63(4). Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4867/486755026009.pdf>
- [23] Sánchez Pastor, F. (s/f). Hojas de cálculo en Microsoft Excel. Madrid, España: Biblioteca de la Universidad Complutense. Obtenido de https://geografiaehistoria.ucm.es/data/cont/media/www/pag-88331/Excel_dossier.pdf