



UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

**“Mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto con ACR
empleando aditivo nanosílice”**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Para optar el grado de bachiller en Ingeniería Civil

AUTOR(ES)

Ayala Aguilar, Kevin Josué (0000-0001-6370-2403)

Ccallo Pérez, Marie (0000-0002-5877-4127)

ASESOR

Eyzaguirre Acosta, Carlos Augusto (0000-0001-9769-2135)

Lima, 06 de Noviembre del 2020

RESUMEN

En este artículo se analiza la influencia de un aditivo a base de nanosilice en el concreto elaborado con agregado a partir de concreto reciclado. Para lo cual, se ha realizado un programa de laboratorio donde se analizan las propiedades físicas de los materiales y las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto a distintas edades. El objetivo principal del estudio es demostrar las mejoras cuantitativas de resistencia a compresión y tracción del concreto con ACR empleando nanosilice. Asimismo, el diseño óptimo para los casos propuestos es la mezcla M4 (100% ACR y 1% nanosilice) con el cual se logra mejorar en 21% respecto a la muestra M3 (100% ACR) a 28 días. Finalmente, el diseño M4 tiene una mayor resistencia a compresión comparado con la mezcla M0 (1) concreto convencional sin nanosilice. Por consiguiente, la utilización del concreto con ACR es factible en términos de resistencia.

Palabras clave: Agregado de concreto reciclado; agregados reciclados; nanosilice; aditivo; resistencia a la compresión; concreto reciclado.

Improvement of the mechanical properties of concrete with ARC and nanosilize additive

ABSTRACT

This article discusses the influence of a nanosilize based admixture on concrete made with aggregate from recycled concrete. For which, a laboratory program has been carried out where the physical properties of the materials and the properties in the fresh and hardened state of concrete at different ages are analyzed. The main objective of the study is to demonstrate the quantitative improvements of resistance to compression and tension of concrete with ACR using nanosilice. Likewise, the optimal design for the proposed cases is the M4 mixture (100% ACR and 1% nanosilize) with which it is possible to improve by 21% compared to the M3 sample (100% ACR) at 28 days. Finally, the M4 design has a higher compressive strength compared to the conventional concrete mix M0 (1) without nanosilize. Therefore, the use of concrete with ACR is feasible in terms of strength.

Keywords: Recycled concrete aggregate; recycled aggregates; nanosilize; additive; compressive strength; recycled concrete.

1 INTRODUCCIÒN

En las últimas décadas la generación de residuos sólidos producto de la construcción y demolición es uno de los principales problemas de contaminación. Asimismo, el empleo de los agregados para la elaboración de concreto genera escasez de las canteras para abastecer la demanda. A nivel mundial, se produce alrededor de 900 millones de toneladas por año de concreto reciclado [1] y en Lima Metropolitana y el Callao para el 2018 la producción de residuos de construcción y demolición (RCD) fue entre 903 970,4 m³ - 1 381 065.8 m³ según coeficientes de generación de RCD [2]. Frente a esta problemática surge la idea de reutilizar el concreto como un agregado para realizar un nuevo concreto. Sin embargo, existe una limitante en el empleo de este material reciclado para los fines mencionados debido a las pérdidas de resistencia a compresión y tracción respecto del concreto convencional. Esto se puede atribuir a un mayor número de zonas de transición interfacial (ITZ) presentes en el ACR y la alta demanda de agua producto de la absorción del concreto reciclado en las mezclas [3].

En este sentido se plantea la necesidad de mejorar la resistencia del concreto con ACR a través de un aditivo a base de nanosilice para ampliar la posibilidad de aplicación en la industria de la construcción; es decir, el empleo de este concreto en elementos estructurales y no estructurales. Asimismo, es importante mencionar la responsabilidad con el medio ambiente al aplicar agregados reciclados.

En China, se realizó un estudio donde se plantea mejorar el agregado reciclado remojándolo durante 48 horas en una solución de nanosilice 2%, esto conlleva a tener resultados favorables debido a que se incrementa la densidad aparente y decrece la absorción. Asimismo, la resistencia a compresión aumenta en 14.23% con un remplazo del 100% de ACR [4]. Estos resultados se deben a que las partículas de nanosilice reaccionan con Ca (OH)₂ presente en la matriz del concreto y generan S-C-H [5]. Esto hace que genere C3S y C2S para obtener resistencias altas a edades tempranas. El CH forma parte de 0-25% del producto de la hidratación formando así zonas débiles y frágiles. No obstante, la nanosilice podría mejorar debido a su alta reactividad puzolánica. [6] Otro estudio realizado para evaluar las propiedades mecánicas del concreto empleando nanosilice señala que la resistencia a compresión y a tracción aumenta cuando se emplea de 0-4% de nanosilice. Sin embargo, estos parámetros disminuyen al agregar mayores cantidades. [7]

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Los materiales empleados para la elaboración de concreto son cemento, agregado grueso natural (piedra) (AGN), agregado fino natural (arena) (AFN), agregado grueso de concreto reciclado (AGCR), agua, aditivo nanosilice y aditivo superplastificante. De acuerdo al ASTM C150 el cemento es del Tipo I con una superficie específica de $3361.00 \text{ cm}^2/\text{g}$ y una densidad 3.12 g/ml . El AGN proviene de la cantera Gloria en Lima, el cual tiene como peso específico de 2691.00 kg/m^3 , absorción de 0.61% , contenido de humedad 0.24% y peso unitario compactado de 1516.47 kg/m^3 . Asimismo, el AFN proviene de la cantera Huaycan en Lima, el cual tiene como peso específico de 2647.60 kg/m^3 , absorción de 1.75% , contenido de humedad 1.11% y un peso unitario compactado de 1754.80 kg/m^3 . Además, el AGCR proviene de un proceso de transformación a partir de residuos de probetas ensayadas. Finalmente, se obtuvo como peso específico 2260.30 kg/m^3 , absorción de 6.52% , contenido de humedad de 1.62% y peso unitario compactado de 1509.15 kg/m^3 . La granulometría de los agregados se muestra en la Fig. 1 y Fig. 2, y la fotografía del AGCR en la Fig. 3.

El aditivo a base de nanosilice empleado en esta investigación se denomina HP-300 perteneciente a la línea GAIA y se clasifica como aditivo Tipo F según el ASTM C494. Tiene una apariencia líquida, color blanco opalescente, densidad $1,06 \pm 0,02 \text{ g/ml}$ y PH de 4.8 . Además, se utilizó un aditivo superplastificante SP-7 clasificado como Tipo F según ASTM C494, tiene una densidad de $1.17 \pm 0.02 \text{ g/ml}$ y un PH de 7 ± 2 .

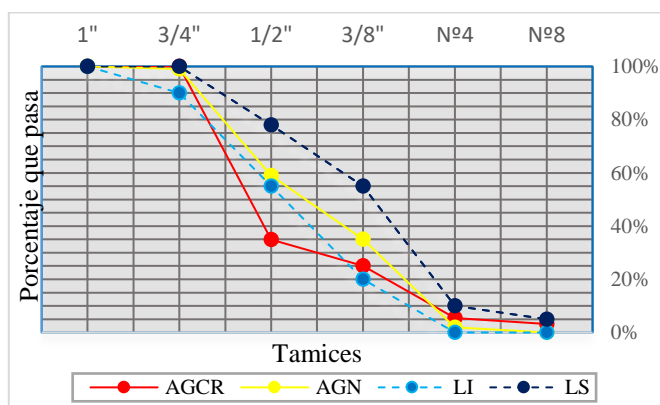


Fig. 1: Curva de distribución granulométrica de AGN y AGCR-Huso 67

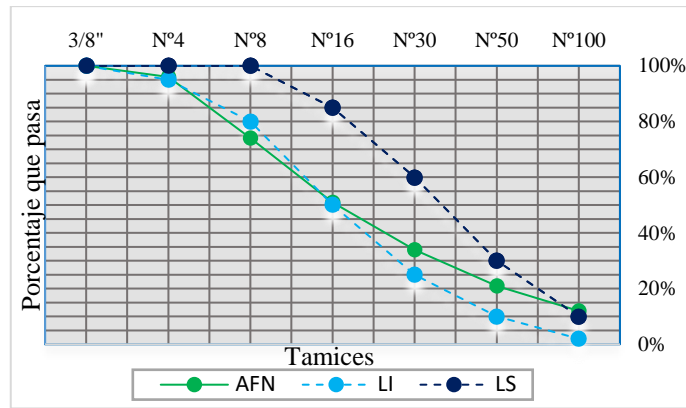


Fig. 2: Curva de distribución granulométrica del AFN



Fig. 3: Agregado grueso de concreto reciclado (AGCR)

2.2 Diseño de mezcla

Los diseños de mezcla se realizaron para un concreto $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$, empleando porcentajes variables de AGCR (0%, 50% y 100%), aditivo superplastificante (0% y 0.75%) aditivo nanosilice (0% y 1%).

TABLA 1: Matriz de los diseños de mezcla

Materiales				Proporciones de mezclas del concreto reciclado		
ACR grueso (%)				0%	50%	100%
Aditivo de nanosilice (%)	0%	Aditivo SP	0.75%	M0(1)	M1	M3
	1%		0.00%	M0(2)	M2	M4

El diseño de mezcla se realizó siguiendo las recomendaciones de ACI 211. Obteniendo como resultados las siguientes proporciones.

TABLA 2: Dosificaciones de mezcla en peso húmedo (kg/m³)

Material	M0(1)	M0(2)	M1	M2	M3	M4
Cemento	546.84	546.84	546.84	546.84	546.84	546.84
Nanosílice	0.00	5.47	0.00	5.47	0.00	5.47
Agua	223.58	223.55	243.25	243.22	262.93	262.90
Aire	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Aditivo SP	4.10	0.00	4.10	0.00	4.10	0.00
AGN	896.83	896.83	448.42	448.42	0.00	0.00
AGCR	0.00	0.00	452.39	452.39	904.79	904.79
AFN	676.88	672.22	595.32	590.66	513.76	509.10

2.3 Métodos de ensayo

El ensayo de resistencia a compresión y tracción se realizó de acuerdo a la ASTM C39 y ASTM C496 respectivamente, para los cuales se emplearon probetas cilíndricas de 4.00x8.00 pulgadas. Además, los resultados que se muestran son el promedio de tres especímenes sometidos al ensayo. Por un lado, la resistencia a compresión se evaluó para tres edades de los concretos, es decir, para 7,14 y 28 días de curado. Por otro lado, la resistencia a tracción se determinó solo a 28 días de curado. Cabe mencionar que ese parámetro se determinó por un método indirecto, ya que se efectuó la resistencia a tracción por compresión diametral. Como parte del programa de laboratorio también se efectuaron ensayos en estado fresco como la temperatura, asentamiento, peso unitario, contenido de aire de acuerdo a las normas ASTM C 1064, ASTM C 143, ASTM C 138 y ASTM C 231 respectivamente.

3 RESULTADOS

3.1 Propiedades en estado endurecido

3.1.1 Resistencia a la compresión

Según la Fig. 4, el concreto convencional con nanosilice M0 (2) tiene mejores resultados a comparación de los demás diseños. No obstante, la muestra M4 con 499.32 kg/cm² está próximo al M0 (2) con 504.97 kg/cm² a pesar que este tiene AGCR al 100%. Asimismo, los diseños con un 1% de aditivo nanosilice tienen resultados mayores a los que solo contienen 0.75% de aditivo superplastificante en las mezclas con AGCR.

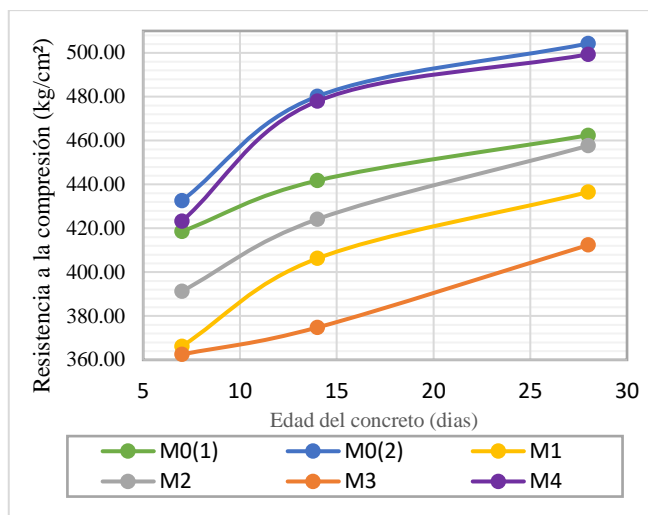


Fig. 4: Resistencia a compresión del concreto a 7, 14 y 28 días.

3.1.2 Resistencia a la tracción

De acuerdo al ensayo a tracción por compresión diametral realizado, los resultados indican que la mezcla M0 (2) es superior a las otras muestras ensayadas. Según la Fig. 5, podemos observar que la muestra M4 con 53.31 kg/cm² está cercano al concreto al M0 (2) con 54.61 kg/cm² y es superior al concreto patrón M0 (1).

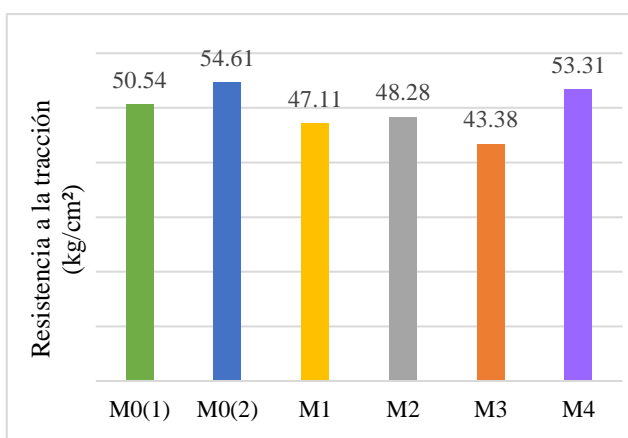


Fig. 5: Resistencia a tracción a 28 días.

3.2 Propiedades en estado fresco

3.2.1 Temperatura

Los resultados obtenidos en el ensayo de temperatura están dentro del intervalo aceptable de 10 °C y 32 °C en el cual se espera un fraguado del concreto adecuado. De acuerdo la Fig. 6, la mayor diferencia de temperatura entre muestras es de 1.1 °C. Por este motivo se puede

destacar que para las muestras ensayadas la adición del aditivo nanosilice no produce afectos relevantes referidos a temperatura.

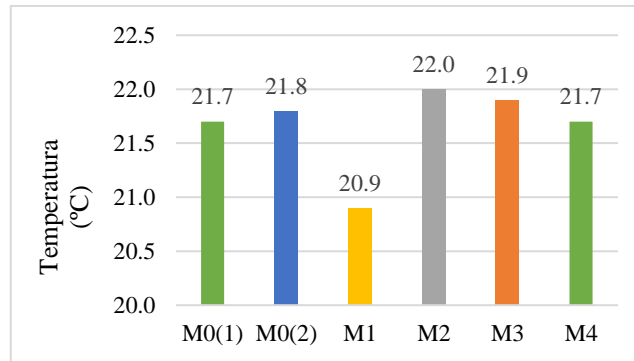


Fig. 6: Ensayo a temperatura del concreto en estado fresco

3.2.2 Asentamiento

Según la Fig. 7, se aprecia mayores asentamientos para las muestras que contienen nanosilice. Esta tendencia se repite para los tres grupos según la matriz de diseño de mezcla. Asimismo, la fluidez del concreto con nanosilice es mayor en las muestras que contienen AGCR y aumenta de acuerdo a la cantidad de esta. Pues para la M (2) con 50% de AGCR tiene 8 1/4" y la M (4) con 100% de AGCR tiene 9 1/4".

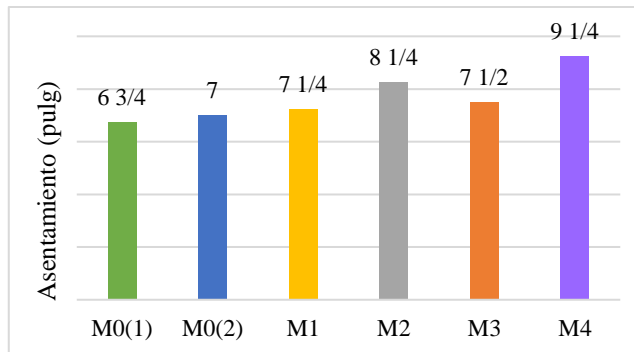


Fig. 7: Asentamiento del concreto

3.2.3 Peso unitario

De la Fig. 8, se puede observar en el concreto convencional que contiene aditivo nanosilice tiene un mayor peso unitario. Asimismo, las muestras que contienen aditivo nanosilice cuando se emplea AGCR tienen valores menores. Por ejemplo, el peso unitario del concreto con un remplazo de 100% de AGCR y 1% nanosilice (M4) disminuye en 44.5 kg/m³ respecto a la muestra M3 (100%AGCR y 0.75% superplastificante). Además, al reemplazar

en mayor porcentaje de agregado natural por AGCR se refleja una reducción en el peso unitario.

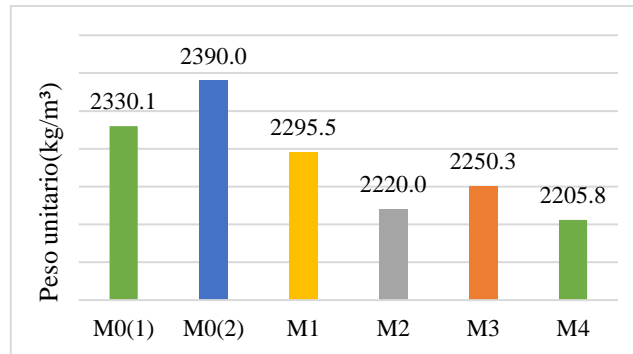


Fig. 8: Peso unitario del concreto en estado fresco

3.2.4 Contenido de aire

La Fig.9, muestra que el contenido de aire (%) del concreto convencional con nanosílice es menor en comparación con M0 (1). Sin embargo, en las muestras de concreto con 50% y 100% AGCR, y 1% de nanosílice (M2 y M4) evidencian un incremento del porcentaje de contenido de aire respecto a las muestras de concreto con 50% y 100% AGCR, y 0.75% superplastificante (M1 y M3). Asimismo, en las muestras de concreto con mayor porcentaje de AGCR con nanosílice tienen mayor contenido de aire. Además, el contenido de aire de las mezclas se encuentra entre 1% y 3%, tal como lo indica la norma ASTM C 231.

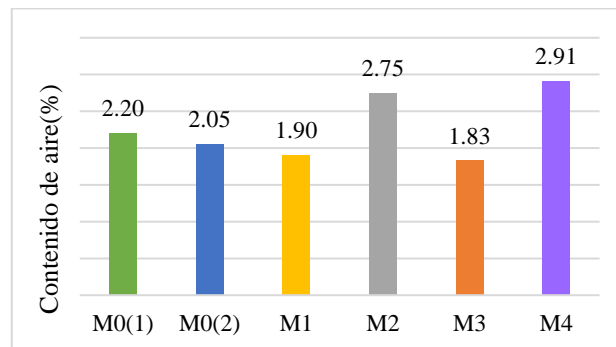


Fig. 9: Contenido de aire atrapado

4 VALIDACIÓN DE RESULTADOS

Según la literatura mostrada de Wang et al., la resistencia a compresión se mejora empleando aditivo nanosílice en 14.23% con una adición de 2% de nanosilice y 100% de AGCR para 22 días, para el estudio realizado la mezcla M4 respecto al Mezcla M3 mejora en 21% con 1% de nanosilice para un reemplazo de 100% de AGCR y la mezcla M2 es

superior en 5% a la muestra M1 con 1% de nanosilice para un reemplazo de 50% de AGCR para los 28 días de curado. Esto ocurre como consecuencia de la reacción de la nanosilice en la matriz de concreto como lo afirma Huang et al. Es decir, se genera mayor cantidad de S-C-H a partir del $\text{Ca}(\text{OH})_2$. El porcentaje empleado de 1% de nanosilice logra mejorar la resistencia a compresión y tracción tal como lo indica Gong et al., quien dice que esto incrementa hasta el 4% de nanosilice; sin embargo, esta tendencia se revierte al emplear un mayor porcentaje.

5 CONCLUSIONES

En este estudio, se muestra el efecto originado por la utilización del aditivo de nanosilice y aditivo superplastificante en las mezclas con 50% y 100% de AGCR. Los ensayos realizados en estado fresco y endurecido muestran las siguientes principales conclusiones:

- El aditivo de nanosilice logra mejorar la resistencia mecánica del concreto reciclado. Entendiéndose por resistencia mecánica a la resistencia a la compresión y resistencia a tracción.
- La resistencia a la compresión del concreto con 100% AGCR y 1% aditivo de nanosilice (M4) es mayor a los demás diseños con excepción de la muestra M0 (2). Asimismo, la mezcla M4 supera la resistencia de diseño en 20.9%, 36.6% y 42.7% a los 7, 14 y 28 días de rotura. Las altas resistencias iniciales y finales se deben al reforzamiento de la estructura del concreto a un tamaño nanométrico, tal como lo afirma Huang et al.
- Los resultados del ensayo de resistencia a tracción de los diseños de mezclas de la presente investigación muestran una relación directa con los valores obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión. El intervalo de los resultados del ensayo de resistencia a tracción se encuentra entre 10% y 11% de la resistencia a la compresión.
- La incorporación de la nanosilice en la mezcla de concreto con AGCR genera altos valores de asentamiento, no obstante, este acelera el tiempo de fragua produciendo que el asentamiento de la mezcla disminuya significativamente con el tiempo. Esto es producto de la rápida actividad puzolánica de la nanosilice.
- Las temperaturas de las mezclas de concreto con nanosilice reflejan un incremento en comparación con las mezclas con superplastificante.

- Al reemplazar el agregado grueso natural por AGCR y nanosílice en las mezclas se tiene que el contenido de aire es mayor y el peso unitario es menor con respecto a las mezclas con AGCR y superplastificante.

6 REFERENCIAS

- [1] W. Martínez et. al., “El concreto reciclado: una revisión”. ALCONPAT, vol. 5, pp. 235-248., 2015.
- [2] M. Carbajal, “Situación de la gestión y manejo de los residuos sólidos de las actividades de construcción civil del sector vivienda en la ciudad de Lima y Callao”, tesis de pregrado. Lima, UNAM, Lima, Perú, 2018.
- [3] Ali, B., Qureshi, LA, Shah, SHA, Rehman, SU, Hussain, I. e Iqbal, M., “A step towards durable, ductile and sustainable concrete: Simultaneous incorporation of recycled aggregates, glass fiber and fly ash”, *Construction and Building Materials*, vol. 251, Abril 2020.
- [4] Wang, Xingguo et al. “Impact Properties of Recycled Aggregate Concrete with Nanosilica Modification”, *Advances in Civil Engineering*, vol. 2020, June 2020.
- [5] Huang, Q., Zhu, X., Liu, D., Zhao, L., & Zhao, M. “Modification of water absorption and pore structure of high-volume fly ash cement pastes by incorporating nanosilica”, *Journal of Building Engineering*, vol. 33, June 2020.
- [6] Kooshafar, M. y Madani, H, “An investigation on the influence of nano silica morphology on the characteristics of cement composites”, *Journal of Building Engineering*, vol. 30. June 2020.
- [7] Gong, J., Zhu, L., Li, J. y Shi, D. “Silica Fume and Nanosilica Effects on Mechanical and Shrinkage Properties of Foam Concrete for Structural Application”, *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2020, Abril 2020.