

Study of the physical and mechanical properties of mortar modified with microsilica

Mónica Morales Corredor¹, Yurleny Barahona Peña¹, Laura Jimena Vega¹, Juan Sebastián Cabrera¹ and Miguel Antonio Caro¹

¹Universidad La Gran Colombia, Colombia, monica.morales1@ugc.edu.co, miguel.caro@ugc.edu.co

Abstract— Incorporating nanomaterials into mortars has proven to be attractive, improving their physical and mechanical properties. However, this type of additive can be expensive and difficult to manage. Therefore, in the initial phase of this research, we aimed to evaluate the effect of adding different concentrations of microsilica particles to mortars, as it is a fundamentally more economical and versatile material. This work presents the results of different tests conducted on samples with 5%, 7%, and 9% microsilica, relative to the weight of cement, and compared with a standard sample. This study revealed a positive impact of microsilica on the mortar's compressive strength at 28 days, which is one of the most determining properties for ensuring the structural performance of the material in real-world applications.

Keywords—Nanoparticles, microsilica, mortar, mechanical properties.

Estudio de las propiedades físico – mecánicas del mortero modificado con microsílice

Mónica Morales Corredor¹, Yurleny Barahona Peña¹, Laura Jimena Vega¹, Juan Sebastián Cabrera¹ y Miguel Antonio Caro¹

¹Universidad La Gran Colombia, Colombia, monica.morales1@ugc.edu.co, miguel.caro@ugc.edu.co

Resumen– Incorporar nanomateriales en morteros ha mostrado ser interesante al mejorar sus propiedades físico-mecánicas. Sin embargo, este tipo de aditivos puede resultar costoso y de difícil manejo. Por esto, en la fase inicial de la investigación se desea evaluar el efecto que tiene agregar diferentes concentraciones de partículas de microsílice en morteros al ser un material fundamentalmente más económico y versátil. Este trabajo presenta los resultados de diferentes ensayos realizados en muestras con 5, 7 y 9 % de microsílice, respecto al peso del cemento y comparadas con una muestra patrón. El estudio mostró el impacto positivo que tiene la microsílice sobre la resistencia a la compresión del mortero a los 28 días, siendo esta una de las propiedades más determinantes para garantizar el desempeño estructural del material en aplicaciones reales.

Palabras clave—Nanopartículas, microsílice, morteros, propiedades mecánicas.

I. INTRODUCCIÓN

Los nanomateriales en todas sus dimensiones y formas posibles son utilizados en diferentes áreas del conocimiento. En la actualidad se conocen aplicaciones en medicina, textiles, electrónicos y por supuesto en construcción, entre otros [1]. Particularmente, nanopartículas de sílice, óxido de hierro, óxido de titanio, óxido de aluminio, circonio, carbonato de calcio y arcilla, entre otras, al ser incorporadas en mezclas para concreto en porcentajes del 1-4%, presentan mejoras en la resistencia a la compresión, a la tracción y a la flexión que las mezclas donde estos nanomateriales no son incluidos [2, 3].

Este trabajo tiene como interés principal estudiar el efecto de los nanomateriales en el concreto, particularmente, la incorporación de pequeñas partículas de sílice en el mortero. Y aunque en trabajos previos se ha mostrado que adicionar nanopartículas en morteros mejora sus propiedades, también es importante mencionar, que dicho tipo de materiales resulta costoso y se debe evaluar el costo beneficio de estas modificaciones [2, 3]. Es por esto, que este trabajo busca en su fase inicial, evaluar las diferencias físico - mecánicas al incorporar partículas microsílice.

Con el propósito de llevar a cabo el estudio se sigue la siguiente metodología

A. Caracterización de los materiales:

Se realiza un proceso de caracterización de los materiales a utilizar, así como un conjunto de ensayos una vez que se realizan las series de muestras.

1) *Materiales utilizados:* cemento, agregado fino de cantera lavado, agua potable, microsílice en polvo Toxement.

2) *Caracterización de los materiales:* Los materiales caracterizados fueron los siguientes:

- Cemento: finura, densidad, consistencia, fluidez y tiempo de fraguado.
- Arena: Tamizado con tamiz N. 4, lavado, granulometría, gravedad específica y densidad.

3) *Ensayos de las muestras:* Una vez realizadas las muestras con y sin aditivos se desarrollaron los siguientes ensayos:

- Medida de Fluidez.
- Velocidad de onda.
- Densidad.
- Absorción.
- Resistencia a la tensión.
- Resistencia a la compresión.

II. MORTERO MODIFICADO CON MICROSILOXANO

A. Preparación de la muestra

Se trabaja con una dosificación base de 1:2,75 (cemento: arena) y la relación agua/cemento corresponde al 69,5 %. Se procede a la preparación manual de las mezclas bajo condiciones controladas de laboratorio, siguiendo un protocolo estandarizado para asegurar la uniformidad y calidad del mortero.

La incorporación en proporciones del 5 %, 7 % y 9 % de microsílice respecto al peso del cemento se realiza con el propósito de establecer si existe una dosificación óptima que permita maximizar beneficios como la resistencia a la compresión, absorción reducida, aumento de densidad y mayor durabilidad, sin comprometer la trabajabilidad de la mezcla. Los porcentajes seleccionados están basados en resultados exitosos de estudios previos [4 -6].

El proceso de mezclado manual se llevó a cabo en una superficie limpia y no absorbente, utilizando herramientas

adecuadas (paleta metálica y recipiente plástico de mezclado). Una vez obtenida la mezcla homogénea, se dejó reposar durante un (1) minuto para facilitar la hidratación inicial. Posteriormente, se realizó un remezclado durante aproximadamente 2 a 4 minutos para garantizar la trabajabilidad y cohesión del mortero antes de su vaciado.

El mortero fresco se colo cuidadosamente en moldes cúbicos, compactando la muestra por capas mediante golpes controlados, con el fin de evitar la formación de vacíos. Luego, las probetas moldeadas se dejan en reposo 24 horas en ambiente controlado. Posteriormente, fueron desmoldadas y sometidas a un proceso de curado en agua a temperatura constante hasta el momento de los ensayos, a edades de 7, 14 y 28 días.

Durante la preparación, se cuidó que no se perdieran materiales finos, evitando el derrame de componentes o la incorporación de impurezas del entorno. La consistencia de la mezcla fue verificada mediante el ensayo de fluidez, asegurando que se mantuviera dentro del rango establecido del 100 % al 115 %, correspondiente a una trabajabilidad intermedia.

B. Resultados

Se realizaron un total de 120 muestras, incluyendo la muestra patrón a diferentes edades y las muestras con 5, 7 y 9% de microsílice respecto al peso del cemento para el estudio de los diferentes ensayos.

TABLA I

ENSAJOS DE FLUIDEZ, VELOCIDAD DE ONDA, DENSIDAD, ABSORCIÓN Y RESISTENCIA A LA TENSIÓN PARA LA MUESTRA PATRÓN Y LAS MUESTRAS CON 5, 7 Y 9% DE MICROSILICE RESPECTO AL PESO DEL CEMENTO.

ENSAYO	MUESTRA			
	PATRÓN	5%	7%	9%
FLUIDEZ (%)	112	111	110	109
VELOCIDAD DE ONDA (m/s) 7 DÍAS	3521	3547	3519	3423
VELOCIDAD DE ONDA (m/s) 14 DÍAS	3573	3704	3521	3732
VELOCIDAD DE ONDA (m/s) 28 DÍAS	3732	3817	3788	3876
DENSIDAD (g/cm ³) 7 DÍAS	1,86	1,91	1,89	1,89
DENSIDAD (g/cm ³) 14 DÍAS	1,88	2,01	2,00	2,14
DENSIDAD (g/cm ³) 28 DÍAS	1,91	1,88	1,99	2,13
ABSORCIÓN (%) 7 DÍAS	14	13	13	13
ABSORCIÓN (%) 14 DÍAS	13	15	13	12
ABSORCIÓN (%) 28 DÍAS	13	13	11	11
RESISTENCIA A LA TENSIÓN (kN) 7 DÍAS		15,43	14,7	14,27
RESISTENCIA A LA TENSIÓN (kN) 14 DÍAS		14,07	13,87	13,47
RESISTENCIA A LA TENSIÓN (kN) 28 DÍAS		13,93	13,7	14,37

En la tabla I se presentan los resultados obtenidos para los ensayos realizados. Se observan los resultados de las medidas de fluidez, velocidad de onda, densidad, absorción y la resistencia a la tensión para 7, 14 y 28 días de edad. En general, los ensayos, no presentan diferencias drásticas; sin embargo, algunas propiedades se ven alteradas levemente debido a la presencia de las partículas de microsílice.

- 1) *Fluidez*: Esta propiedad si bien solo es posible analizarla en la fase inicial, se observa que disminuye con la presencia de microsílice siendo esta una disminución lineal a medida que se incorpora mayor cantidad de este material.
- 2) *Velocidad de onda*: Independiente de la cantidad de microsílice incorporado a las muestras, para todos los casos la velocidad aumenta con la edad. Sin embargo, no es posible evidenciar tendencias para las diferentes concentraciones de microsílice adicionado a los morteros.
- 3) *Densidad*: Por otro lado, al estudiar la densidad, aunque está correlacionada con la velocidad que viaja la onda a través del material, si es posible observar incrementos de esta propiedad, a medida que aumenta el porcentaje de microsílice incorporado, principalmente para las edades de 14 y 28 días como se observa en la figura 1.

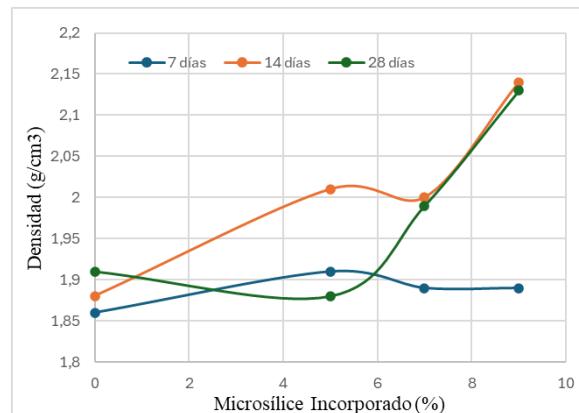


Fig. 1 Densidad de las muestras para diferentes edades, como función de la cantidad de microsílice incorporado al mortero.

- 4) *Absorción*: Esta propiedad por su parte, de acuerdo con los resultados obtenidos, podría decirse que permanece constante, tanto para la muestra patrón, como para las muestras con las diferentes concentraciones del material incorporado. No hay tendencias, ni en cuanto a concentración ni edad de las muestras.

- 5) *Resistencia a la tensión:* El ensayo correspondiente a esta propiedad, muestra tendencias de disminución una vez que se incorporan las diferentes concentraciones de microsilice, como se observa en la figura 2.

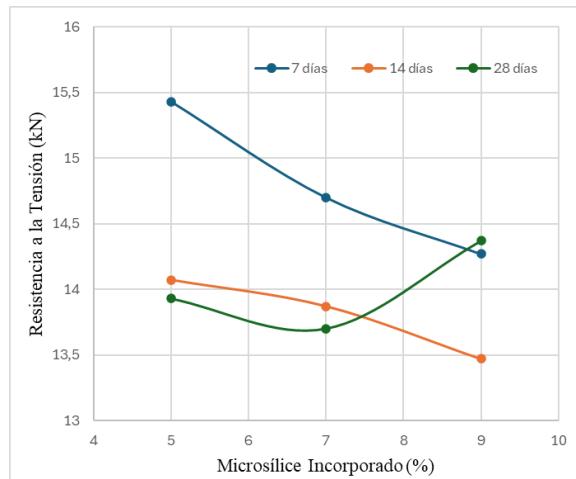


Fig. 2 Resistencia a la tensión para diferentes edades, como función de la cantidad de microsilice incorporado al mortero.

Uno de los aspectos más relevantes que se pudo comprobar experimentalmente es el impacto positivo que tiene la microsilice sobre la resistencia a la compresión del mortero a los 28 días, siendo esta una de las propiedades más determinantes para garantizar el desempeño estructural del material en aplicaciones reales. En efecto, los resultados evidencian que la adición de microsilice en porcentajes del 5%, 7% y 9% generan un incremento progresivo en la densificación de la mezcla, contribuyendo a una reducción de porosidad y, por tanto, a una mejor cohesión. Esto se traduce en un aumento notable en la velocidad de onda, la densidad y una disminución en la absorción de agua, lo cual refuerza la durabilidad del material frente a condiciones ambientales adversas.

Sin embargo, también se identificó que los beneficios de la microsilice no son lineales ni proporcionales a su porcentaje de incorporación en todas las propiedades evaluadas ni en todas las edades de curado. Por ejemplo, durante los primeros 7 y 14 días, las mejoras en la resistencia a la compresión y tracción no fueron tan significativas, lo que sugiere que la microsilice requiere un mayor tiempo de hidratación para desarrollar completamente su capacidad puzolánica. Este comportamiento reafirma la necesidad de considerar el tiempo de curado como una variable crítica al momento de evaluar la efectividad de adiciones minerales reactivas.

En cuanto a la trabajabilidad del mortero, se evidenció una ligera disminución en la fluidez de la mezcla con el aumento de la microsilice, lo cual es atribuible a su alta finura y capacidad de absorción de agua. Aunque esta reducción fue leve, sí destaca la importancia de ajustar cuidadosamente la relación agua/cemento o considerar el uso de aditivos superplastificantes si se desea mantener una trabajabilidad óptima en obra, especialmente cuando se trabaja con altos porcentajes de sustitución.

III. CONCLUSIONES

Finalmente, esta investigación aporta una mirada integral al comportamiento del mortero modificado con microsilice bajo condiciones de laboratorio que simulan escenarios de obra artesanal, validando su aplicabilidad más allá de contextos industriales de alta tecnología. La metodología manual empleada demuestra que es posible alcanzar mejoras significativas en el desempeño del mortero con recursos accesibles y procedimientos replicables, lo cual abre la puerta a su implementación en proyectos de infraestructura urbana y rural, especialmente en zonas con limitaciones técnicas o presupuestales.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecemos de manera especial a la empresa Toxement, y en representación de esta, a Ciro Cardozo, quienes hicieron la donación de los materiales para el desarrollo de las muestras.

REFERENCIAS

- [1] Sepehr Talebian, Tiago Rodrigues, José das Neves, Bruno Sarmento, Robert Langer, and João Conde, (2021). Facts and Figures on Materials Science and Nanotechnology Progress and Investment. *ACS Nano* 15 (10), 15940-15952. <https://doi.org/10.1021/acsnano.1c03992>
- [2] Flaga, K. (2000). Advances in materials applied in civil engineering, 106(1-3), 173–183. [https://doi:10.1016/s0924-0136\(00\)00611-7](https://doi:10.1016/s0924-0136(00)00611-7)
- [3] Md Montaseer Meraz et al., (2023) Self-healing concrete: Fabrication, advancement, and effectiveness for long-term integrity of concrete infrastructures. *Alexandria Engineering Journal* Volume 73, 15, 665-694. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.05.008>
- [4] Mendoza, J. V. (2018). Influencia del porcentaje, tipo y dosificación de microsilice en la resistencia a la compresión y capilaridad en morteros elaborados con cemento tipo V, Trujillo 2017 [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/13859>
- [5] Li, L. G., Zhu, J., Huang, Z. H., Kwan, A. K. H., & Li, L. J. (2017). Combined effects of micro-silica and nano-silica on durability of mortar. *Construction and Building Materials*, 157, 337-347.
- [6] Romero, H., Gálvez, J., Lucea, I. & Morague, A. (2012). *Durabilidad y propiedades mecánicas del hormigón autocompactante con adición de microsilice y nano silice*. <https://oa.upm.es/19981/>