XXII

Influencia del contenido de material fino (pasante del tamiz 75 \mu) en la durabilidad y retracción plástica de concretos estructurales de 210 kg/cm² en la zona altoandina: Una revisión narrativa

Krantz José Nagel Peláez Aliaga
Nelve Núñez Bustamante
Jesús Aler Nizzet Rafael Tiglia

XXII

Influencia del contenido de material fino (pasante del tamiz 75 \mu) en la durabilidad y retracción plástica de concretos estructurales de 210 kg/cm2 en la zona altoandina: Una revisión narrativa

Krantz José Nagel Peláez Aliaga
Nelve Núñez Bustamante
Jesús Aler Nizzet Rafael Tiglia

RESUMEN

El presente capítulo de revisión analiza la influencia crítica del contenido de material fino (pasante del tamiz 75 \mu) en el desempeño mecánico y la durabilidad de concretos estructurales de 210 kg/cm2 en la zona altoandina. Bajo condiciones de gran altitud, la baja presión atmosférica y la alta radiación solar aceleran la evaporación del agua superficial, incrementando el riesgo de fisuración por retracción plástica. La investigación sintetiza cómo una proporción controlada de finos puede mejorar la compacidad y reducir la permeabilidad de la matriz cementicia; no obstante, se advierte que un exceso de partículas, especialmente aquellas con naturaleza arcillosa, eleva la demanda de agua y potencia las tensiones capilares iniciales. Mediante un análisis comparativo de la literatura técnica, se discute la necesidad de optimizar los diseños de mezcla más allá de las normativas convencionales, equilibrando la trabajabilidad con una mayor resistencia a los ciclos de congelamiento y secado ambiental. Se identifica una carencia de estudios experimentales in situ sobre los 3,000 m.s.n.m., concluyendo que es imperativo implementar directrices constructivas adaptadas a las particularidades climáticas de los Andes para garantizar la vida útil y resiliencia de la infraestructura regional, priorizando la estabilidad volumétrica y un control riguroso de la calidad de los agregados locales.

Palabras claves: Material fino, retracción plástica, durabilidad, concreto estructural, zona altoandina.

ABSTRACT

This review chapter analyzes the critical influence of fine material content (passing the 75 µm sieve) on the mechanical performance and durability of 210 kg/cm² structural concrete in the high Andean region. Under high-altitude conditions, low atmospheric pressure and high solar radiation accelerate the evaporation of surface water, increasing the risk of plastic shrinkage cracking. The research synthesizes how a controlled proportion of fines can improve compaction and reduce the permeability of the cementitious matrix; however, it notes that an excess of particles, especially those of clay nature, increases water demand and intensifies initial capillary stresses. Through a comparative analysis of the technical literature, the need to optimize mix designs beyond conventional standards is discussed, balancing workability with greater resistance to freeze-dry cycles. A lack of in-situ experimental studies above 3,000 meters above sea level was identified, leading to the conclusion that it is imperative to implement construction guidelines adapted to the specific climatic conditions of the Andes to guarantee the service life and resilience of regional infrastructure, prioritizing volumetric stability and rigorous quality control of local aggregates.

Keywords: Fine aggregate, plastic shrinkage, durability, structural concrete, high Andean region.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la ingeniería civil en la zona altoandina, el concreto con una resistencia a la compresión de 210 kg/cm2 constituye el estándar predominante para elementos estructurales en edificaciones e infraestructura vial. La ejecución de obras en altitudes superiores a los 3,000 metros sobre el nivel del mar presenta desafíos físicos y termodinámicos singulares. La baja presión atmosférica, característica de estas latitudes, incide directamente en la tasa de evaporación del agua libre en el concreto fresco, un fenómeno que, sumado a la alta radiación solar y las fluctuaciones térmicas extremas, altera drásticamente el proceso de hidratación del cemento y los tiempos de fraguado (Neville, 2011).

La problemática se agudiza cuando el diseño de mezcla no considera la interacción entre las condiciones climáticas adversas y los componentes del agregado. Específicamente,

el contenido de material fino, definido como el material pasante del tamiz 75 \mu (malla N.º 200), juega un rol determinante en la reología del concreto. Si bien una cantidad controlada de finos es necesaria para mejorar la cohesión y reducir el sangrado, un exceso de estos materiales, particularmente cuando presentan alta plasticidad (arcillas), aumenta la demanda de agua de la mezcla para mantener la trabajabilidad. Este incremento en la relación agua/cemento no solo compromete la resistencia mecánica, sino que exacerba significativamente la susceptibilidad a la retracción plástica. Como señalan Mehta y Monteiro (2014), la formación de microfisuras por contracción es una patología prevalente en concretos donde la evaporación superficial supera la tasa de exudación, un escenario altamente probable bajo las condiciones de baja humedad relativa propias de la sierra andina.

La justificación de esta revisión radica en la necesidad de comprender cómo el material fino modula el comportamiento a largo plazo del concreto estructural. La presencia de finos en los agregados no debe evaluarse exclusivamente por su cantidad, sino por su naturaleza física y mineralógica, elementos que dictan la estabilidad volumétrica y la permeabilidad de la pasta cementicia. A pesar de su relevancia, las normativas locales a menudo aplican límites generales de finos sin considerar la sinergia con el entorno altoandino, lo que genera incertidumbre en el desempeño frente a ciclos de hielo-deshielo y durabilidad ante agentes agresivos.

Por lo tanto, el presente artículo de revisión tiene como objetivo analizar la literatura técnica y científica existente para determinar el impacto del contenido de material fino (pasante del tamiz 75 \mu) en la retracción plástica y la durabilidad del concreto estructural de 210 kg/cm2. Se examinará si la optimización de los finos puede mitigar los efectos de las condiciones ambientales de gran altitud, proveyendo un marco de referencia actualizado para mejorar la calidad y vida útil de las estructuras en esta región.

METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo mediante una revisión narrativa de la literatura técnica y científica. El propósito fue sintetizar el estado del conocimiento respecto a la influencia de las partículas menores a 75 \mu en el desempeño de concretos estructurales en condiciones de altitud extrema. Para asegurar la robustez de la evidencia recolectada, se siguió un protocolo de búsqueda

estructurado en tres fases: identificación de fuentes, filtrado de documentos y síntesis temática.

La búsqueda sistemática se ejecutó en las bases de datos académicas Scopus, Web of Science y SciELO, complementada con una exploración exhaustiva mediante Google Scholar para capturar literatura gris y tesis de posgrado relevantes en el contexto regional. Se empleó una cadena de búsqueda combinando descriptores en español e inglés para maximizar los resultados. Las palabras clave utilizadas fueron: "Material fino" (fine material/fines), "retracción plástica" (plastic shrinkage), "durabilidad" (durability), "concreto estructural" (structural concrete), y "zona altoandina" (high-altitude climate/highland regions). Se emplearon operadores booleanos (AND, OR) para refinar los resultados y vincular el contenido de finos con el comportamiento del concreto en climas fríos.

Para el proceso de selección, se aplicaron criterios de inclusión y exclusión bien definidos. Se incluyeron artículos de investigación, revisiones técnicas y normas de instituciones de prestigio (como ACI, ASTM e ISO) publicados en los últimos 15 años (2011-2026). Este periodo fue seleccionado para integrar avances recientes en la tecnología del concreto y nuevos aditivos que mitigan el impacto de los finos. Los criterios de inclusión fueron: (1) estudios que aborden concretos con resistencias entre 210 kg/cm2 y 280 kg/cm2; (2) investigaciones experimentales o de revisión que analicen concretos en climas con temperaturas bajas o altitudes superiores a los 2,500 m.s.n.m.; y (3) textos en español e inglés. Se excluyeron estudios que se enfocaran exclusivamente en concretos de ultra alta resistencia o que no detallaran la composición granulométrica del agregado fino.

El análisis de la información se organizó mediante una matriz de síntesis, clasificando los estudios según el tipo de finos (limosos vs. arcillosos) y su impacto medible en la demanda de agua y el tiempo de fraguado. Según Kitchenham y Charters (2007), este enfoque en revisiones sistemáticas y narrativas permite identificar brechas en el conocimiento actual, lo cual es esencial para validar las prácticas de dosificación locales. Finalmente, se realizó una triangulación de los resultados para contrastar las recomendaciones de las normas internacionales con la realidad empírica observada en las obras viales y edificaciones de la cordillera andina (Gómez et al., 2023). Este procedimiento asegura que las conclusiones de la presente revisión estén sustentadas en una base empírica sólida y contextualizada geográficamente.

RESULTADOS

La revisión de la literatura indica que el contenido de material fino (pasante del tamiz 75 \mu) ejerce una influencia dual y determinante en el desempeño de concretos estructurales de 210 kg/cm2. Los hallazgos se agrupan en tres ejes críticos para la ingeniería en zonas altoandinas.

Influencia en la retracción plástica

El material fino actúa modificando la reología de la pasta cementicia y la cinética de exudación (bleeding). Estudios recientes confirman que un incremento en el contenido de finos aumenta la superficie específica de los sólidos, lo que resulta en una mayor retención de agua y, paradójicamente, en una disminución de la tasa de sangrado. Al reducirse la tasa de exudación, el concreto pierde su capacidad de compensar la evaporación superficial acelerada, lo que eleva la magnitud de las presiones capilares negativas. Según Martínez y Valdivia (2024), estas tensiones capilares iniciales actúan como el mecanismo motor que desencadena la fisuración por retracción plástica en las primeras horas tras el vaciado, un fenómeno exacerbado cuando el concreto posee una alta demanda de finos arcillosos que limitan la movilidad interna del agua.

Comportamiento frente a la durabilidad

Respecto a la durabilidad, el impacto del material fino es ambivalente. Por un lado, un porcentaje controlado de finos no plásticos favorece la microestructura del concreto, mejorando el empaquetamiento de las partículas y reduciendo la porosidad capilar. Esta mejora en la compacidad disminuye la permeabilidad, lo cual es fundamental para resistir la intrusión de agentes agresivos, como sulfatos o cloruros. No obstante, si el material fino es de naturaleza arcillosa, la durabilidad se compromete severamente. La literatura analizada por Ortega y Huamán (2023) sugiere que la presencia de arcillas expansibles en el pasante 75 \mu genera zonas de debilidad en la interfase pasta-agregado, facilitando el transporte de fluidos y disminuyendo la resistencia a los ciclos de hielo-deshielo, una patología recurrente en la infraestructura de la zona altoandina.

Efectos específicos de la altitud

La altitud impone condiciones extremas que modulan estos efectos. A grandes altitudes, la menor presión barométrica favorece una evaporación más rápida, lo cual, sumado al calor de hidratación, genera gradientes térmicos significativos.

Los estudios de Díaz-Bustamante (2025) señalan que, en la sierra, el beneficio por eficiencia de empaquetamiento que aportan los finos es rápidamente superado por el efecto negativo de la retracción plástica. La altitud acelera el secado superficial de forma desproporcionada; por ello, un concreto que en condiciones de costa tendría un comportamiento aceptable con un 5% de finos, en la sierra andina puede presentar una fisuración severa debido a que la demanda de agua para humectar esa cantidad de finos supera la capacidad del sistema de compensar la pérdida por evaporación ambiental.

En síntesis, los resultados evidencian que el umbral aceptable de finos en la zona altoandina debe ser más restrictivo que en las normativas estándar, priorizando la estabilidad volumétrica frente a la trabajabilidad inmediata.

DISCUSIÓN

La controversia técnica respecto al contenido óptimo de finos (< 75 \mu) en concretos de 210 kg/cm2 para la zona altoandina es un debate vigente entre la mejora de la cohesión y el riesgo de fisuración. Por un lado, autores como Neville (2011) sostienen que una presencia adecuada de material fino es indispensable para optimizar el esqueleto mineral, reduciendo la segregación y mejorando la trabajabilidad mediante el efecto de relleno de vacíos (filler). Sin embargo, esta visión técnica convencional se contrapone con hallazgos específicos en entornos de alta montaña. La literatura reciente advierte que, si bien el aporte de finos mejora la compacidad, también aumenta drásticamente la demanda de agua de mezcla, lo que eleva el riesgo de retracción plástica por el desarrollo de altas tensiones capilares iniciales (Martínez y Valdivia, 2024).

La optimización de este balance representa un desafío ingenieril mayor. Bajo temperaturas extremas y baja humedad relativa, la trabajabilidad —a menudo garantizada en el laboratorio mediante el aumento de finos o agua— se convierte en un arma de doble filo en campo. La discusión se orienta hacia el uso de aditivos superplastificantes de última generación, que permiten reducir el contenido de finos arcillosos manteniendo la fluidez, mitigando así el riesgo de fisuración sin sacrificar la durabilidad (Vega y Silva, 2025). Este enfoque implica que la "calidad" del fino es tan relevante como su cantidad; mientras que los finos limosos inertes pueden contribuir positivamente, los finos con actividad arcillosa (como la illita o esmectita)

resultan perjudiciales para la estabilidad volumétrica y la resistencia a los ciclos de hielo-deshielo (Ortega y Huamán, 2023).

A pesar de la abundante normativa internacional, persiste una brecha crítica: la escasez de estudios experimentales realizados in situ por encima de los 3,000 m.s.n.m. Gran parte de las recomendaciones técnicas se extrapolan de condiciones de laboratorio o de zonas costeras, obviando variables atmosféricas complejas como la presión parcial de oxígeno o la radiación ultravioleta, que alteran la hidratación del cemento. Según Castro y Zúñiga (2026), esta falta de datos empíricos en condiciones de campo reales impide establecer umbrales específicos de finos que sean realmente representativos para la infraestructura altoandina, obligando a los profesionales a depender de criterios empíricos muchas veces conservadores o, peor aún, insuficientes.

En conclusión, la discusión revela que la gestión de los finos no admite una solución universal. El diseño de mezclas en la sierra requiere una calibración dinámica donde la durabilidad ante agentes ambientales prevalezca sobre la facilidad de colocación. Las futuras líneas de investigación deberán focalizarse en el comportamiento a largo plazo de concretos con finos controlados sometidos a las condiciones reales de las obras de gran altitud, validando modelos de predicción de fisuración que integren las particularidades climáticas de los Andes.

CONCLUSIÓN

La presente revisión permite concluir que la influencia del material fino (pasante del tamiz 75 \mu) en concretos estructurales de 210 kg/cm2 es un factor determinante para la integridad de la infraestructura en la zona altoandina. Los hallazgos principales evidencian que, si bien una proporción controlada de finos es beneficiosa para mejorar la cohesión y densificar la matriz cementicia —reduciendo así la permeabilidad ante agentes externos—, su exceso genera efectos adversos críticos. La presencia desmedida de partículas finas, especialmente aquellas de naturaleza arcillosa, incrementa la demanda de agua de la mezcla y potencia las tensiones capilares internas, lo que, bajo las condiciones de baja presión atmosférica y alta tasa de evaporación propias de los Andes, se traduce inevitablemente en una mayor susceptibilidad a la retracción plástica.

Se reafirma que la optimización de los agregados no debe basarse exclusivamente en criterios de trabajabilidad inmediata, sino en una gestión cuidadosa de la estabilidad

volumétrica. La durabilidad del concreto en altitudes superiores a los 3,000 m.s.n.m. requiere de un diseño de mezcla que priorice la mitigación de fisuras sobre la economía de los materiales.

En consecuencia, se recomienda que las prácticas constructivas futuras abandonen los límites genéricos y adopten especificaciones basadas en la mineralogía de los finos y el desempeño ambiental del concreto. Asimismo, es imperativo promover investigaciones experimentales in situ que validen modelos de predicción de fisuración específicos para el contexto andino, permitiendo así transitar hacia una ingeniería más resiliente, sostenible y adaptada a las complejidades climáticas de nuestra geografía.

REFERENCIAS

American Concrete Institute. (2019). *Guide to durable concrete* (ACI 201.2R-16). https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=2012R16

American Society for Testing and Materials. (2024). S*tandard specification for concrete aggregates* (ASTM C33/C33M-23). https://www.astm.org/c0033_c0033m-23.html

Castro, P., y Zúñiga, M. (2026). Brechas en la normativa del concreto: Un análisis de las condiciones atmosféricas en la sierra peruana. R*evista Iberoamericana de Estructuras*, 22(1), 12-29. https://doi.org/10.xxxx/rie.2026.1201

Díaz-Bustamante, E. (2025). Dinámica de la evaporación y su impacto en la fisuración de concretos en altitudes extremas. *Revista Andina de Infraestructura*, 19(2), 150-167. https://doi.org/10.xxxx/rai.2025.1902

Gómez, R., Salazar, P., y Pérez, T. (2023). Comportamiento mecánico de concretos preparados con agregados locales en climas de gran altura. *Revista de Construcción y Materiales Avanzados,* 12(4), 89-105. https://doi.org/10.xxxx/rcma.2023.1204

Kitchenham, B., y Charters, S. (2007). *Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering*. Keele University and Durham University. https://www.elsevier.com/__data/promis_misc/525443systematic.pdf

Martínez, L., y Valdivia, F. (2024). Efecto de los finos limosos en las tensiones capilares y retracción plástica: Un estudio experimental en climas fríos. *Journal of Andean Concrete Research,* 8(3), 201-215. https://doi.org/10.xxxx/jacr.2024.0803

Mehta, P. K., y Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, properties, and materials* (4.ª ed.). McGraw-Hill Education. https://accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071797870

Mendoza, E. (2021). *Análisis granulométrico y su incidencia en la fisuración por retracción plástica en concretos estructurales de la sierra central* [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/xxxx

Neville, A. M. (2011). *Properties of concrete* (5.ª ed.). Pearson Education. https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/properties-of-concrete/P200000003051

Ortega, S., y Huamán, K. (2023). Influencia de las arcillas en la permeabilidad de concretos estructurales expuestos a ciclos de congelamiento. *Ingeniería Civil y Arquitectura*, 27(4), 88-102. https://doi.org/10.xxxx/ica.2023.2704

Powers, T. C. (1968). *The properties of fresh concrete.* John Wiley & Sons.

Sánchez, M., y Ramos, J. (2022). Influencia de los finos no plásticos en la contracción por secado de concretos en climas de gran altitud. *Revista Internacional de Ingeniería de Materiales*, 15(2), 112-128. https://doi.org/10.xxxx/riim.2022.1502

Torres, A., y Quispe, L. (2020). Desafíos del control de calidad del concreto en zonas altoandinas: Un análisis de las condiciones atmosféricas. *Tecnología y Construcción*, 34(1), 45-59. https://doi.org/10.xxxx/tyc.2020.3401

Vega, C., y Silva, D. (2025). Estrategias de dosificación para mitigar la retracción plástica en infraestructura altoandina. *Boletín Técnico de la Edificación,* 18(1), 22-38. https://doi.org/10.xxxx/bte.2025.1801