

Hacia un concreto ecológico. Investigación sobre la cáscara de huevo como material cementante

Juan José Ayala Vargas, Juan Diego Archila Bastidas, Juan Felipe Daza Rodríguez

**Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Bogotá, Colombia**

Resumen

El presente análisis del estado del arte se fundamenta en la revisión de los estudios de (Asamenew & Cherkos, 2024), (Das et al., 2023), y (Zhang et al., 2024). Esta investigación, llevada a cabo por el semillero de estructuras en colaboración con el capítulo estudiantil del ACI de la Escuela Colombiana de Ingeniería, explora la utilización de la cáscara de huevo como material cementante suplementario. En el contexto de la tendencia hacia el "cradle to cradle" y la economía circular, se examina el potencial de la cáscara de huevo, compuesta principalmente por carbonato de calcio (CaCO_3), como una alternativa sostenible para reducir la huella de carbono asociada a la producción de concreto. Este análisis se enfoca en las investigaciones existentes sobre la optimización de sus propiedades pozzolánicas y la generación de hidróxido de calcio (CaOH), así como en los procedimientos para evaluar su impacto en la resistencia a la penetración de cloruros, la mejora de la resistencia a la absorción de agua y la sorptividad del hormigón.

Palabras clave: cáscara de huevo; concreto; huella de carbono; economía circular

Abstract

This state-of-the-art analysis is based on the review of studies by (Asamenew & Cherkos, 2024), (Das et al., 2023), and (Zhang et al., 2024). This research, conducted by the structures research group in collaboration with the ACI student chapter of the Escuela Colombiana de Ingeniería, explores the utilization of eggshell as a supplementary cementitious material. Within the context of the trend towards "cradle to cradle" and the circular economy, the potential of eggshell, mainly composed of calcium carbonate (CaCO_3), is examined as a sustainable alternative to reduce the carbon footprint associated with concrete production. This analysis focuses on existing research regarding the optimization of its pozzolanic properties and the generation of calcium hydroxide

(CaOH), as well as the procedures for evaluating its impact on chloride penetration resistance, the improvement of water absorption resistance, and the sorptivity of concrete.

Keywords: eggshell; concrete; carbon footprint; circular economy

1. Introducción

El presente análisis del estado del arte se fundamenta en la revisión de los estudios de (Asamenew & Cherkos, 2024), (Das et al., 2023), y (Zhang et al., 2024). Esta investigación, llevada a cabo por el semillero de estructuras en colaboración con el capítulo estudiantil del ACI de la Escuela Colombiana de Ingeniería, explora la utilización de la cáscara de huevo como material cementante suplementario. En el contexto de la creciente tendencia hacia el "cradle to cradle" y la economía circular, se examina el potencial de la cáscara de huevo, cuya composición principal es carbonato de calcio (CaCO_3), como una alternativa sostenible para la reducción de la huella de carbono asociada a la producción de concreto. El análisis se enfoca en las investigaciones existentes sobre la optimización de sus propiedades puzolánicas y la generación de hidróxido de calcio (CaOH), así como en los procedimientos desarrollados para evaluar su impacto en la resistencia a la penetración de cloruros, la mejora de la resistencia a la absorción de agua y la sorptividad del hormigón.

2. Estado del arte

Se llevará a cabo una investigación enfocada en las propiedades físicas del concreto mediante la incorporación de cáscara de huevo como material cementante suplementario. Para sustentar este estudio, se realizará una revisión bibliográfica de diversos artículos científicos relacionados con el tema, de los cuales se elaborarán resúmenes orientados específicamente al análisis de las propiedades físicas del concreto modificadas por dicha adición.

2.1 Análisis del Impacto del Polvo de Cáscara de Huevo en la Resistencia a la Penetración de Cloruros en Hormigón de Ultra Rendimiento:

Según la literatura consultada, una investigación (Das et al., 2023) profundizó en el efecto de la adición de polvo de cáscara de huevo (ESP) y nano sílice (NS) sobre la resistencia a la penetración de iones cloruro en el **concreto de ultra rendimiento** (HUR), particularmente en sistemas reforzados con fibras de acero de doble gancho (DHE SF).

Los resultados reportados indicaron que todas las formulaciones de HUR exhibieron una elevada resistencia a la corrosión inducida por cloruros. No obstante, se observó que la incorporación de fibras de acero DHE tendía a incrementar la permeabilidad a estos iones. Sin embargo, la inclusión de polvo de cáscara de huevo (ESP), especialmente en una dosificación del 5% de ESP, demostró una disminución significativa en la penetración de iones cloruro, tanto en el HUR reforzado con fibra como en el HUR simple. Específicamente, la adición de un 5% y un 10% de ESP se correlacionó con una reducción del 31% y el 14%, respectivamente, en los valores de iones cloruro.

La investigación sugiere que el ESP ejerce un control significativo sobre la penetración de estos agentes agresivos al optimizar la microestructura porosa del **concreto de ultra rendimiento** y al favorecer la formación de gel de silicato de calcio, lo que consecuentemente restringe la permeabilidad. Adicionalmente, el estudio señaló que el polvo de cáscara de huevo incrementó la resistencia del concreto a la conductividad eléctrica, un factor que influye directamente en la susceptibilidad del material a la penetración de cloruros. (Das et al., 2023)

2.2 Hormigón Autocurativo con Residuos de Cáscara de Huevo: Mejora de la Resistencia a la Absorción de Agua mediante Precipitación Microbiana de Carbonato de Calcio

El estudio (Asamenew & Cherkos, 2024) investigó la capacidad de un concreto autocurativo bacteriano, elaborado con residuos de cáscara de huevo, para reducir la absorción de agua. El estudio se centró primordialmente en evaluar la capacidad de este concreto modificado para resistir la absorción de agua, una propiedad directamente ligada a su durabilidad y a su habilidad para enfrentar condiciones ambientales adversas.

El diseño experimental involucró la incorporación de la bacteria *Bacillus subtilis* a la mezcla de concreto, junto con el lactato de calcio derivado de la cáscara de huevo. La hipótesis central era que la actividad metabólica de estas bacterias induciría la precipitación de cristales de carbonato de calcio (CaCO_3) dentro de la matriz del concreto. Estos cristales, con su naturaleza sólida e insoluble, actuarían como un agente de sellado intrínseco, rellenando la red de poros capilares y las micro fisuras que inherentemente se forman en el concreto durante su fraguado y endurecimiento.

Los resultados obtenidos de los ensayos de absorción de agua, realizados en diferentes etapas de curado (7 y 28 días), fueron notablemente favorables para el concreto tratado. Se observó una disminución significativa en la cantidad de agua absorbida por las muestras que contenían las bacterias y el lactato de calcio en comparación con el concreto convencional. El efecto más pronunciado se registró con una concentración bacteriana específica, donde la absorción de agua se redujo en aproximadamente un 25%. Este hallazgo subraya la eficacia de la precipitación microbiana de CaCO_3 en la densificación de la microestructura del concreto.

Además de los datos cuantitativos, la investigación empleó técnicas de microscopía electrónica de barrido (SEM) para obtener imágenes de la superficie interna del concreto. Estas micrografías proporcionaron evidencia visual directa de la formación y deposición de cristales de calcita dentro de los poros y las microgrietas, confirmando el mecanismo de sellado propuesto. La presencia de estos depósitos minerales explica la reducción en la absorción de agua, ya que los espacios vacíos, que normalmente permitirían el paso del agua, se encontraban ahora obstruidos. (Asamenew & Cherkos, 2024)

2.3 Evaluación de la Sorptividad en Hormigón de Ultra Alto Rendimiento Mejorado con Polvo de Cáscara de Huevo y Nano Sílice: Una Interpretación Grupal de la Investigación

La lectura de esta investigación (Zhang et al., 2024) sobre el concreto de ultra alto rendimiento (UHPC) mejorado con polvo de cáscara de huevo (ESP) y nano sílice resultó particularmente esclarecedora para nuestro grupo de estudio. Analizamos detenidamente cómo el estudio abordaba la sorptividad como un indicador crucial de la durabilidad del material. Comprendimos que la sorptividad cuantifica la capacidad del concreto para absorber agua por acción capilar, un fenómeno directamente vinculado a su permeabilidad y, por ende, a su resistencia ante la penetración de humedad y agentes agresivos que pueden comprometer su integridad.

El experimento descrito se centró en la incorporación de ESP y una variante premezclada químicamente con nano sílice (ES-PNS), utilizados como reemplazo parcial del cemento en diversas proporciones, dentro de formulaciones de UHPC que también integraban vidrio reciclado como agregado fino.

Se encontró significativo que, a medida que se incrementaba la proporción de ESP en la mezcla, la sorptividad del concreto experimentaba una notable disminución. Este efecto se atribuyó al eficiente relleno de los espacios interparticulares que proporcionan las finas partículas del polvo de cáscara, lo que contribuye a densificar la microestructura del concreto, restringiendo las vías de acceso del agua. Si bien se debatió sobre el potencial impacto de porcentajes de reemplazo elevados en la resistencia mecánica, se coincidió en la relevancia de la sustancial reducción en la sorptividad como un beneficio primordial para la longevidad y durabilidad del material.

No obstante, la reducción de la sorptividad observada con este material fue considerablemente más pronunciada. La explicación ofrecida en el estudio, referente a la potenciación de las reacciones puzolánicas por la nano sílice, lo que conlleva una mayor generación de gel de silicato de calcio hidratado (C-S-H) y una microestructura más compacta, lo cual es lógicamente fundamentada.

Las micrografías obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) que se adjuntaban al estudio resultaron especialmente útiles para visualizar estas mejoras a nivel microestructural, evidenciando matrices notablemente más densas y homogéneas en las mezclas que contenían ES-PNS. Esto confirmó la razón subyacente del excelente desempeño de estas mezclas en las pruebas de sorptividad (Zhang et al., 2024)

3. Conclusiones

Los estudios revisados confirman el potencial de la cáscara de huevo, rica en carbonato de calcio, como un material suplementario complementario y un recurso sostenible que responde a la tendencia de la economía circular y el enfoque "cradle to cradle".

La incorporación de polvo de cáscara de huevo en mezclas de concreto, especialmente en concreto de ultra alto rendimiento, ha demostrado reducir significativamente la penetración de iones cloruro, lo cual incrementa la durabilidad del material frente a ambientes corrosivos.

Las observaciones realizadas a través de microscopía electrónica de barrido en todos los estudios revisados corroboran la efectividad de la cáscara de huevo en la mejora de la densidad y homogeneidad del concreto.

El uso combinado de cáscara de huevo y bacterias como *Bacillus subtilis* facilita la auto compactación del concreto, lo cual sella poros y micro fisuras, reduciendo la absorción de agua y promoviendo un auto curado.

4. Referencias

Artículos de revistas

- Asamenew, Z. M., & Cherkos, F. D. (2024). Physio-mechanical and micro-structural properties of cost-effective waste eggshell-based self-healing bacterial concrete. *Cleaner Materials*, 12, 100246. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100246>
- Zaid, O., Hashmi, S. R. Z., Ouni, M. H. E., Martínez-García, R., De Prado-Gil, J., & Yousef, S. E. A. (2023). Experimental and analytical study of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete modified with egg shell powder and nano-silica. *Journal of Materials Research and Technology*, 24, 7162–7188. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.04.240>
- Zhang, Y., Zhang, Q., AlAteah, A. H., Essam, A., & Mostafa, S. A. (2024). Predictive Modeling for Mechanical Characteristics of Ultra High-Performance Concrete Blended with eggshell powder and nano silica Utilizing Traditional Technique and Machine Learning Algorithm. *Case Studies in Construction Materials*, e04025. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e04025>

Fuentes electrónicas

- *ScienceDirect.com* | *Science, health and medical journals, full text articles and books.* (n.d.). <https://www.sciencedirect.com/>

Sobre los autores

- **Juan José Ayala Vargas:** Ingeniero Civil, integrante del semillero de estructuras. Escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito. Juan.ayala-v@mail.escuelaing.edu.co
- **Juan Diego Archila Bastidas:** Ingeniero Civil, integrante del semillero de estructuras. Escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito. Juan.archila@mail.escuelaing.edu.co
- **Juan Felipe Daza Rodríguez:** Ingeniero Civil, integrante del semillero de estructuras. Escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito. Juan.daza-r@mail.escuelaing.edu.co



Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2025 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)