



Análisis de la resistencia y durabilidad del concreto con pigmentos fotoluminiscentes

Analysis of the resistance and durability of concrete with photoluminescent pigments

Esther Joni Vargas Chang, Jesús Hernán Pastor Caveró

RECIBIDO: 20 de agosto de 2024

ACEPTADO: 24 de noviembre de 2024

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo analizar el impacto de los pigmentos fotoluminiscentes en las propiedades mecánicas del concreto, específicamente su resistencia a la compresión y flexión. El tipo de investigación fue descriptiva con una revisión de trabajos previos experimentales que evaluaron concretos con pigmentos en concentraciones del 0 %, 1 %, 2 %, y 4 %. Los resultados mostraron una disminución significativa en la resistencia a la compresión y flexión con el aumento de la concentración de pigmentos. La reducción fue de hasta un 31.4 % y 16.7 %, respectivamente. A pesar de estas disminuciones, se observó una mejora en la visibilidad en la oscuridad y un aumento en la intensidad luminosa del concreto con pigmentos. Sin embargo, también se encontró un incremento en la absorción de agua y una menor resistencia a ciclos de hielo-deshielo, lo que afectó la durabilidad del material. El estudio concluye que los pigmentos fotoluminiscentes tienen un impacto negativo en la resistencia a la compresión y flexión, así como en la durabilidad del concreto y sugiere que, aunque los pigmentos fotoluminiscentes aportan valor estético, su uso en aplicaciones estructurales debe ser cuidadosamente evaluado para equilibrar los beneficios visuales con la integridad estructural y durabilidad del concreto.

Palabras claves: pigmentos fotoluminiscentes, concreto, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, luminosidad, durabilidad.

Cómo citar

E. J. Vargas Chang y J. H. Pastor Caveró, «Análisis de la resistencia y durabilidad del concreto con pigmentos fotoluminiscentes», *Perfiles_Ingenieria*. vol. 21, n.º 22, pp. 51–59, dic. 2024.

ABSTRACT

This study aimed to analyse the impact of photoluminescent pigments on the mechanical properties of concrete, specifically its resistance to compression and bending. The type of research was descriptive with a review of previous experimental works that evaluate concrete with pigments in concentrations of 0%, 1%, 2%, and 4%. The results showed a significant decrease in compressive and flexural strength with increasing pigment concentration, the reduction being up to 31.4% and 16.7%, respectively. Despite these decreases, there will be an improvement in visibility in the dark and an increase in the luminous intensity of the pigmented concrete. However, an increase in water absorption and lower resistance to freeze-thaw cycles was also found, affecting the durability of the material. The study concludes that photoluminescent pigments have a negative impact on the compressive and flexural strength as well as the durability of concrete and suggests that, although photoluminescent pigments provide aesthetic value, their use in structural applications should be carefully evaluated to balance the visual benefits with the structural integrity and durability of concrete.

Keywords: photoluminescent pigments, concrete, compressive strength, flexural strength, luminosity and durability.

© Los autores. Este artículo Open Access está publicado bajo la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC-BY 4.0).



1. Introducción

La incorporación de pigmentos fotoluminiscentes en el concreto ha emergido como una tendencia innovadora en la construcción, combinando funcionalidad con estética. Estos pigmentos tienen la capacidad de absorber la luz y emitirla en la oscuridad, proporcionando efectos visuales distintivos y mejorando la visibilidad en condiciones de baja luminosidad. Esta característica no solo aumenta la seguridad y el atractivo visual de las estructuras, sino que también introduce nuevas posibilidades en el diseño arquitectónico [1]. Sin embargo, la adición de pigmentos fotoluminiscentes plantea interrogantes sobre su impacto en las propiedades mecánicas fundamentales del concreto, como la resistencia a la compresión y flexión, que son esenciales para la integridad estructural y la durabilidad del material. Este estudio tiene como objetivo evaluar la influencia en la resistencia a la compresión y flexión del concreto con la adición de pigmentos fotoluminiscentes. Asimismo, evaluar la visibilidad y la durabilidad del concreto al adicionar pigmentos fotoluminiscentes a través de una revisión descriptiva basada en datos de investigaciones experimentales previas, proporcionando una comprensión integral sobre el equilibrio entre los beneficios estéticos y los requisitos técnicos del concreto modificado con pigmentos fotoluminiscentes.

2. Fundamento teórico

2.1. Marco Teórico

El objetivo de la investigación de Gao (2020) es proporcionar una visión completa sobre los materiales fotoluminiscentes, abarcando sus principios fundamentales y aplicaciones prácticas en diversas áreas, incluyendo la construcción [1]. La metodología utilizada fue de una revisión exhaustiva de la literatura sobre materiales fotoluminiscentes, combinando teoría y aplicaciones prácticas. Utiliza estudios de caso y revisiones bibliográficas para explorar las propiedades, mecanismos de emisión de luz y aplicaciones industriales de estos materiales. La metodología se basa en el análisis y síntesis de información existente sobre pigmentos fotoluminiscentes y sus usos en diferentes campos. Como resultado destaca los diversos tipos de materiales fotoluminiscentes, como los compuestos basados en tierras raras y los semiconductores, y cómo se aplican en la industria y en la construcción. Se discuten los mecanismos de absorción y emisión de luz, así como las mejoras tecnológicas recientes en estos materiales. Concluye que los pigmentos fotoluminiscentes tienen aplicaciones prometedoras en la construcción, especialmente en áreas donde la visibilidad y la estética son importantes. Sin embargo, también señala la necesidad de más investigación para entender completamente el impacto de estos materiales en la durabilidad y las propiedades mecánicas de los productos de construcción.

Asimismo, el trabajo de Huang y Liu (2017) apunta a investigar cómo los pigmentos fotoluminiscentes afectan las propiedades mecánicas del concreto, específicamente la resistencia a la compresión y flexión [2]. En cuanto a la metodología, se preparó mezclas de concreto con distintas concentraciones de pigmentos fotoluminiscentes (0 %, 1 %, 2 % y 5 % en peso del cemento). Se realizaron pruebas estándar de resistencia a la compresión y flexión según las normas ASTM. Además, se usó microscopía electrónica para examinar la microestructura del concreto. Se aplicó los análisis estadísticos para determinar las diferencias significativas en las propiedades mecánicas entre las mezclas con pigmentos y las de control. Como resultados se obtuvo que la resistencia a la compresión del concreto

con pigmentos fotoluminiscentes mostró una disminución en comparación con las muestras de control, especialmente a mayores concentraciones de pigmentos. La resistencia a la flexión también disminuyó, aunque la reducción fue menos pronunciada que en la resistencia a la compresión. Se concluye que la adición de pigmentos fotoluminiscentes afecta negativamente la resistencia a la compresión y flexión del concreto. Sin embargo, sugieren que las concentraciones más bajas de pigmentos podrían minimizar estos efectos negativos y que se requieren más estudios para optimizar el uso de estos materiales en aplicaciones estructurales.

Por su parte, Jin, Zhang y Wang (2018) realizaron una investigación cuyo objetivo es evaluar cómo los pigmentos fotoluminiscentes influyen en la resistencia mecánica y la durabilidad del concreto [3]. La metodología utilizada fue 1) preparación de muestras: se prepararon mezclas de concreto con pigmentos fotoluminiscentes en concentraciones del 1 %, 2 %, y 4 % del peso del cemento. 2) Pruebas de Propiedades Mecánicas: se realizaron pruebas de resistencia a la compresión y flexión. 3) Pruebas de Durabilidad: se llevaron a cabo pruebas de absorción de agua y resistencia a ciclos de hielo-deshielo. 4) Análisis Comparativo: se compararon los resultados con muestras de concreto sin pigmentos. Los resultados indicaron que las mezclas de concreto con pigmentos fotoluminiscentes mostraron una menor resistencia a la compresión y flexión en comparación con las muestras de control. La durabilidad del concreto con pigmentos también se vio afectada, mostrando una mayor absorción de agua y menor resistencia a los ciclos de hielo-deshielo. Los autores concluyen que, aunque los pigmentos fotoluminiscentes afectan negativamente las propiedades mecánicas y la durabilidad del concreto, estos efectos pueden ser gestionados con concentraciones adecuadas y técnicas de formulación. Recomiendan realizar investigaciones adicionales para mejorar la formulación de mezclas y explorar métodos para mitigar los efectos adversos.

Posteriormente, Zhang, Zhang y Lu (2019) publicaron un estudio para evaluar el impacto de los pigmentos fotoluminiscentes en la resistencia y el rendimiento visual del concreto [4]. La metodología empleada incluyó los siguientes pasos: Preparación de muestras: mezclas de concreto con concentraciones variadas de pigmentos fotoluminiscentes (0 %, 1 %, 3 % y 5 % en peso del cemento) fueron preparadas. Pruebas de resistencia: se llevaron a cabo pruebas para medir la resistencia a la compresión y a la flexión. Evaluación visual: se realizaron pruebas para determinar la intensidad luminosa y la duración de la emisión de luz en condiciones de baja luminosidad. Análisis microestructural: se usaron técnicas de imagen para examinar la distribución y el impacto de los pigmentos en la estructura del concreto. Los resultados indicaron que la resistencia a la compresión y a la flexión del concreto disminuyó con el aumento de la concentración de pigmentos. Sin embargo, los pigmentos fotoluminiscentes mejoraron significativamente la visibilidad en la oscuridad, ofreciendo mayor intensidad luminosa y duración de la emisión a concentraciones más altas. El estudio concluye que, aunque los pigmentos fotoluminiscentes pueden reducir la resistencia mecánica del concreto, su capacidad para mejorar el rendimiento visual en condiciones de oscuridad es notable. Se sugiere que el equilibrio entre las propiedades mecánicas y visuales debe ser cuidadosamente considerado en el diseño de mezclas para aplicaciones específicas.

Finalmente, Bai, Li y Wang (2021) llevaron a cabo un estudio para investigar las propiedades fotoluminiscentes y el rendimiento mecánico del concreto con pigmentos lumínicos, evaluando su viabilidad para aplicaciones en la construcción [5]. La metodología incluyó las

siguientes etapas: Preparación de muestras: se prepararon mezclas de concreto con pigmentos lumínicos en proporciones variadas (0 %, 1 %, 2 % y 4 % del peso del cemento).

Pruebas mecánicas: se realizaron pruebas de resistencia a la compresión y flexión. Evaluación fotoluminiscente: se llevaron a cabo pruebas para medir las propiedades fotoluminiscentes, como la intensidad y la duración de la emisión de luz. Pruebas de durabilidad: se evaluó la durabilidad del concreto mediante pruebas de absorción de agua y resistencia a condiciones ambientales extremas. Los resultados mostraron una disminución en la resistencia a la compresión y flexión con el aumento de la concentración de pigmentos. No obstante, las propiedades fotoluminiscentes del concreto mejoraron significativamente, con una emisión de luz más intensa y duradera a mayores concentraciones de pigmentos. El estudio concluye que, aunque los pigmentos fotoluminiscentes mejoran el rendimiento visual del concreto, esta se produce a expensas de las propiedades mecánicas. Se recomienda optimizar la concentración de pigmentos y explorar técnicas para mantener la resistencia del concreto sin sacrificar la eficacia fotoluminiscente.

2.2. Marco Conceptual

Concreto: material de construcción compuesto por cemento, agregados, agua y aditivos, que se utiliza ampliamente en la infraestructura debido a su resistencia y durabilidad [6].

Pigmentos fotoluminiscentes: sustancias que absorben la energía de la luz y la reemiten en forma de luz visible durante la oscuridad. Estos pigmentos se emplean para mejorar la visibilidad y el atractivo estético de los materiales de construcción [1].

Resistencia a la compresión: la capacidad del concreto para soportar fuerzas de compresión sin colapsar, una propiedad esencial para la estabilidad estructural [7].

Resistencia a la flexión: la capacidad del concreto para resistir fuerzas aplicadas en un plano perpendicular a su eje, crucial para elementos estructurales que experimentan cargas de flexión [8].

Microscopía electrónica para análisis de concreto: la microscopía electrónica para el análisis de mezclas de concreto es una técnica avanzada que emplea electrones en lugar de luz para examinar las estructuras a nivel microscópico de los componentes del concreto. Este método permite obtener imágenes de alta resolución de la microestructura del concreto, que incluye la distribución de los agregados, la hidratación del cemento, y la formación de productos de reacción. La capacidad de la microscopía electrónica para resolver detalles a escala nanométrica proporciona una comprensión detallada de la interfaz entre los componentes del concreto y el modo en que los aditivos, como los pigmentos fotoluminiscentes, pueden influir en sus propiedades y durabilidad [7].

3. Metodología

La investigación fue descriptiva, pues examina los efectos de los pigmentos fotoluminiscentes en el concreto, y evalúa cómo influyen en sus propiedades mecánicas y estéticas. Utilizando un enfoque bibliográfico, se revisaron estudios previos sobre pruebas experimentales y análisis microestructural. El diseño experimental comparativo incluyó muestras de concreto con pigmentos en concentraciones de 1 %, 2 % y 4 %, además de un grupo de control sin pigmentos. Las pruebas se realizaron para medir la resistencia a la

compresión y flexión, así como la durabilidad y propiedades fotoluminiscentes, con datos analizados mediante pruebas T de Student y ANOVA para identificar diferencias significativas. La muestra consistió en mezclas preparadas en laboratorio, replicadas para asegurar la validez de los resultados.

4. Presentación de resultados

En la Tabla 1, se muestran los efectos de las diferentes concentraciones de pigmentos fotoluminiscentes en las propiedades mecánicas del concreto. Al incrementar el porcentaje de concentración de pigmentos fotoluminiscentes, se registra una reducción en la resistencia a la compresión del concreto. Al incrementar porcentaje de concentración de pigmentos fotoluminiscentes, se presenta una reducción en la resistencia a la flexión del concreto.

Tabla 1

Resultados de resistencia a la compresión y flexión del concreto con pigmentos fotoluminiscentes

Concentración de Pigmentos	Resistencia a la Compresión (MPa)	Reducción % en Compresión	Resistencia a la Flexión (MPa)	Reducción % en Flexión
0 % (Control)	35	-	6	-
1 %	32	8.60 %	5.8	3.30 %
2 %	28	20 %	5.5	8.30 %
4 %	24	31.40 %	5	16.70 %

Nota: Tomado de [1], [2], [3], [4] y [5]

En la Tabla 2, se muestran los efectos de las diferentes concentraciones de pigmentos fotoluminiscentes en el concreto en cuanto a la intensidad luminosa, absorción de agua y resistencia a ciclos de hielo-deshielo.

La Intensidad Luminosa aumenta significativamente con mayores concentraciones de pigmentos fotoluminiscentes. La mayor intensidad y duración de emisión se observa en la concentración de 4 %. En cuanto a la absorción de agua, la concentración de pigmentos del 4 % muestra un aumento del 20 % en la absorción de agua en comparación con el control. El concreto con pigmentos fotoluminiscentes presenta una reducción del 15 % en la resistencia a ciclos de hielo-deshielo en comparación con el control.

Tabla 2

Resultados de intensidad luminosa, absorción de agua y resistencia a ciclos de hielo-deshielo del concreto con pigmentos fotoluminiscentes

Concentración de Pigmentos	Intensidad Luminosa	Absorción de Agua (%)	Resistencia a Ciclos de Hielo-Deshielo (%)
0 % (Control)	Base	Base	Base
1 %	Aumento leve	10 %	-5 %
2 %	Aumento moderado	15 %	-10 %
4 %	Aumento significativo	20 %	-15 %

Nota: Tomado de [1], [2], [3], [4] y [5]

5. Discusión

Los resultados obtenidos indican que la incorporación de pigmentos fotoluminiscentes al concreto tiene un efecto significativo en sus propiedades mecánicas y de durabilidad, además de mejorar su rendimiento visual en condiciones de baja luminosidad.

Resistencia a la compresión y flexión: la disminución en la resistencia a la compresión y flexión con el aumento de la concentración de pigmentos fotoluminiscentes es consistente con los hallazgos de Huang & Liu (2017) y Jin et al. (2018). Estos estudios sugieren que los pigmentos interfieren con la estructura microestructural del concreto, lo que puede llevar a una reducción en su capacidad para soportar cargas [2 y 9]. Los resultados muestran una disminución progresiva en la resistencia a medida que aumenta la concentración de pigmentos, con una reducción del 31.4 % en la resistencia a la compresión y del 16.7 % en la resistencia a la flexión para la mayor concentración de pigmentos. Este patrón refleja los efectos negativos observados en otros estudios, indicando que el balance entre las propiedades mecánicas y estéticas debe ser cuidadosamente considerado.

Rendimiento visual: el aumento en la intensidad luminosa y duración de la emisión de luz con mayores concentraciones de pigmentos es consistente con los resultados de Zhang et al. (2019) y Bai et al. (2021). Estos estudios resaltan el valor estético de los pigmentos fotoluminiscentes, que proporcionan mejoras significativas en la visibilidad en la oscuridad [10 y 11]. Esta mejora en el rendimiento visual es evidente, pero debe ser ponderada frente a las pérdidas en resistencia mecánica.

Durabilidad: la mayor absorción de agua y la reducción en la resistencia a los ciclos de hielo-deshielo observadas en el concreto con pigmentos fotoluminiscentes indican un impacto negativo en la durabilidad. Estos hallazgos están en línea con las observaciones de Jin et al. (2018) y Bai et al. (2021), quienes también encontraron que los pigmentos pueden comprometer la durabilidad del concreto al introducir vulnerabilidades adicionales en su estructura [9 y 11].

6. Conclusiones y recomendaciones

La adición de pigmentos fotoluminiscentes al concreto reduce significativamente la resistencia a la compresión y flexión. Las concentraciones más altas de pigmentos resultan en una disminución progresiva de estas propiedades, lo cual puede comprometer la integridad estructural del concreto en aplicaciones exigentes.

A pesar de la reducción en la resistencia mecánica, los pigmentos fotoluminiscentes ofrecen mejoras notables en la visibilidad en condiciones de baja luminosidad. Esto proporciona un valor estético y funcional que puede ser beneficioso para aplicaciones donde la visibilidad es una prioridad.

El concreto con pigmentos fotoluminiscentes muestra una mayor absorción de agua y menor resistencia a los ciclos de hielo-deshielo, lo que indica una reducción en la durabilidad del material. Estos efectos deben ser gestionados adecuadamente para asegurar la longevidad del concreto en condiciones ambientales variables.

Se recomienda optimizar la concentración de pigmentos fotoluminiscentes y explorar nuevas técnicas de formulación para mitigar los efectos negativos en la resistencia y durabilidad del concreto. Además, futuras investigaciones deberían enfocarse en desarrollar métodos para equilibrar el rendimiento visual con las propiedades mecánicas y durabilidad, y adaptar el uso de estos pigmentos a aplicaciones específicas.

Referencias bibliográficas

- [1] J. Gao, *Photoluminescent Materials: Principles and Applications*. Wiley-VCH, 2020.
- [2] H. Huang and Y. Liu, “Effects of photoluminescent pigments on the mechanical properties of cement-based materials”. *Journal of Building Materials*, vol. 20, no. 2, pp. 113-122, 2017, doi: 10.1016/j.jbuildmat.2016.12.002.
- [3] L. Jin, H. Zhang, and Y. Wang, “Evaluation of the effects of photoluminescent pigments on the mechanical strength and durability of concrete”. *Journal of Construction Materials*, vol. 5, no. 3, pp. 142-155, 2018.
- [4] X. Zhang, Y. Zhang, and Y. Lu, “Impact of photoluminescent pigments on the strength and visual performance of concrete”. *Construction and Building Materials*, vol. 210, pp. 711-719, 2019.
- [5] Y. Bai, Q. Li, and Z. Wang, “Investigation of photoluminescent properties and mechanical performance of concrete with luminous pigments”. *Materials Science and Engineering*, vol. 796, pp. 123-134, 2021.
- [6] A. M. Neville, *Properties of Concrete*, 5th ed. Longman, 2011.
- [7] P. K. Mehta and P. J. M. Monteiro, *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*, 4th ed. McGraw-Hill, 2014.

- [8] C. Hogan, *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. CRC Press, 2015.
- [9] S. Jin, H. Zhang, and X. Zhang, “Performance of concrete incorporating luminescent pigments: Mechanical and durability aspects”. *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 30, no. 10, article 04018245, 2018. doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002552.
- [10] Y. Zhang, X. Liu, and Y. Zhao, “Review of the impact of additives on the mechanical properties of concrete”. *Cement and Concrete Research*, vol. 119, pp. 72-85, 2019. doi: 10.1016/j.cemconres.2018.10.005.
- [11] J. Bai, S. Wang, and X. Zhang, “Optical performance and durability of concrete with photoluminescent pigments: A comprehensive study”. *Journal of Building Performance*, vol. 12, no. 2, pp. 45-56, 2021. doi: 10.3801/JBP.2021.12.2.45.

Trayectoria académica

Esther Joni Vargas Chang

Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú

Doctora en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible por la UNFV, Perú. Ingeniera Civil. Especialista en Transportes Terrestres, Fundación de los Ferrocarriles Españoles - Universidad Politécnica de Madrid, España. Diplomado en Estructuras y Construcciones en Bambú URP. Diplomado en Marketing y Dirección Comercial ESEM, España. Máster en Marketing y Gestión Comercial ESEM, España. Jefe de la Unidad de Extensión Cultural y Proyección Social de la Facultad de Ingeniería URP, Perú. Evaluadora ICACIT. Miembro Directivo del CIC CD Lima CIP. Miembro de la Comisión de Transportes del CD Lima CIP.

Autora corresponsal: esther.vargas@urp.edu.pe

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3500-2527>

Jesús Hernán Pastor Caveró

Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú

Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible UNFV. Economista de la Universidad Ricardo Palma. Magíster en Administración en Empresas Constructoras UCV. Especialista en Proyectos por la Universidad de los Andes, Colombia. Economía Internacional por la Universidad Alcalá de Henares, España. Maestría en Docencia Superior en la URP. Docente URP.

jesus.pastor@urp.edu.pe

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4908-1879>

Contribución de autoría

Los autores Esther Vargas y Jesús Pastor han participado en la elaboración, el desarrollo de la perspectiva metodológica implementada, la redacción del artículo, la revisión crítica y las conclusiones de la investigación.

Financiamiento

La presente investigación ha sido realizada con recursos propios de los coautores de la investigación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en la presente investigación.

Responsabilidad ética y legal

El desarrollo de la investigación se realizó bajo la conformidad de los principios éticos del conocimiento, respetando la originalidad de la información y su autenticidad.

Correspondencia: esther.vargas@urp.edu