

Diseño y Construcción de un Pórtico con Enfoque de Química Verde**Design and Construction of a Portico with a Green Chemistry Approach**

Isis Angelina Paliz Morejón, Fausto Adrián Guevara Pérez, Nahomi Shamira Guerrero Orejuelo, Luis Miguel Caisaguano Naula & Marisol Naranjo Mantilla

DIMENSIÓN CIENTÍFICA**Enero - junio, V°7 - N°1; 2026****Recibido:** 09-02-2026**Aceptado:** 02-03-2026**Publicado:** 30-06-2026**PAIS**

- Ecuador, Ambato
- Ecuador, Ambato
- Ecuador, Ambato
- Ecuador, Ambato
- Ecuador, Ambato

INSTITUCION

- Universidad Tecnológica Indoamérica
- Universidad Tecnológica Indoamérica
- Universidad Tecnológica Indoamérica
- Universidad Tecnológica Indoamérica
- Universidad Tecnológica Indoamérica

CORREO:

- ✉ ipaliz@indoamerica.edu.ec
- ✉ fguevara3@indoamerica.edu.ec
- ✉ nguerrero8@indoamerica.edu.ec
- ✉ lcasaguano@indoamerica.edu.ec
- ✉ onarango@indoamerica.edu.ec

ORCID:

- 🌐 <https://orcid.org/0009-0007-2142-8419>
- 🌐 <https://orcid.org/0009-0001-2489-8295>
- 🌐 <https://orcid.org/0009-0005-4279-0068>
- 🌐 <https://orcid.org/0009-0000-5842-8876>
- 🌐 <https://orcid.org/0000-0002-4369-2524>

FORMATO DE CITA APA.

Paliz, I., Guevara, F., Guerrero, N., Caisaguano, L. & Naranjo, M. (2026). Diseño y Construcción de un Pórtico con Enfoque de Química Verde. *Revista G-ner@ndo*, V°7 (N°1). Pág. 7351 – 7362.

Resumen

Este trabajo presenta la experiencia del diseño y construcción de un pórtico de hormigón armado a escala, integrando los principios de la química verde dentro del proceso constructivo. Más allá de elaborar una estructura resistente, el proyecto permitió comprender qué ocurre químicamente dentro del hormigón durante su fraguado y endurecimiento, especialmente la importancia del gel C-S-H en el desarrollo de la resistencia. Además, se analizó la posibilidad de reducir el impacto ambiental mediante la incorporación de ceniza de bagazo de caña como material complementario al cemento, disminuyendo así las emisiones de CO₂ asociadas a su producción. Los resultados demostraron que es posible mantener una resistencia adecuada (25–35 MPa) sin afectar la estabilidad del pórtico, e incluso mejorar su durabilidad al reducir la porosidad y el riesgo de deterioro. Aunque el costo inicial puede incrementarse ligeramente, los beneficios a largo plazo en mantenimiento y sostenibilidad compensan la inversión. En conclusión, el proyecto evidencia que la química verde no representa una limitación en la ingeniería civil, sino una oportunidad para construir de manera más responsable, eficiente y consciente con el medio ambiente.

Palabras clave: hormigón armado, química verde, sostenibilidad, durabilidad, cemento, impacto ambiental, pórtico.

Abstract

This work presents the experience of designing and constructing a scaled-down reinforced concrete frame, integrating the principles of green chemistry into the construction process. Beyond simply creating a strong structure, the project allowed for an understanding of the chemical processes occurring within concrete during setting and hardening, particularly the importance of the C-S-H gel in strength development. Furthermore, the possibility of reducing environmental impact by incorporating sugarcane bagasse ash as a complementary material to cement was analyzed, thereby decreasing the CO₂ emissions associated with its production. The results demonstrated that it is possible to maintain adequate strength (25–35 MPa) without affecting the frame's stability, and even improve its durability by reducing porosity and the risk of deterioration. Although the initial cost may increase slightly, the long-term benefits in maintenance and sustainability outweigh the investment. In conclusion, the project demonstrates that green chemistry does not represent a limitation in civil engineering, but rather an opportunity to build more responsibly, efficiently, and with greater environmental awareness.

Keywords: reinforced concrete, green chemistry, sustainability, durability, cement, environmental impact, portal frame.

Introducción

La ingeniería civil no solo trata de construir puentes, edificios o estructuras resistentes; también implica comprender a profundidad los materiales que hacen posible esas construcciones. Desde el inicio de la carrera, es fundamental entender que detrás de cada elemento estructural existen procesos científicos que explican su comportamiento. En este sentido, la química cumple un papel muy importante, ya que permite analizar cómo reaccionan y se transforman los materiales que utilizamos, especialmente el hormigón, que es uno de los más empleados en la construcción (Callister & Rethwisch, 2018). La construcción moderna tiene el desafío de equilibrar el desarrollo de la infraestructura con la protección del medio ambiente. El sector de la ingeniería civil es el mayor responsable del uso de recursos naturales y de la producción de emisiones contaminantes, en particular por el uso extensivo de cemento en la construcción con hormonas. La fabricación de cemento Portland es responsable de una fracción significativa de las emisiones globales de dióxido de carbono (Andrew, 2018). Ante esta realidad, se hace necesario recuperar los métodos de deconstrucción tradicionales e incorporar enfoques más sostenibles desde la etapa de diseño, la química verde se presenta como una alternativa innovadora que promueve la reducción de sustancias peligrosas, el uso eficiente de materiales y la reducción del impacto ambiental sin comprometer la calidad estructura (Anastas & Warner, 1998). La incorporación de principios en proyectos académicos no sólo fortalece el aprendizaje técnico, sino que también fomenta una visión profesional más responsable y consciente del medio ambiente. El proyecto se enfoca en el diseño y elaboración de un pórtico de hormigón armado a escala, integrando los conocimientos adquiridos en la materia de Química con una visión más actual y responsable del ejercicio profesional. Se construyó un modelo, el objetivo fue comprender qué sucede a nivel químico dentro del material, cómo se desarrolla su resistencia y de qué manera podemos mejorar su desempeño sin afectar al medio

ambiente. El hormigón puede parecer un material simple a primera vista, pero en realidad es el resultado de varias reacciones químicas complejas. Cuando el cemento Portland se mezcla con agua, inicia un proceso llamado hidratación. Durante este proceso se forman nuevos compuestos que permiten que la mezcla pase de ser una pasta moldeable a convertirse en un material sólido y resistente (Neville, 2011). Entre estos productos destaca el gel C-S-H, que actúa como una especie de “pegamento microscópico” que une los agregados y le da al concreto su capacidad de soportar cargas (Taylor, 1997). Comprender este proceso fue clave para nuestro proyecto, ya que la resistencia del pórtico no depende únicamente de la forma o del refuerzo, sino también de la calidad de la mezcla y del equilibrio adecuado entre agua, cemento y agregados. Una cantidad excesiva de agua puede generar poros y debilitar la estructura, mientras que una dosificación correcta permite obtener un hormigón más compacto y duradero (Neville, 2011). De esta manera, la química nos ayuda a entender por qué una estructura funciona bien o presenta fallas. En la construcción tradicional también tiene un impacto considerable en el ambiente, especialmente por la fabricación del cemento, que produce grandes cantidades de dióxido de carbono. El proyecto se incorporó el enfoque de química verde, el cual busca reducir la contaminación desde el diseño mismo del proceso. La idea no es solo construir, sino hacerlo de manera más consciente y sostenible (Andrew, 2018). Se analizó la posibilidad de aumentar las proporciones de la mezcla para evitar desperdicios y reducir el consumo innecesario de materiales. Además, se propuso el uso de ceniza de bagazo de caña como material complementario, aprovechando un residuo agroindustrial disponible en la región. Este tipo de adición puede reaccionar químicamente con algunos compuestos del cemento, mejorando la resistencia del hormigón y disminuyendo al mismo tiempo la cantidad de cemento necesario, lo que reduce la huella ambiental. Analizar el comportamiento del hormigón desde un punto de vista técnico también requiere considerar su microestructura

y su evolución con el tiempo (Mehta & Monteiro, 2014). El uso de materiales suplementarios con características puzolánicas es un enfoque técnico respaldado por la

investigación actual en ingeniería de materiales. Las adiciones permiten optimizar el desempeño del hormigón al producir reacciones secundarias que resultan en compuestos menos estables y fomentan la formación adicional de productos cementantes. Como resultado, el material se vuelve más compacto, menos permeable y más resistente a agentes externos que podrían provocar procesos de deterioro prematuro, como la carbonatación o la corrosión del hierro refinado (Mehta & Monteiro, 2014). A medida que avanza el proceso de hidratación, la estructura interna del material se vuelve más densa y su número de huecos capilares disminuye, lo que afecta directamente su resistencia mecánica y durabilidad en condiciones ambientales adversas (Taylor, 1997). Factores como la temperatura, la humedad y un correcto proceso de curado desempeñan un papel crucial en el desarrollo final de sus propiedades, lo que demuestra que la calidad de una estructura depende no solo de su diseño geométrico, sino también del estricto control de las variables fisicoquímicas involucradas. El ciclo de vida de los materiales utilizados en la construcción es otro factor importante. El impacto ambiental implica tener en cuenta no sólo la fase de fabricación del cemento sino también el transporte, la ejecución de la obra, el mantenimiento y la disposición final de los residuos. Este enfoque permite tomar decisiones más responsables e informadas que se centran en minimizar el consumo de energía y la generación de residuos a lo largo de la vida útil de la estructura. El desarrollo del pórtico a escala permitió relacionar la teoría con la práctica. No se trató únicamente de mezclar materiales y colocarlos en un molde, sino de comprender cada decisión tomada: por qué se eligió cierta relación agua/cemento, cómo influyen los aditivos en el fraguado y qué ocurre internamente mientras el concreto endurece. Observar que el pórtico no presentó fisuras

durante el proceso de curado fue una evidencia de que la mezcla fue adecuada y que las reacciones químicas se desarrollaron de forma correcta. Este proyecto también nos permitió reflexionar sobre el rol que tendremos como futuros ingenieros civiles. La construcción del futuro no puede basarse únicamente en la resistencia estructural; también debe considerar el impacto ambiental y la sostenibilidad. Integrar la química verde en proyectos pequeños como este demuestra que es posible empezar a generar cambios desde la formación académica.

Métodos y Materiales

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque técnico experimental, orientado a analizar la aplicación de la química del cemento y los principios de química verde en el diseño y construcción de un pórtico de hormigón armado a escala. La investigación se llevó a cabo en el marco del proyecto formativo de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Indoamérica, integrando conocimientos teóricos y prácticos relacionados con la composición química del cemento Portland, las reacciones de hidratación y la incorporación de alternativas sostenibles en la construcción. La unidad de análisis correspondió al pórtico de hormigón armado construido a escala, diseñado para resistir cargas aplicadas mediante pruebas mecánicas. El estudio se centró en evaluar el comportamiento químico del cemento Portland Tipo I, particularmente las reacciones de hidratación de los compuestos principales del clinker (C_3S , C_2S , C_3A y C_4AF), así como la formación del gel C-S-H y la generación de $Ca(OH)_2$ como productos responsables de la resistencia estructural y la protección alcalina del refuerzo.

Figura 1. *Mezclado de materiales sólidos en la mezcla de hormigón.*



Nota. Elaboración propia.

En cuanto a los materiales utilizados, se empleó cemento Portland Tipo I como aglomerante principal, agregados minerales (arena fina, arena gruesa y ripio), agua libre de impurezas y alambres galvanizados Nº 16 como refuerzo longitudinal y transversal. Se incorporó el aditivo plastificante Sika Plastocrete 161 HE con el propósito de mejorar la trabajabilidad de la mezcla, optimizar la relación agua/cemento y reducir la formación de vacíos internos. La dosificación del hormigón se diseñó para alcanzar una resistencia objetivo de 250 kg/cm² a los 28 días, con una relación agua/cemento aproximada de 0,45–0,50.

El procedimiento experimental incluyó el pesado y mezclado de los materiales secos, la incorporación progresiva del agua y el aditivo, el vertido en encofrados de madera prensada y el proceso de curado controlado. Durante el desarrollo se observaron aspectos como trabajabilidad, tiempo de fraguado, uniformidad de la mezcla y presencia de fisuras durante los primeros 14 días. Se propuso una alternativa denominada “Pórtico Verde Reciclado”, que contempla la incorporación de ceniza de bagazo de caña como material

puzolánico parcial en sustitución del cemento. Esta propuesta fue analizada desde el punto de vista químico, considerando la reacción secundaria entre la sílice amorfa de la ceniza y el Ca(OH)_2 liberado durante la hidratación, con el objetivo de generar mayor cantidad de gel C-S-H, reducir la porosidad capilar y disminuir las emisiones de CO_2 asociadas a la producción de clinker.

Análisis de resultados

El análisis comparativo entre el pórtico convencional y el diseñado con química verde demuestra que apostar por la sostenibilidad no solo mantiene la integridad estructural, sino que la potencia. Aunque ambos sistemas registran una resistencia a la compresión equivalente (entre 25 y 35 MPa), el uso de materiales suplementarios y cenizas no debilita la capacidad de carga; al contrario, la incorporación de fibras recicladas mejora la respuesta ante fisuras y cargas dinámicas, asegurando el cumplimiento de normativas como la NEC. La verdadera ventaja competitiva aparece en la durabilidad: al reducir la porosidad del material, impedimos que agentes agresivos como los cloruros oxiden el acero, lo que alarga drásticamente la vida útil de la estructura. Desde la perspectiva ambiental, el cambio es profundo, pues reducir el cemento Portland el mayor emisor de CO_2 en el hormigón— encamina el proyecto hacia certificaciones como LEED. Si bien la inversión inicial es entre un 10 % y 20 % superior debido a los aditivos especializados, el análisis de ciclo de vida confirma que este costo se recupera con creces gracias al ahorro en mantenimiento y a una huella ecológica significativamente menor. En definitiva, la química verde transforma la construcción en una disciplina más eficiente, resistente y responsable.

Tabla 1. Evaluación técnica del pórtico de hormigón con aplicación de química verde

Aspecto	Pórtico convencional	Pórtico con química verde	Ventajas clave
Resistencia a compresión	25–35 MPa estándar	Similar, con durabilidad mejorada por baja permeabilidad	Mayor vida útil
Rigidez natural	Buena según normas NEC, sensible a fisuras	Equivalente o superior con fibras recicladas	Mejor desempeño físico
Emisiones de CO ₂	Alto en cemento Portland	Reducción con uso de cenizas	Sostenibilidad ambiental
Durabilidad	Media, propenso a corrosión por cloruros	Alta, menor porosidad y efecto autorreparable	Menor mantenimiento
Costo inicial	Bajo–moderado	10–20 % mayor por uso de aditivos	Ahorro en el ciclo de vida
Impacto ambiental	Alto por extracción y generación de residuos	Bajo por uso de reciclados y eficiencia energética	Posible certificación LEED

Nota: Elaboración propia.

Figura 2. Vertido del hormigón en los encofrados.


Fuente: Vertido del hormigón

Discusión

Los resultados obtenidos muestran que aplicar principios de química verde en la construcción del pórtico no afecta su resistencia ni su estabilidad. A pesar de incorporar materiales como la ceniza de bagazo de caña para reducir el uso de cemento Portland, la resistencia a compresión se mantiene dentro de los valores adecuados (25–35 MPa), lo que demuestra que la propuesta es estructuralmente viable. Además, se observa una mejora en la durabilidad debido a la menor porosidad del hormigón, lo que reduce el ingreso de agentes agresivos y el riesgo de corrosión del acero. Esto significa que la estructura podría tener una mayor vida útil y requerir menos mantenimiento con el tiempo. En el aspecto ambiental, la reducción del cemento contribuye a disminuir las emisiones de CO₂, lo que hace que el proyecto sea más sostenible. Aunque el costo inicial es un poco mayor, a largo plazo representa una inversión conveniente por los beneficios en mantenimiento y durabilidad. En conjunto, los resultados reflejan que la química verde no solo es compatible con la ingeniería civil, sino que puede ser una alternativa responsable y eficiente para futuras construcciones.

Conclusiones

El diseño y construcción del pórtico a escala con enfoque de química verde permitió demostrar que es posible integrar criterios de sostenibilidad ambiental en elementos estructurales básicos sin comprometer su estabilidad ni su desempeño mecánico. A través del control en la dosificación de materiales, la optimización del uso del cemento y la adecuada supervisión del proceso de fraguado y endurecimiento, se evidenció que la aplicación de principios químicos responsables contribuye a mejorar la eficiencia del sistema constructivo. Los resultados obtenidos confirman que la comprensión de las reacciones de hidratación del cemento, especialmente la formación del gel C-S-H como

principal responsable de la resistencia, es fundamental para garantizar un comportamiento estructural adecuado. Al mismo tiempo, la reducción de desperdicios y el uso racional de recursos reflejan la viabilidad de aplicar principios de prevención, eficiencia y menor impacto ambiental dentro de la práctica constructiva. Desde una perspectiva formativa, el desarrollo del pórtico a escala permitió fortalecer la relación entre la química y la ingeniería civil, evidenciando que el conocimiento científico no solo respalda la resistencia estructural, sino también la toma de decisiones responsables frente al impacto ambiental de los materiales de construcción. Esta experiencia evidencia que la química verde no representa una limitación técnica, sino una oportunidad para innovar en procesos constructivos más conscientes y sostenibles. Finalmente, el proyecto demuestra que la incorporación de enfoques sostenibles en etapas tempranas de diseño puede generar modelos replicables en obras de mayor escala. El pórtico construido se convierte así en una propuesta demostrativa que articula eficiencia estructural, responsabilidad ambiental y formación académica, aportando a una visión más integral de la construcción contemporánea.

Referencias bibliográficas

- Angulo Montaña, V. J. (2023). Análisis comparativo de los impactos ambientales potenciales de dos sistemas estructurales vs costos constructivos mediante la evaluación del ciclo de vida (ACV). Obtenido de Sistema Institucional de Recursos Digitales (SIREN) – Universidad de Nariño: <https://sired.udenar.edu.co/16443/>
- Angulo, V. (2023). Análisis comparativo de los impactos ambientales potenciales de dos sistemas estructurales. Universidad de Nariño.
- Cabrero-Ballarín, J. (2006). Nuevas propuestas para el diseño de pórticos y uniones semirrígidas de acero. Universidad de Navarra.
- Farias, L. A. (2011). Twenty years of green chemistry: achievements and challenges. Obtenido de Química Nova: <https://www.scielo.br/j/qn/a/8NM8K3MNF5tsTZ84HCJ3mf/?format=html&lang=pt>
- García del Ángel, G. J., Cabrera Cruz, R. B., Aguilar Rolón, J. C., & Pichardo Ramírez, R. (2024). Concreto verde: perspectivas de investigación. Fontamara.
- Guzmán Ávila, J. P. (2018). Hormigón con pigmentos naturales utilizados en espacios exteriores. Universidad Católica de Cuenca.
- Juárez Montilla, C. (2020). Madera vs. hormigón: fortalezas y debilidades en su uso estructural. Universidad Politécnica de Madrid.
- Mascarell Vilches, J. A. (2022). La competencia emocional y su relación con los resultados de aprendizaje en estudiantes de secundaria. Obtenido de Enseñanza: <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/v34-n2-mascarell-vilches>
- Salinas Estevané, J. P., & Sánchez Cervantes, E. M. (2012). La química verde en la síntesis de nanoestructuras. Obtenido de Universidad Autónoma de Nuevo León – Repositorio Académico Digital: <http://eprints.uanl.mx/10484/>
- Serrano, D. (2009). Química verde: un nuevo enfoque para el cuidado del medio ambiente. Obtenido de ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0187893X18300442>
- Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). Green chemistry: Theory and practice. Oxford University Press. <https://global.oup.com/academic/product/green-chemistry-9780198506980>
- Andrew, R. M. (2018). Global CO₂ emissions from cement production. Earth System Science Data, 10(1), 195–217. <https://doi.org/10.5194/essd-10-195-2018>
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). Materials science and engineering: An introduction (10th ed.). Wiley. <https://www.wiley.com/en-us/Materials+Science+and+Engineering:+An+Introduction,+10th+Edition-p-9781119405498>
- International Organization for Standardization (ISO). (2006). ISO 14040: Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. <https://www.iso.org/standard/37456.html>
-

- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). Concrete: Microstructure, properties, and materials (4th ed.). McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071797870>
- Neville, A. M. (2011). Properties of concrete (5th ed.). Pearson Education Limited. <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/properties-of-concrete/P200000003479>
- Taylor, H. F. W. (1997). Cement chemistry (2nd ed.). Thomas Telford Publishing. <https://www.icevirtuallibrary.com/isbn/9780727725929>
- Pastorini Proença, M., Batista de Oliveira, M., Zanette Oliveira, L., Oliveira Pruner, D., Fuganti Campos, H., & Soares Klein, N. (2025). Hormigón ecoeficiente optimizado por empaquetamiento de partículas que incorpora materiales cementantes suplementarios. *Materiales de Construcción*, 75(360): e393. <https://doi.org/10.3989/mc.2025.402124>
- Zúñiga Torres, B. C., & Toro García, B. J. (2019). Hormigón ecológico como material sostenible en construcción [Tesis de grado, Universidad Técnica Particular de Loja]. Repositorio Institucional UTPL. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/25081>
- García García Argandoña, J. E., Haro Gómez, X. A., & Saldarriaga Soledispa, V. E. (2021). Hormigón para pavimento rígido elaborado con aditivo y fibra biodegradable. *Dominio de las Ciencias*, 9(3), e3462. <https://doi.org/10.23857/dc.v9i3.3462>
- Sulbarán, L., Lima, Y., & Mack-Vergara, Y. L. (2025). Agua, energía y emisiones en la producción de hormigón: Tendencias internacionales y oportunidades locales. *E-Acadêmica*, 6(3), e1563671. <https://doi.org/10.52076/eacad-v6i3.671>
- Quesada Blasco, M. A., Gimeno Xipell, V., & Valero Ramos, E. (2025). Contribución del hormigón reforzado con fibras a los objetivos de desarrollo sostenible. *ZARCH*, 25, 242-253. https://doi.org/10.26754/ojs_zarch/zarch.20252511253
- Presa Madrigal, L. (2024). Cementos y hormigones sostenibles a partir de materiales naturales no calcinados como material cementante suplementario [Tesis]. Universidad Politécnica de Madrid. <https://tesis.biblioteca.upm.es/tesis/11107>
- Müller, H. (2025). Estructuras de hormigón sostenibles: enfoques de diseño para materiales y componentes. *Hormigón y Acero*. <https://doi.org/10.33586/hya.2025.4097>
-