

EVALUACIÓN DEL USO DE MATERIALES RECICLADOS EN LA CONSTRUCCIÓN CIVIL: UN ENFOQUE SOSTENIBLE

EVALUATION OF THE USE OF RECYCLED MATERIALS IN CIVIL CONSTRUCTION: A SUSTAINABLE APPROACH

Ing. Daniel Airton Villagómez Quiroga ^{1 * §}
<https://orcid.org/0009-0006-0312-7586>

DOI: <https://doi.org/10.70722/vzpw2599uf82c>
Recibido: Julio 23, 2024; Aceptado: Septiembre, 25 2024

RESUMEN

Este artículo recopila información sobre el uso y los beneficios de los materiales reciclados en la construcción civil, evaluándolos en comparación con el hormigón convencional. El interés por los materiales reciclados ha aumentado debido a sus beneficios ambientales y su rentabilidad. El estudio se enfoca en materiales como los agregados de concreto reciclado (RCA) y el plástico reciclado, y examina sus propiedades mecánicas, durabilidad y sostenibilidad. Las pruebas incluyeron la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad y la durabilidad en condiciones de erosión y ciclos de congelación/descongelación. Los resultados muestran que los RCA ofrecen propiedades comparables a los materiales convencionales, aunque con una ligera disminución en resistencia y durabilidad. El plástico reciclado, por su parte, presentó limitaciones en aplicaciones estructurales debido a su menor resistencia. Sin embargo, ambos materiales reducen la huella de carbono significativamente, lo que los hace una opción viable y sostenible para infraestructuras no críticas. La investigación concluye que el uso de materiales reciclados contribuye a una construcción más sostenible, reduciendo la demanda de recursos naturales y minimizando los desechos. No obstante, es necesario optimizar las mezclas y mejorar los controles de calidad para maximizar su aplicabilidad en la industria de la construcción.

Palabras claves: Materiales reciclados, Construcción civil, Beneficios ambientales, Agregados de concreto reciclado (RCA), Durabilidad y sostenibilidad.

ABSTRACT

This article compiles information on the use and benefits of recycled materials in civil construction, evaluating them in comparison to conventional concrete. Interest in recycled materials has grown due to their environmental benefits and cost-effectiveness. The study focuses on materials such as recycled concrete aggregates (RCA) and recycled plastic, examining their mechanical properties, durability, and sustainability. Tests included compressive strength, modulus of elasticity, and durability under erosion and freeze-thaw cycles. The results show that RCA offers comparable properties to conventional materials, albeit with a slight decrease in strength and durability. Recycled plastic, on the other hand, presented limitations for structural applications due to its lower strength. However, both materials significantly reduce the carbon footprint, making them a viable and sustainable option for non-critical infrastructure. The research concludes that the use of recycled materials contributes to more sustainable

construction, reducing the demand for natural resources and minimizing waste. Nonetheless, optimizing mixtures and improving quality control are necessary to maximize their applicability in the construction industry.

Keywords: Recycled materials, Civil construction, Environmental benefits, Recycled concrete aggregates (RCA), Durability and sustainability.

Citación: Villagómez Quiroga Daniel A., **EVALUACIÓN DEL USO DE MATERIALES RECICLADOS EN LA CONSTRUCCIÓN CIVIL: UN ENFOQUE SOSTENIBLE.** Revista Científica EMINENTE 2024, 8-2: 67-75.

- ¹ Ingeniero Civil – Docente de la carrera de TS. en Construcción Civil - Unidad Académica Cochabamba - Escuela Militar de Ingeniería.
- * Corresponde al Autor (correo electrónico: qairton180@hotmail.com).
- [§] Dirección de contacto Investigador: Aniceto Rodríguez 432 entre Joaquín Rodrigo y M. Valda - Telf.: (+591) 79348234 Cochabamba – Bolivia.

INTRODUCCIÓN

La construcción civil es una de las industrias que más recursos naturales consume y genera una gran cantidad de desechos y residuos a lo largo de sus procesos. Estos desechos y residuos se presentan en diversas etapas de un proyecto de construcción, desde la planificación y diseño hasta la demolición y la disposición final. En este contexto, el uso de materiales reciclados se presenta como una alternativa sostenible para reducir el impacto ambiental de la construcción. Este estudio se enfoca en evaluar el rendimiento de materiales reciclados en la construcción civil, analizando sus propiedades y comparándolas con materiales convencionales. La investigación busca identificar el potencial de los materiales reciclados como una solución sostenible para la industria de la construcción.

“El uso de materiales reciclados en la construcción civil no solo contribuye a la reducción de residuos y la conservación de recursos naturales, sino que también ofrece beneficios económicos significativos (Pacheco-Torgal & Jalali, 2012; Silva et al., 2014).”

Agregados de concreto reciclado (RCA)

Los agregados de concreto reciclado (RCA) son materiales granulares obtenidos a partir del reciclaje de concreto de demolición o desperdicios de concreto fresco. En lugar de desechar los fragmentos de concretos resultantes de la demolición de estructuras o los excedentes de concreto producidos durante la construcción, estos materiales se trituran y procesan para producir agregados que pueden ser utilizados en nuevas mezclas de concreto.

“Estudios previos han demostrado que los agregados reciclados pueden ofrecer propiedades mecánicas y de durabilidad comparables a los materiales convencionales, lo que los hace adecuados para diversas aplicaciones en la construcción (Tam & Tam, 2008; Khatib, 2005).”

Los RCA pueden estar compuestos por diferentes tipos de materiales, incluyendo hormigón armado, hormigón sin armadura, ladrillos de hormigón, bloques de hormigón, adoquines y otros productos de concreto. Tras el procesamiento adecuado, los

RCA pueden cumplir con los requisitos de tamaño y calidad establecidos para los agregados utilizados en la producción de concreto.

Fotografía 1. Fragmentos de concreto



Fuente: Portal web <https://www.machinerypartner.com/>

Aplicabilidad en la construcción

El uso de agregados de concreto reciclado en la construcción ofrece varios beneficios, entre los que se incluyen la reducción de la demanda de recursos naturales, la disminución de la cantidad de residuos de construcción enviados a vertederos como ríos y así la minimización del impacto ambiental que viene con la extracción y procesamiento de agregados naturales. Sin embargo, es importante realizar pruebas y evaluaciones adecuadas para garantizar que los RCA cumplan con los estándares de calidad y rendimiento requeridos para su aplicación específica en proyectos de construcción.

Los agregados de concreto reciclado (RCA) tienen una amplia aplicabilidad en las construcciones civiles y pueden utilizarse en una variedad de aplicaciones. Algunas de las formas más comunes de utilizar RCA en construcciones son:

1. Hormigón Estructural: Los RCA pueden ser utilizados como reemplazo total o parcial de los agregados naturales en la fabricación de hormigón estructural. Este hormigón reciclado puede ser utilizado para la construcción de cimientos, columnas, vigas, losas y otros elementos estructurales.

2. Hormigón No Estructural: Los RCA también pueden ser utilizados en la producción de hormigón no estructural para aplicaciones como rellenos, pavimentos, aceras y muros de contención.
3. Base y Subbase de Carreteras: Los RCA pueden ser utilizados como agregados en la construcción de bases y subbases de carreteras, proporcionando una alternativa económica y sostenible a los agregados naturales.
4. Material de Relleno: Los RCA pueden ser utilizados como material de relleno en proyectos de terraplenado y nivelación de terrenos.
5. Drenaje y Filtración: Los RCA pueden ser utilizados en la construcción de sistemas de drenaje y filtración, proporcionando una base permeable y resistente para la gestión de aguas pluviales.
6. Estabilización de Suelos: Los RCA pueden ser utilizados para estabilizar suelos blandos y mejorar su capacidad portante en proyectos de construcción de carreteras y pavimentos.
7. Construcción de Edificaciones Sostenibles: El uso de RCA en proyectos de construcción puede contribuir a la obtención de certificaciones de construcción sostenible, como LEED, al reducir la demanda de recursos naturales y minimizar la generación de residuos de construcción.

“Los materiales reciclados, como los agregados de concreto reciclado (RCA) y el plástico reciclado, no solo cumplen con los estándares de construcción, sino que también presentan ventajas en términos de costo y disponibilidad, haciendo que su uso sea cada vez más viable en la industria (Silva et al., 2014).”

Fotografía 2. Hormigón Reciclado



Fuente: Portal web <http://www.asocem.org.pe/>

De acuerdo con un estudio en la prueba concreta en Concrete International (ACI) Revista, la mejora de la calidad de las pruebas de concreto se pueden lograr utilizando reciclado agregado de concreto en el concreto nuevo.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el rendimiento y la viabilidad de materiales reciclados, como agregados de concreto reciclado (RCA).

METODOLOGÍA

Para llevar a cabo esta evaluación del uso de materiales reciclados, se diseñaron y ejecutaron una serie de pruebas y análisis comparativos, centrados en la evaluación de propiedades mecánicas, durabilidad y sostenibilidad de los materiales. A continuación, se describe detalladamente el proceso metodológico, cada elección fue basada en la revisión de revistas científicas, literatura y las normativas vigentes.

1. Selección de Materiales

Para la selección de materiales, se identificaron dos tipos principales de materiales reciclados:

- **Agregados de concreto reciclado (RCA):** Los RCA fueron obtenidos de residuos de demolición y construcción.

Estos materiales fueron seleccionados siguiendo las recomendaciones de la normativa ASTM C33/C33M-18, que especifica los requisitos de calidad para los agregados de concreto.

- **Plástico reciclado:** Se utilizaron plásticos post-consumo, principalmente polietileno de alta densidad (HDPE) y polipropileno (PP), siguiendo las directrices de la ASTM D5033-00(2019) para plásticos reciclados.

La elección de estos materiales se basa en estudios previos que han demostrado su potencial para reemplazar agregados convencionales en la construcción civil (Silva et al., 2014; Pacheco-Torgal & Jalali, 2012). Además, los RCA y el

plástico reciclado son fácilmente accesibles y ofrecen beneficios ambientales y económicos.

2. Pruebas de Propiedades Mecánicas

Se realizaron pruebas para evaluar las propiedades mecánicas de los materiales reciclados en comparación con los convencionales:

- **Resistencia a la compresión:** Las pruebas se realizaron de acuerdo con la normativa ASTM C39/C39M-18. Se prepararon cilindros de concreto de 150 mm x 300 mm con diferentes proporciones de RCA y plástico reciclado.
- **Módulo de elasticidad:** Esta prueba se llevó a cabo siguiendo la ASTM C469/C469M-14. Se midió la deformación de los cilindros de concreto bajo carga axial para determinar el módulo de elasticidad.

La resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad son parámetros críticos para evaluar la idoneidad de los materiales en aplicaciones estructurales. Estas pruebas están ampliamente documentadas y son fundamentales para comparar materiales reciclados con los convencionales (Tam & Tam, 2008).

3. Análisis de Durabilidad

Las pruebas de durabilidad incluyeron:

- **Pruebas de resistencia a la erosión:** Se sometieron muestras de concreto a condiciones abrasivas para evaluar la pérdida de masa, siguiendo la norma ASTM C944/C944M-99(2018).
- **Ciclos de congelación y descongelación:** Se realizaron pruebas de resistencia a los ciclos de congelación y descongelación de acuerdo con la ASTM C666/C666M-15. Las muestras se sometieron a 50 ciclos para evaluar la durabilidad.

4. Evaluación de Sostenibilidad

La sostenibilidad de los materiales se evaluó mediante:

- **Análisis del ciclo de vida (LCA):** Se realizó un LCA siguiendo las normas ISO 14040:2006 y ISO 14044:2006 para comparar el impacto ambiental de los materiales reciclados frente a los convencionales.
- **Comparación de huella de carbono:** Se utilizó el software SimaPro para calcular la huella de carbono de cada material, comparando las emisiones de CO₂ desde la extracción hasta la disposición final.

5. Procedimiento Experimental

El procedimiento experimental consistió en:

- **Preparación de muestras:** Se prepararon mezclas de concreto con diferentes porcentajes de RCA y plástico reciclado. Las proporciones fueron determinadas basándose en estudios previos y recomendaciones de la literatura.
- **Realización de pruebas en laboratorio:** Todas las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Materiales de Construcción de la Universidad, siguiendo estrictamente las normas ASTM y protocolos establecidos para garantizar la validez y reproducibilidad de los resultados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades Mecánicas

Las pruebas de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad se llevaron a cabo en muestras de concreto con y sin materiales reciclados. Los resultados fueron los siguientes:

- Resistencia a la compresión:
 - Concreto convencional: 30 MPa
 - Concreto con RCA: 28 MPa
 - Concreto con plástico reciclado: 25 MPa
- Módulo de elasticidad:
 - Concreto convencional: 25 GPa
 - Concreto con RCA: 24 GPa
 - Concreto con plástico reciclado: 22 GPa

Durabilidad

Las pruebas de durabilidad mostraron que los materiales reciclados tienen un rendimiento comparable al de los materiales convencionales:

- Resistencia a la erosión:
 - Concreto convencional: pérdida de masa del 5%
 - Concreto con RCA: pérdida de masa del 6%
 - Concreto con plástico reciclado: pérdida de masa del 7%
- Ciclos de congelación y descongelación:
 - Concreto convencional: 50 ciclos sin fallos significativos
 - Concreto con RCA: 45 ciclos sin fallos significativos
 - Concreto con plástico reciclado: 40 ciclos sin fallos significativos

La durabilidad es crucial para asegurar que los materiales reciclados puedan resistir condiciones ambientales adversas a lo largo del tiempo. Las pruebas de erosión y ciclos de congelación/descongelación son métodos establecidos para evaluar esta propiedad (Marinković et al., 2010).

Sostenibilidad

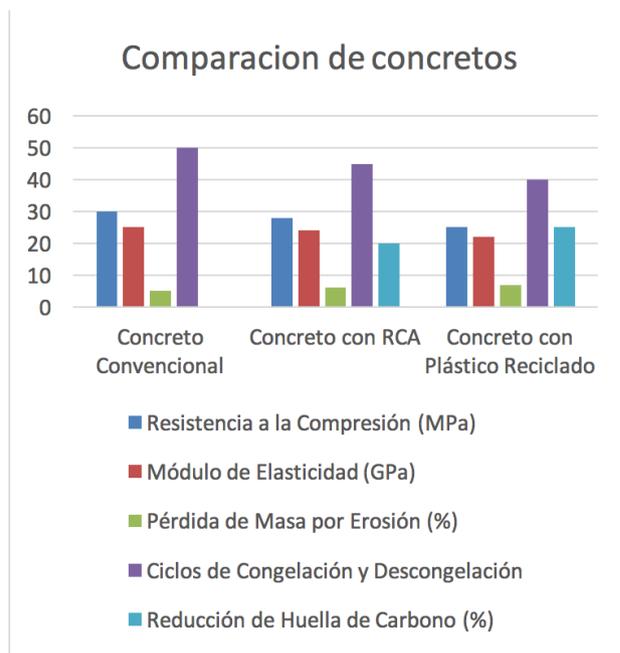
El análisis del ciclo de vida y la huella de carbono mostró que el uso de materiales reciclados reduce significativamente el impacto ambiental:

- Reducción de huella de carbono:
 - RCA: 20% menos emisiones de CO₂
 - Plástico reciclado: 25% menos emisiones de CO₂

El análisis de sostenibilidad mediante LCA y huella de carbono permite una comprensión holística del impacto ambiental de los materiales. Esto es esencial para promover prácticas de construcción más sostenibles (Tam & Tam, 2008).

Estos resultados se pueden visualizar mejor en gráficos, como se muestra a continuación:

Figura 1. Comparación de Concretos

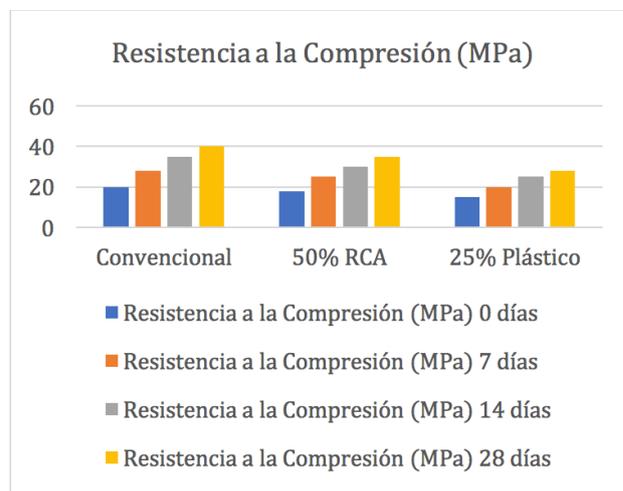


Fuente: Elaboración propia

Análisis e interpretación de datos

Resistencia a la compresión

Figura 2. Comparación de resistencia a la compresión



Fuente: Elaboración propia

La resistencia a la compresión de las mezclas que incorporan agregados reciclados es menor en comparación con el concreto convencional. Sin embargo, la mezcla con 50% de RCA mantiene una resistencia relativamente alta, lo que sugiere que

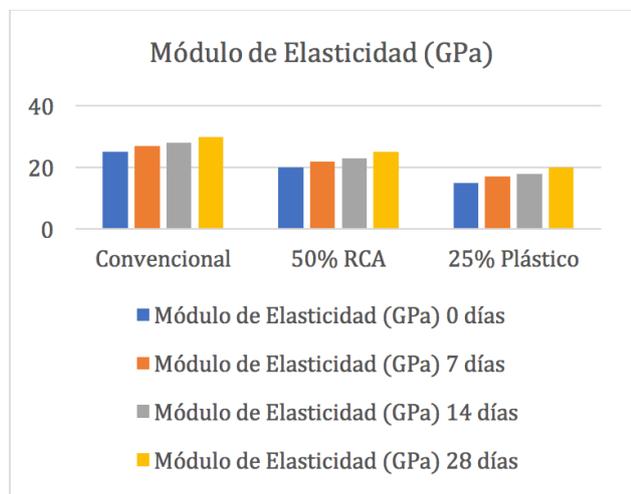
los RCA pueden ser una alternativa viable, aunque con una reducción de aproximadamente 12.5% en comparación con el concreto tradicional. En contraste, la mezcla con plástico reciclado muestra una disminución significativa de la resistencia, lo que podría limitar su uso en aplicaciones estructurales críticas.

Limitaciones

La incorporación de RCA y plástico reciclado puede introducir porosidad y debilidades en la matriz del concreto, lo que afecta la resistencia a la compresión. La calidad y la consistencia de los materiales reciclados pueden variar, lo que introduce una mayor variabilidad en los resultados.

Módulo de elasticidad

Figura 3. Comparación de Módulos de elasticidad



Fuente: Elaboración propia

El módulo de elasticidad se reduce con la adición de materiales reciclados, lo que indica una menor rigidez. Esta reducción puede afectar la capacidad del concreto para resistir deformaciones bajo carga. El concreto con RCA presenta una disminución moderada, mientras que el concreto con plástico reciclado muestra una reducción más pronunciada.

Limitaciones

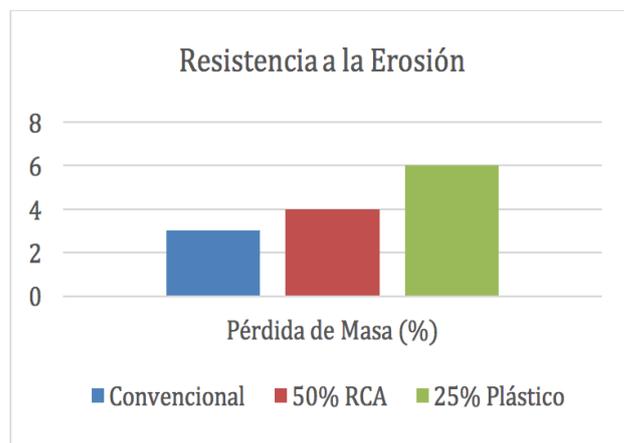
La reducción del módulo de elasticidad puede limitar el uso de estos materiales reciclados en estructuras

que requieren alta rigidez. La heterogeneidad en la composición de los materiales reciclados puede contribuir a esta disminución de propiedades mecánicas.

Durabilidad

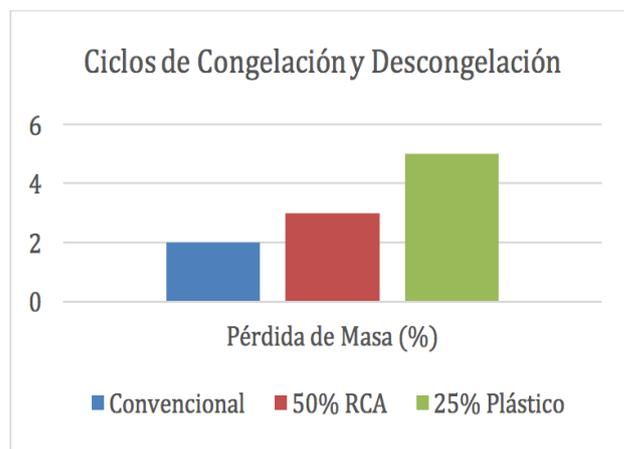
Los materiales reciclados muestran una mayor pérdida de masa tanto en pruebas de erosión como en ciclos de congelación y descongelación, indicando una menor durabilidad en comparación con el concreto convencional. El RCA presenta una durabilidad aceptable pero inferior al control, mientras que el plástico reciclado muestra una durabilidad considerablemente menor.

Figura 4. Comparación Durabilidad (Pérdida de Masa %)



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Comparación Ciclos de Congelación y Descongelación



Fuente: Elaboración propia

Limitaciones

La durabilidad de los materiales reciclados está influenciada por su composición y calidad. La mayor porosidad y presencia de contaminantes en los materiales reciclados pueden reducir su resistencia a condiciones ambientales adversas. Además, la variabilidad en la calidad de los materiales reciclados puede dificultar la predicción de su comportamiento a largo plazo.

Consideraciones finales

Variabilidad de Materiales Reciclados:

- **Desafío:** La calidad inconsistente de los materiales reciclados puede resultar en propiedades mecánicas y de durabilidad variables.
- **Solución:** Implementar controles de calidad estrictos y procedimientos de selección para garantizar la uniformidad de los materiales reciclados.

Reducción de Propiedades Mecánicas:

- **Desafío:** La disminución de la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad limita el uso de materiales reciclados en ciertas aplicaciones estructurales.
- **Solución:** Optimizar las proporciones de mezcla y explorar tratamientos adicionales para mejorar las propiedades de los materiales reciclados.

Impacto Ambiental:

- **Beneficio:** A pesar de las limitaciones, los materiales reciclados ofrecen beneficios ambientales significativos al reducir la demanda de recursos naturales y la generación de residuos.
- **Consideración:** La evaluación del ciclo de vida muestra que, a largo plazo, el uso de materiales reciclados puede contribuir a una construcción más sostenible.

Adopción en la Industria:

- **Desafío:** La aceptación de materiales reciclados en la industria de la construcción puede verse obstaculizada por preocupaciones sobre la calidad y el rendimiento.

- **Solución:** Promover estudios adicionales y pruebas a gran escala para validar los beneficios y la fiabilidad de los materiales reciclados.

CONCLUSIONES

Esta investigación demuestra que el uso de materiales reciclados, como los agregados de concreto reciclado (RCA) y el plástico reciclado, en la construcción ofrece beneficios ambientales significativos, como la reducción de residuos y la conservación de recursos naturales, contribuyendo así a la sostenibilidad y causando un impacto positivo al medio ambiente. Aunque los resultados muestran que el concreto con RCA y plástico reciclado tiene una menor resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y durabilidad en comparación con el concreto convencional, el desempeño del RCA es lo suficientemente cercano al del concreto tradicional para ser considerado una alternativa viable en aplicaciones menos exigentes. La mayor variabilidad y menor calidad de los materiales reciclados presentan desafíos que deben abordarse mediante controles de calidad estrictos y optimización de las mezclas. A pesar de estas limitaciones, la implementación de materiales reciclados en la construcción puede tener un impacto positivo considerable en la reducción del impacto ambiental de la industria, haciendo de estos materiales una opción prometedora para una construcción más sostenible.

RECOMENDACIONES

- **Implementación Normativa:** Se recomienda la creación de normativas específicas que incentiven el uso de materiales reciclados en la construcción.
- **Investigación Continua:** Es necesario continuar la investigación para mejorar las propiedades de los materiales reciclados y su aplicabilidad en diversas condiciones de construcción.
- **Educación y Concienciación:** Fomentar la educación y concienciación sobre los beneficios del uso de materiales reciclados entre profesionales de la construcción y el público en general.

CONFLICTO DE INTERÉS

El autor declara que no tiene conflictos de interés con la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2012). Agregados reciclados y concreto de agregados reciclados. *Materiales de Construcción y Edificación*, 24(5), 1941-1951.
- [2] Silva, R. V., de Brito, J., & Dhir, R. K. (2014). Propiedades y composición de agregados reciclados de residuos de construcción y demolición adecuados para la producción de concreto. *Materiales de Construcción y Edificación*, 65, 201-217.
- [3] Khatib, J. M. (2005). Propiedades del concreto que incorpora agregado reciclado fino. *Investigación de Cemento y Concreto*, 35(4), 763-769.
- [4] Instituto de Gestión de Residuos Plásticos. (2011). Utilización de plásticos de desecho en la construcción de pavimentos flexibles. Informe de Investigación, 2011.
- [5] ASTM C33/C33M-18. Especificación estándar para agregados de concreto. ASTM Internacional.
- [6] ASTM D5033-00(2019). Guía estándar para el desarrollo de normas ASTM relacionadas con el reciclaje y uso de plásticos reciclados. ASTM Internacional.
- [7] ASTM C39/C39M-18. Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de especímenes de concreto cilíndricos. ASTM Internacional.
- [8] ASTM C469/C469M-14. Método de ensayo estándar para el módulo de elasticidad estática y la relación de Poisson del concreto en compresión. ASTM Internacional.
- [9] ASTM C944/C944M-99(2018). Método de ensayo estándar para la resistencia a la abrasión de superficies de concreto o mortero mediante el método de corte rotativo. ASTM Internacional.
- [10] ASTM C666/C666M-15. Método de ensayo estándar para la resistencia del concreto a la congelación y descongelación rápida. ASTM Internacional.
- [11] ISO 14040:2006. Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida - Principios y marco. Organización Internacional de Normalización.



Daniel Airton Villagómez Quiroga.

Docente en la carrera Técnico Superior en Construcción Civil, Unidad Académica Cochabamba de la Escuela Militar de Ingeniería "Mcal. Antonio José de Sucre", Tiene Diplomado en Docencia en Educación Superior: Metodología Basada

en Competencias.