

**DESARROLLO DE BLOQUES DE CONCRETO LIVIANOS UTILIZANDO
RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN, Y CENIZAS DE
TERMOELECTRICA****DEVELOPMENT OF LIGHTWEIGHT CONCRETE BLOCKS USING
CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE, AND THERMOELECTRIC
ASH**

Ing. David Leonardo Molina Salazar*, **Ing. Angelica Lizbeth Lara Córdoba***,
PhD. Jorge Sánchez Molina*

* **Universidad Francisco de Paula Santander**, Grupo de Investigación en Tecnología
Cerámica. Avenida Gran Colombia N° 12E-96, Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.
Tel.: (607) 5776655

E-mail: {davidleonardoms, angelicalizbethlc, jorgesm}@ufps.edu.co
<https://orcid.org/0000-0003-1431-3633>
<https://orcid.org/0000-0002-6031-623X>
<https://orcid.org/0000-0002-9080-8526>

Resumen: Los residuos de la construcción y demolición (RCD) representan un serio problema medioambiental global, debido a su elevado volumen e impacto en nuestro entorno. Este documento muestra la fabricación de bloques de concreto utilizando RCD, una opción tanto ecológica como económica que podría minimizar la cantidad de desechos que acaban en los vertederos y disminuir la explotación de nuevos materiales naturales. En Colombia, especialmente en el departamento del Norte de Santander, la gestión de RCD plantea importantes retos, aunque se están realizando esfuerzos para mejorar su manejo y fomentar una economía circular en el sector de la construcción. La meta de esta investigación fue incorporar RCD y ceniza de central termoeléctrica en la mezcla de agregados para la fabricación de bloques de concreto en el área metropolitana de Cúcuta, con el fin de fomentar la sostenibilidad en el sector constructor y minimizar el impacto medioambiental de los residuos procedentes de construcción y demolición. Se tiene la esperanza de que este estudio incentive el uso de RCD en la creación de bloques de concreto tanto en Colombia como en toda Latinoamérica.

Palabras clave: RCD, Concreto reciclado, Economía Circular, Concretos livianos

Abstract: Construction and demolition waste (RCD) represents a serious global environmental problem, due to its high volume and impact on our environment. This paper shows the manufacture of concrete blocks using RCD, both an ecological and economical option that could minimize the amount of waste that ends up in landfills and reduce the exploitation of new natural materials. In Colombia, especially in the department of Norte de Santander, RCD management poses significant challenges, although efforts are being made to improve its management and promote a circular economy in the construction sector. The goal of this research was to incorporate RCD and ash from thermoelectric plants into the aggregate mix for the manufacture of concrete blocks in the metropolitan area of Cúcuta, in order to promote sustainability in the construction sector and minimize the environmental impact of construction and demolition waste. It is hoped that this study will encourage the use of RCD in the creation of concrete blocks both in Colombia and throughout Latin America.

Keywords: RCD, Recycled concrete, Circular economy, Light concrete

1. INTRODUCCIÓN

Los residuos de construcción y demolición (RCD) se han convertido en una preocupación ambiental crítica a nivel mundial, dada su magnitud y su repercusión en el entorno (Guarin et al., 2017). Un manejo deficiente de los RCD puede generar problemas ambientales, como la contaminación del suelo y el agua, emisión de gases de efecto invernadero y disminución de la biodiversidad. Asimismo, los RCD pueden constituir una amenaza para la salud y la seguridad de la población si se abandonan en sitios no apropiados, tales como terrenos desocupados o carreteras (Sanchez Molina et al., 2022).

Diversas investigaciones a nivel global han empleado los RCD en un amplio espectro de aplicaciones, tales como concreto reciclado (Lotfi et al., 2015; Wagih et al., 2013), morteros reciclados (Givi et al., 2010) e incluso en la reutilización de sus agregados en otros tipos de proyectos de ingeniería civil (Contreras-Llanes et al., 2021). Además, existen alternativas para la reutilización y el reciclaje de los RCD de manera sustentable y coste-efectiva, como la fabricación de bloques de concreto a partir de RCD, lo cual podría disminuir el volumen de residuos que acaban en los vertederos y la necesidad de extraer nuevos materiales de la naturaleza (Abraham et al., 2022).

La elaboración de bloques de concreto con RCD ha sido tema de varios análisis en el ámbito científico. Con base en investigaciones anteriores, la fabricación de bloques de concreto con RCD puede representar una alternativa económica y sostenible para la industria de la construcción en Latinoamérica. Los agregados reciclados de RCD son adecuados para la producción de bloques de concreto (Leal et al., 2022; Silva et al., 2023).

En Colombia, específicamente en el departamento de Norte de Santander, se presentan retos significativos en cuanto a la gestión de los RCD, como la carencia de infraestructura adecuada para el manejo y reciclaje de residuos y la falta de políticas y regulaciones efectivas para su control. A pesar de estos obstáculos, se están realizando esfuerzos para mejorar el manejo de los RCD en Colombia y Norte de Santander, incluyendo iniciativas y políticas que fomentan la reducción y reutilización de residuos de construcción y demolición en la producción de materiales de construcción sostenibles. Estos esfuerzos buscan impulsar la economía circular en la industria de la

construcción, así como minimizar la dependencia de la extracción de nuevos materiales y la acumulación de desechos en los vertederos (Ali, 2023).

El propósito de la siguiente investigación fue aprovechar estos residuos como parte de los agregados utilizados en bloques de concreto en el área metropolitana de Cúcuta, con la finalidad de contribuir a la sostenibilidad del sector de la construcción y disminuir el impacto ambiental de los residuos de construcción y demolición (Ma et al., 2023; Sharma et al., 2023).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología empleada en este estudio constó de cuatro etapas principales. En la primera, se realizó la recogida de los desechos de construcción originados en el área metropolitana de Cúcuta. Posteriormente, estos residuos fueron sometidos a un proceso de trituración manual para obtener los agregados reciclados que se incorporarían en la fabricación de los bloques de concreto. En la tercera etapa, se llevó a cabo una caracterización de las materias primas, que incluía tanto los agregados reciclados como los naturales empleados en la producción de los bloques de concreto.

A continuación, se propuso una formulación base en la que se sustituiría parcialmente el agregado más grueso por RCD, así como una porción del agregado fino por ceniza de termoeléctrica. Finalmente, se prepararon cilindros para determinar los porcentajes adecuados y, seguidamente, se produjeron los bloques de concreto utilizando las proporciones establecidas. Estos bloques fueron sometidos a pruebas de resistencia a la compresión y absorción de agua.

2.1. Recolección de los residuos de construcción

Para desarrollar este estudio, se reunieron residuos de concreto producidos por el laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Francisco de Paula Santander (UFPS), lugar en el que se efectúan pruebas de compresión simple de cilindros fabricados por los estudiantes. La recolección de estos desechos se llevó a cabo de manera meticulosa y respetando las regulaciones de seguridad establecidas para el manejo de dichos materiales.



Fig. 1. Recolección de residuos de construcción y demolición.

Fuente: elaboración propia.

La recolección de los residuos se realizó con herramientas y equipos adecuados para garantizar la integridad física de los recolectores y evitar daños en los residuos recolectados. Es importante destacar que la recolección de residuos de concreto de esta fuente específica se realizó para garantizar la homogeneidad de la muestra y la representatividad de los residuos de concreto generados en la UFPS.

2.2. Trituración manual

Una vez que se obtuvieron los desechos de concreto, se procedió a efectuar el procedimiento de trituración manual. Este proceso implicó la fragmentación de los residuos a través de la utilización de martillos de mano, emulando la trituración primaria realizada con martillos neumáticos de demolición.



Fig. 2. Trituración Manual de RCD. Fuente: elaboración propia.

Es relevante señalar que los residuos se trituraron hasta conseguir un tamaño inferior a 3/8" (9,5 mm), lo que permitió obtener agregados reciclados de un tamaño adecuado para la fabricación de los bloques de concreto.

2.3. Caracterización de materias primas

Se realizaron pruebas a la arena fina, arena gruesa y RCD para evaluar la distribución del tamaño de partículas y la uniformidad de los agregados (NTC 77, 2018). También se realizaron pruebas de humedad natural para determinar el contenido de agua en los agregados, lo cual permitió ajustar la cantidad de agua requerida para la producción de los bloques de concreto (NTC 1776, 1994).

Además, se efectuaron pruebas de peso unitario suelto y compactado para evaluar la densidad de los agregados y su capacidad para compactarse en la mezcla de concreto (NTC 237, 1995; NTC 176, 1995). Estas pruebas también permitieron determinar la cantidad idónea de agregados necesaria para la fabricación de los bloques de concreto.

2.4. Dosificaciones propuestas

Para llevar a cabo este proyecto, se consideró la siguiente formulación base, la cual es fruto de un diseño de mezcla por el método ACI.:

Tabla 1: Dosificación base.

| MATERIAL | QUANTITY (KG) |
|-----------------|---------------|
| Cemento | 1 |
| Agregado grueso | 1.24 |
| Agregado fino | 2.15 |
| Agua | 0.44 |

A continuación, se fabricaron cilindros con porcentajes de reemplazo del agregado grueso de 25%, 50%, 75% y 100%, con el objetivo de identificar la proporción que proporcionaba la mejor resistencia. Posteriormente, se produjeron nuevos cilindros con porcentajes del 2.5%, 5% y 7.5% de cenizas de termoeléctrica, reemplazando el cemento. Finalmente, se elaboraron bloques tanto para la dosificación base, como para la dosificación con el reemplazo óptimo de RCD y para la mezcla con reemplazo óptimo de RCD y cenizas de termoeléctrica.

2.5 Elaboración de bloques

La fabricación de los bloques de concreto con RCD se realizó utilizando un molde. Los agregados reciclados y los demás componentes necesarios para la producción de los bloques de concreto, como el cemento y el agua, se mezclaron de forma homogénea y se vertieron en el molde. Después, el concreto se compactó en el molde mediante vibración para garantizar una densidad y resistencia adecuadas. Los bloques de concreto se dejaron curar durante un período de 21 días, lapso en el cual adquirieron su resistencia.

Se tuvieron en cuenta las normas colombianas vigentes con respecto a la elaboración de bloques de concreto para la elaboración de esta práctica (NTC 4026, 1997; NTC 4076, 1997; NTC 4024, 2001)

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Caracterización de materias primas

Los hallazgos de la caracterización de materias primas, como la arena fina, la arena gruesa, que se obtuvieron de las canteras del río Pamplonita, y los RCD, mostraron los siguientes resultados.

3.1.1 Granulometría

En la figura 1 se pueden visualizar los resultados de la prueba granulométrica de la arena fina.

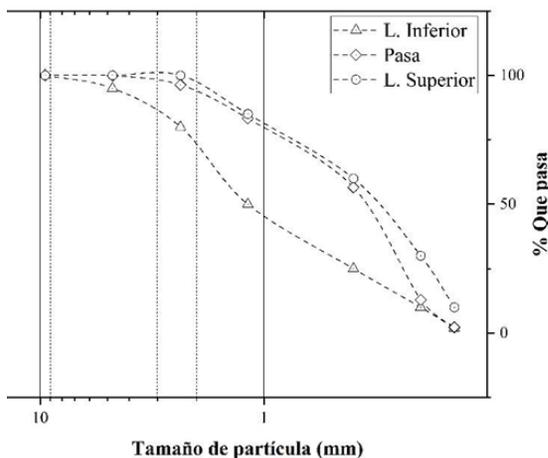


Tabla 2: Contenido natural de agua de los agregados.

| AGREGADO | CONTENIDO NATURAL DE AGUA (%) |
|--------------|-------------------------------|
| Arena fina | 1.86% |
| Arena gruesa | 1.47% |
| RCD | 2.23% |

Estos contenidos permitieron realizar las correcciones necesarias para las diversas dosificaciones empleadas. Además, se observó que el contenido de agua natural en el RCD era ligeramente superior al de los otros agregados.

3.1.3 Pesos unitarios sueltos y compactos

En la tabla 3, se puede observar los pesos unitarios sueltos y compactos para cada uno de estos agregados:

Tabla 3: Pesos unitarios sueltos y compactos de los agregados.

| Agregado | Peso unitario suelto (Kg/M ³) | Peso unitario compacto (Kg/M ³) |
|--------------|---|---|
| Arena gruesa | 1628.07 | 1752.18 |
| Arena fina | 1432.45 | 1555.58 |
| RCD | 1166.67 | 1284.81 |

Los pesos unitarios sueltos y compactos fueron fundamentales para el desarrollo de una propuesta de dosificación más precisa.

3.1.4 Pesos específicos y absorción

En la tabla 4 se pueden ver los resultados relacionados con el peso específico y la absorción de cada uno de los agregados.

Tabla 4. Pesos unitarios sueltos y compactos de los agregados

| Agregado | Densidad seca (Kg/M ³) | Absorción (%) |
|--------------|------------------------------------|---------------|
| Arena gruesa | 2592.02 | 1.051 |
| Arena fina | 2613.70 | 12.007 |
| RCD | 2393.51 | 5.940 |

Estos hallazgos permitieron establecer un mejor equilibrio de agregados en la mezcla, con el fin de

determinar un concreto con una densidad aproximada de 2085Kg/M³.

3.2. Resistencia a la compresión inconfiada

En la figura 6 se observan los resultados de la resistencia a la compresión inconfiada de los cilindros con 0% de RCD hasta el 100% de RCD como sustituto del agregado grueso.

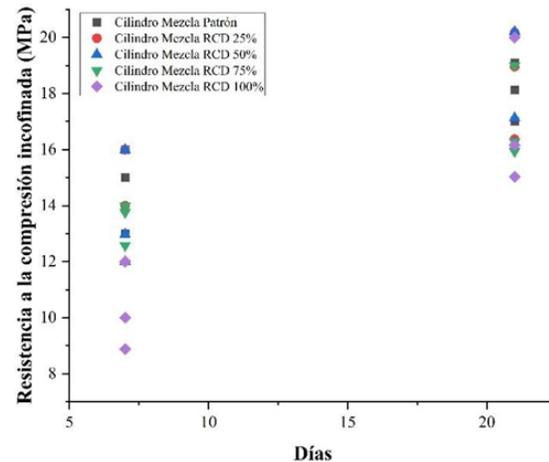


Fig. 6. Resistencia a la compresión inconfiada cilindros patrón y con adición RCD
Fuente: elaboración propia.

Se observó una variabilidad significativa en el rango de resistencia en MPa, principalmente durante los primeros 7 días de curado. Es notorio una disminución de la resistencia aproximadamente a la mitad, al comparar el cilindro que contiene 100% de RCD con el de referencia.

Sin embargo, a los 21 días, la resistencia del cilindro con 100% de RCD logra igualar a la del cilindro con 0% de RCD, aunque con una desviación estándar mucho mayor. Teniendo en cuenta que el propósito de esta investigación es la creación de un bloque ecológico, se optó por la dosificación con un 100% de RCD con el fin de maximizar la utilización de este tipo de residuos.

En la figura 7, se pueden observar los resultados de los cilindros con diferentes % de ceniza de termo eléctrica.

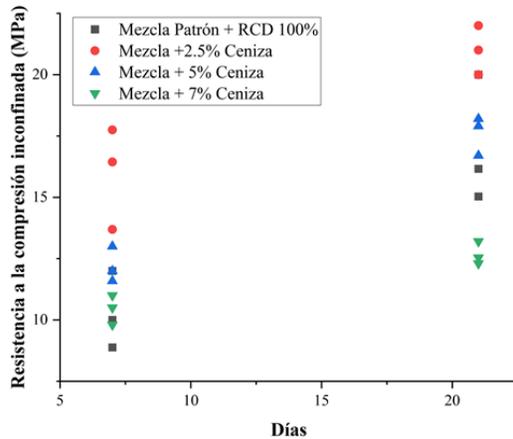


Fig. 7. Cilindros con 100% RCD + % de microperlas.

Fuente: elaboración propia.

Las diferentes dosificaciones utilizadas para el desarrollo de estos cilindros fueron:

Tabla 5: Dosificaciones según el porcentaje (%) de ceniza

| Material | 2.5% | 5% | 7.5% |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | Microperlas Cantidad (kg) | Microperlas Cantidad (Kg) | Microperlas Cantidad (Kg) |
| Cemento | 1.95 | 1.90 | 1.85 |
| Arena fina | 1.08 | 1.08 | 1.08 |
| Arena gruesa | 1.08 | 1.08 | 1.08 |
| RCD | 1.25 | 1.25 | 1.25 |
| Agua | 0.44 | 0.44 | 0.44 |
| Ceniza | 0.05 | 0.1 | 0.15 |

Fuente: elaboración propia.

En este caso, existe un comportamiento degradado en la resistencia a medida que se adiciona más ceniza, así mismo se observa que los porcentajes del 2.5% y 5% superan los valores de la resistencia de la mezcla sin adición de ceniza, como el objetivo es disminuir la cantidad de materias primas, se opta por elegir la mezcla con un 5% de cenizas reemplazando el cemento.

En la figura 8, se puede apreciar el resultado de la resistencia a la compresión inconfina de los diferentes bloques desarrollados, siendo estos el bloque con la mezcla patrón, el bloque con la mezcla patrón y el 100% del agregado grueso sustituido por RCD, el bloque con el 100% de RCD + el 5% de cenizas de termoeléctrica y el bloque convencional que se encuentra

normalmente a la venta en el área metropolitana de la ciudad de San José de Cúcuta.

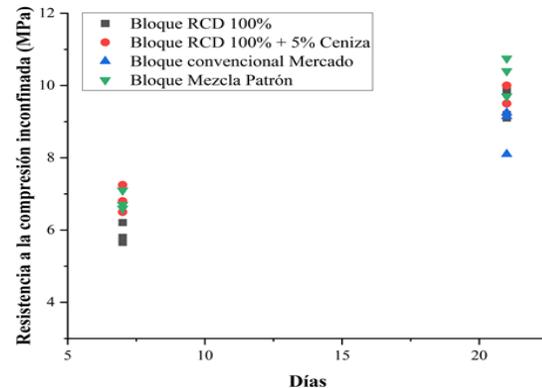


Fig. 8. Resultados compresión bloques de concreto en sus diferentes presentaciones.

Fuente: elaboración propia.

La figura anterior, permite observar un comportamiento muy similar entre la mezcla patrón, el bloque convencional y el bloque con RCD y ceniza, así mismo, se observa que al corto plazo el bloque con menor resistencia es el que tiene 100% de RCD sustituido por agregado grueso, además de que los bloques con menor resistencia fueron los encontrados a la venta del público en general.

Así mismo, se comenta que cada uno de los bloques ecológicos cumplen con los estándares mínimos de resistencia (5MPa) establecidos por la NTC 4026.

La figura 8 permite evidenciar las diferentes densidades de los bloques, así como su % de absorción.

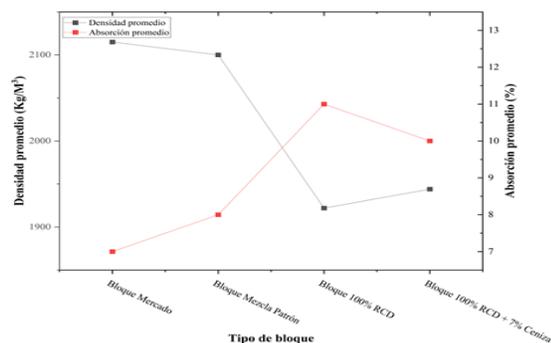


Fig. 8. Resultados de densidades y porcentajes (%) de absorción de los bloques de concreto.

Fuente: elaboración propia

Se aprecia que la densidad de bloques disminuyó significativamente a medida que se iban incorporando nuevos materiales a la mezcla, la mezcla patrón alcanzó la densidad proyectada, posteriormente la adición de RCD también aportó sustancialmente a la disminución del peso, sin embargo, la adición de ceniza incrementó un poco su densidad.

Así mismo, se aprecia que el porcentaje de absorción es inversamente proporcional a la densidad, ya que este fue aumentando a medida que disminuía la densidad del bloque.

4. CONCLUSIONES

La creación de bloques de concreto a partir de RCD no solo proporciona una solución a los residuos de construcción, sino que también beneficia tanto al medio ambiente como a la economía. El proceso aprovecha los materiales de construcción ya existentes, minimizando la generación de residuos y promoviendo la sostenibilidad ambiental.

Reutilizar estos materiales en lugar de generar nuevos no sólo conserva los recursos naturales, sino que también disminuye la huella de carbono. Dado que la fabricación de nuevos materiales de construcción es una importante fuente de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos, este enfoque reciclador también puede contribuir a mejorar la calidad del aire.

La producción de cilindros con diversas proporciones de RCD y RCD combinado con cenizas de termoeléctrica ayudó a establecer una metodología precisa para la producción de bloques, lo que resulta en un ahorro significativo de tiempo y materiales. La adición de cenizas de termoeléctrica podría tener beneficios adicionales más allá de la reducción de peso, tales como el potencial para mejorar la resistencia a la compresión, un área que podría explorarse más en futuros estudios.

La comparación con los bloques convencionales proporcionó una perspectiva clara sobre las ventajas de estos nuevos bloques ecológicos, especialmente en términos de bloques de concretos ligeros para uso no estructural.

Esta investigación abre un camino para una gama de oportunidades de exploración en el futuro. La aplicación de RCD podría extenderse a una

variedad de proyectos de ingeniería, lo cual es especialmente relevante cuando consideramos las implicaciones en términos de desarrollo sostenible.

REFERENCIAS

- Abraham, J. J., Saravanakumar, R., Ebenanjar, P. E., Elango, K. S., Vivek, D., & Anandaraj, S. (2022). An experimental study on concrete block using construction demolition waste and life cycle cost analysis. *Materials Today: Proceedings*, 60, 1320–1324. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.307>
- Ali, M. (2023). An investigation into the uses of trommel fines produced from recycling of construction and demolition waste. *Construction and Building Materials*, 369, 130579. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130579>
- NTC 1776: Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados, (1994).
- NTC 176: Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso, (1995).
- NTC 237: Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado fino, (1995).
- NTC 4026: Bloques y ladrillos de concreto, para mampostería estructural, (1997).
- NTC 4076: Bloques y ladrillos de concreto, para mampostería no estructural interior y chapas de concreto., (1997).
- NTC 174: Concretos. Especificaciones de los agregados para concreto., (2000).
- NTC 4024: Muestreo y ensayo de prefabricados de concreto no reforzados, vibrocompactados, (2001).
- NTC 77: Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos, (2018).
- Contreras-Llanes, M., Romero, M., Gázquez, M. J., & Bolívar, J. P. (2021). Recycled Aggregates from Construction and Demolition Waste in the Manufacture of Urban Pavements. *Materials*, 14(21), 6605. <https://doi.org/10.3390/ma14216605>
- Givi, A. N., Rashid, S. A., Aziz, F. N. A. , & Salleh, M. A. M. (2010). Contribution of rice husk ash to the properties of mortar and concrete: a review. *Journal of American Science*, 6(3), 157–165.

- Guarin, A. S., Molina, J. S., & Díaz, J. C. L. (2017). Uso de nutrientes tecnológicos como materia prima en la fabricación de materiales de construcción en el paradigma de la economía circular. *Respuestas*, 22(1), 6–16.
- Leal, C. E. F., Neto, J. C. M., Parsekian, G. A., Christoforo, A. L., & Ferreira, F. G. S. (2022). Technical viability of construction and demolition waste reuse in paving blocks industrial production: an experimental study. *International Journal of Masonry Research and Innovation*, 7(4), 343. <https://doi.org/10.1504/IJMRI.2022.123719>
- Lotfi, S., Eggimann, M., Wagner, E., Mróz, R., & Deja, J. (2015). Performance of recycled aggregate concrete based on a new concrete recycling technology. *Construction and Building Materials*, 95, 243–256. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.021>
- Ma, W., Wang, Y., Huang, L., Yan, L., & Kasal, B. (2023). Natural and recycled aggregate concrete containing rice husk ash as replacement of cement: Mechanical properties, microstructure, strength model and statistical analysis. *Journal of Building Engineering*, 66, 105917. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.105917>
- Sanchez Molina, J., DÍAZ GARCÍA, J. I., & Sánchez Zúñiga, J. V. (2022). Ingeniería y economía circular-combinación exitosa para la sostenibilidad.
- Sharma, H., Sharma, S. K., Ashish, D. K., Adhikary, S. K., & Singh, G. (2023). Effect of various bio-deposition treatment techniques on recycled aggregate and recycled aggregate concrete. *Journal of Building Engineering*, 66, 105868. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.105868>
- Silva, P. B., Ângulo, S. C., Motta, R., & Bernucci, L. L. B. (2023). Pozzolanic Reaction of Recycled Cementitious and Red Ceramic-Waste Aggregates with Hydrated Lime for Pavement Base Layer. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 35(2). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0004579](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0004579)
- Wagih, A. M., El-Karmoty, H. Z., Ebid, M., & Okba, S. H. (2013). Recycled construction and demolition concrete waste as aggregate for structural concrete. *HBRC Journal*, 9(3), 193–200. <https://doi.org/10.1016/j.hbrj.2013.08.007>