

Tipo de artículo: Artículo original

# Experiencia, tecnología y prueba de agregados de reciclados de hormigones

## Experience, technology and testing of recycled concrete aggregates

Víctor Hugo Álvarez Montes<sup>1\*</sup> , <https://orcid.org/0000-0003-4948-6956>

Byron Baque Camposano<sup>2</sup> , <https://orcid.org/0000-0001-9701-2179>

Carlos Enrique Parrales García<sup>2</sup> , <https://orcid.org/0000-0002-4057-9577>

<sup>1</sup> Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Estatal del Sur de Manabí, UNESUM, Jipijapa, Manabí, Ecuador. [alvarez-victor7564@unesum.edu.ec](mailto:alvarez-victor7564@unesum.edu.ec)

<sup>2</sup> Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Estatal del Sur de Manabí, UNESUM, Jipijapa, Manabí, Ecuador. [byron.baque@unesum.edu.ec](mailto:byron.baque@unesum.edu.ec)

<sup>3</sup> Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Estatal del Sur de Manabí, UNESUM, Jipijapa, Manabí, Ecuador. [carlos.parrales@unesum.edu.ec](mailto:carlos.parrales@unesum.edu.ec)

\* Autor para correspondencia: [byron.baque@unesum.edu.ec](mailto:byron.baque@unesum.edu.ec)

### Resumen

En el presente trabajo tiene como objetivo la realización de un estudio de revisión sobre experiencias generalizadas en la reutilización de hormigones como agregados reciclados para nuevos hormigones. El método bibliográfico y el método deductivo son implementados en la gestión y análisis de las principales referencias sobre los parámetros principales a controlar en los áridos elaborados con hormigones desechados. El estudio señala que los principales requerimientos para áridos reciclados de hormigones son la densidad, la porosidad, la granulometría, la capacidad de absorción, el coeficiente de forma y la textura; mientras estos se mantengan dentro de los límites admitidos en las normativas pueden usarse con cierta cautela, siempre y cuando no se pretenda el uso en hormigones para alta capacidad de carga. Queda evidenciado que el uso de áridos reciclados en la producción de hormigón es una solución ecológica al continuo agotamiento de los áridos naturales y a la vez no se distancia mucho en el comportamiento de los áridos sustituidos siempre que se vigilen los parámetros mencionados. Aunque se evidencian experiencias que recomiendan porcentos de sustitución de árido reciclado por naturales y los efectos que tienen en las propiedades básicas del hormigón endurecido, no deben tomarse los mismos como estándares, más bien como experiencias referenciadas. En cada caso, es requisito que los hormigones con áridos reciclado sean sometidos a estudios de comportamiento pues la fuente de origen de residuo constructivo no es estándar.

**Palabras clave:** hormigón reciclado; tecnologías; requerimientos de áridos reciclados.

### Abstract

*The objective of this paper is to accomplishment a review study on generalized experiences in the reuse of concrete as recycled aggregates for new concrete. The bibliographic method and the deductive method are implemented in the management and analysis of the main references on the main parameters to control in the aggregates made with discarded concrete. The study indicates that the main requirements for recycled concrete aggregates are density, porosity, granulometry, absorption capacity, shape coefficient and texture; As long as these are kept within the limits allowed in the regulations, they can be used with some caution, as long as they are not intended for use in concretes with high load-bearing capacity. It is evident that the use of*



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

*recycled aggregates in the production of concrete is an ecological solution to the continuous depletion of natural aggregates and, at the same time, does not differ much in the behavior of substituted aggregates, provided that the mentioned parameters are monitored. Although there are experiences that recommend percentages of substitution of recycled aggregate for natural ones and the effects they have on the basic properties of hardened concrete, they should not be taken as standards, rather as referenced experiences. In each case, it is a requirement that concretes with recycled aggregates be subjected to behavior studies since the source of origin of construction waste is not standard.*

**Keywords:** recycled concrete; technologies; requirements for recycled aggregates.

**Recibido:** 02/11/2020  
**Aceptado:** 22/12/2020

## Introducción

La industria de la construcción está basada fundamentalmente en el empleo del hormigón, material que implica un alto consumo de energía y materias primas extractivas en grandes cantidades (de Albuquerque et al., 2020).

Por otro lado, el hormigón tiene vida útil limitada, su ciclo está estrechamente relacionado al mantenimiento estructural, al efecto del medio ambiente circunstante o a eventos extremos como los terremotos o ciclones, motivos por los cuales muchas veces esa vida útil se ve acortada bruscamente y se precisa una demolición de las estructuras para reemplazarlas por nuevos proyectos (Gursel et al., 2014)

En el presente como resultado de remodelaciones o demoliciones están siendo acumulados de forma interne y han llamado la atención de la comunidad científica que como mismo ha aumentado se producción en próximas décadas será preciso contar con sistemas capaces de asumir los desechos y reciclarlos, de manera que tanto reutilizar los residuos constructivos como aditivos en la construcción proporcionaría beneficios tanto ambientales como económicos (Backer, 2019).

En países que experimentan un rápido desarrollo como los países BRICS la gestión de materiales de desecho peligrosos es una de las preocupaciones ambientales más desafiantes y se han empezado a desarrollar tendencias de reciclaje respetuoso del medio ambiente. Aunque todos estos procesos no se logran de forma inmediata en la literatura es más frecuente ver reporte de estudios de materiales reciclados y sus efectos sobre nuevos usos y sobre el impacto medioambiental que se logra con el reciclaje (Calcado et al., 2019).

El objetivo del presente trabajo es la realización de una revisión con enfoque descriptivo sobre las experiencias, tecnologías y prueba de agregados de reciclados de hormigones.

## Materiales y métodos



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Implementando el método bibliográfico se realiza la gestión de las fuentes bibliográficas que fundamentan la revisión. Estos están compuestos por artículos científicos en revistas indexadas, informes de trabajos de grado publicados en repositorios académicos, y libros y parte de los mismos electrónicos. En todos los casos son de fácil acceso usando buscadores académicos implementando los autores referenciados y las palabras claves: hormigón reciclado, requerimientos de áridos reciclados.

En complementación, mediante el método deductivo se analizan las experiencias y las tecnologías existentes en el procesamiento y reciclaje de residuos de demolición, particularmente hormigones, y las pruebas de agregados de reciclados de hormigones.

## **Experiencia y tecnología en agregados de reciclado de hormigones.**

Desde la óptica de consumo actual, se recibe una gran presión de ONG ecologistas con una creciente concientización del consumidor respecto al reciclado de materiales que han cumplido su vida útil, apareciendo tecnologías de procesamiento para reciclar residuos e introducirlos como materiales útiles en nuevos procesos, creándose bucles tecnológicos. En el caso de los hormigones demolidos son los agregados su mayor tendencia de reutilización, lo que reduce de esta forma una cantidad considerable de recursos naturales primarios a extraer (Fernández, 2017).

El uso de hormigón triturado como agregado, conocido habitualmente como “agregado reciclado”, impensable hasta hace dos décadas, es en la actualidad actividad con una alta perspectiva de crecimiento. Al inicio, diversos estudios solo avalaron la factibilidad del empleo de agregados reciclados para la elaboración de hormigones de baja calidad. En la actualidad, con el mejoramiento de las tecnologías de procesamiento, al obtenerse mejores agregados reciclados, la mayoría de los investigadores han empezado a avalar que los agregados reciclados pueden utilizarse sin mayores precauciones excepto en casos con grandes demandas niveles de resistencia (Zega et al., 2017).

En la práctica tres situaciones facilitan el uso los hormigones elaborados con agregados reciclados: primordial es la existencia de normativas que permitan su evaluación y control, logísticamente cuando haya escasez de agregados naturales o resulte altamente costoso transportarlos y cuando exista un marco legal-fiscal que prohíba el depósito y a la vez bonifique la reutilización de los residuos de hormigón de demoliciones. Incluso, la simultaneidad conllevará al uso irremediable de los agregados reciclados (Tosic et al., 2015).

Tecnológicamente para hormigones reciclados el proceso de tratamiento consiste básicamente en las operaciones de fragmentación, trituración y clasificación final del producto; de esta forma se tiende a la obtención de un producto final similar a los agregados que se comercializan. Las plantas de producción de agregados reciclados son tecnológicamente idénticas a las de producción de agregados primarios, con excepción de algunos dispositivos



intermedios con fines de seguridad, que garantizan la inspección y extracción de fragmentos metálicos en los residuos (Shi et al., 2016).

## **Prueba de agregados de reciclados de hormigones**

El uso de áridos reciclados influye en la calidad del hormigón, debido al comportamiento débil de la interface entre la pasta de cemento y el árido. El módulo de elasticidad, la retracción en el secado y la fluencia son las propiedades que se ven más afectadas, a mayor resistencia del hormigón reciclado. Por este motivo, resulta conveniente limitar la resistencia máxima admisible del hormigón reciclado. Los resultados alcanzados indican que la pérdida de capacidad mecánica del hormigón reciclado hasta  $50 \text{ N/mm}^2$  es menor especialmente si se utilizan porcentajes de árido reciclado no superiores al 20 % (Arena, 2012).

Un parámetro determinante es la granulometría de los áridos, pues influye a la largo de todo el proceso tecnológico del hormigón: inicialmente en la trabajabilidad del hormigón en proceso de conformación y depósito, luego en el fraguado condicionando la segregación y exudación de la mezcla, y finalmente se ve reflejado en las propiedades a través de la resistencia, la estabilidad de volumen y sobre todo la durabilidad, la cual implica criterios multifactoriales (Li, 2009).

Es parámetro en cuestión depende del sistema de trituración empleado en su proceso de producción. Por lo general, los trituradores de impacto permiten alcanzar residuos con mayor volumen en los áridos produciendo como consecuencia mayor cantidad de finos. La curva granulométrica de la fracción gruesa que producen es adecuada y es viable para los usos granulométricos que recomiendan normas internacionales que rigen los parámetros de árido grueso para hormigón estructural (estándar ASTM). Además, genera polvos finos durante su manipulación debido al desprendimiento por fricción operativa de pequeñas partículas de mortero adheridas que se desprenden. Estas partículas finas en la superficie del árido reciclado pueden originar problemas de adherencia entre éste y la pasta de cemento, además de provocar un aumento de absorción de agua, que demandaría un uso mayor de cemento para garantizar una relación a/c recomendada (Ismail y Ramli, 2013).

Vale observar, que el módulo granulométrico del árido reciclado en dependencia de la tecnología de trituración y las propiedades del hormigón de demolición (reciclable) presentará pequeñas variaciones; generalmente en la medida que sea mayor la resistencia del hormigón reciclable será la mayor la granulometría del árido reciclado para el mismo sistema de trituración (Kang, 2018).

Otro parámetro controlable es la densidad del árido reciclado. Esta suele ser menor que la del árido natural al presentar capas y volúmenes irregulares de mortero adherido, cuya densidad es inferior a la del árido natural. En la medida que disminuya la granulometría disminuirá la densidad en cuestión, siendo la fracción fina obtenida de menor



densidad debido a la mayor cantidad de mortero que poseen sus partículas por unidad de peso (de Juan y Gutiérrez, 2009).

Otra propiedad de alta influencia en el comportamiento del hormigón es la porosidad y el árido reciclado tiende a presentar un valor alto al respecto. Estudios realizados al respecto han demostrado que la penetración de agua es de dos a tres veces superior a los áridos convencionales. Una de las formas de controlar este parámetro es el uso de separadores de densidad industriales, donde para áridos reciclados con densidades superiores a  $2,2 \text{ kg/dm}^3$  se presenta una baja porosidad (inferior al 17%), valor este aceptable para ser usado en hormigones estructurales (Alaejos et al., 2008).

Otra propiedad directamente relacionada con el tamaño y la porosidad, es la absorción. El tamaño del árido reciclado al implicar área de contacto y la porosidad vacío intersticial su influyen de manera decisiva sobre la absorción. Ambos parámetros al ser superiores en las fracciones más finas, conducen a una mayor absorción en las mismas (González y Martínez, 2005). Los valores obtenidos en ensayos ratifican la explicación fenomenológica, siendo la absorción en áridos naturales entre un 0 - 4%, mientras que en los diferentes estudios consultados los valores obtenidos en áridos reciclados oscilan entre 3,3 – 13 %, aunque la mayoría sobrepasan el valor límite de un 7 % (Arena, 2012).

Finalmente, resulta válido señalar que estudios recientes (Abed et al., 2020; Wang et al., 2020) resaltan la influencia de la textura en las propiedades del agregado de reciclado de hormigones. Las partículas de árido reciclado obtenidas suelen presentar una textura más porosa y rugosa que la de los áridos convencionales, también asociado a la presencia de mortero adherido a la superficie del árido origen. Estas circunstancias hacen que los hormigones que se fabriquen con ellos presenten problemas de trabajabilidad.

El parámetro que es un estimador de la textura es el coeficiente de forma y se ve directamente afectado la tecnología de trituración empleada en la obtención del árido reciclado. En este sentido es reconocido que machacadoras de mandíbulas ofrecen un árido reciclado con un coeficiente de forma más óptimo que las trituradoras de impactos o de conos (Tayed et al., 2020).

## Resultados y discusión

De forma directa las propiedades mecánicas de los hormigones endurecidos estarán relacionadas con el cumplimiento de los requisitos para propiedades de los áridos reciclados utilizados. En este sentido la tecnología de tratamiento y reciclaje juega un papel decisivo.

Lo anterior se debe a que existe siempre una diferencia significativa entre los áridos reciclados y los convencionales, pues en los primeros no es posible de retirar la totalidad del mortero adherido incorporado, cuyo origen es el



hormigón de demolición. Aunque parezca a simple vista un aspecto insignificante, la cantidad de mortero adherido es un parámetro difícil de controlar y tiene una gran influencia sobre las prestaciones del hormigón formado con áridos reciclados, evidenciándose un aumento de absorción de agua, una menor densidad, una menor resistencia, por ende, una menor dureza y resistencia a la fragmentación.

Es válido destacar que el hormigón fabricado con estos áridos reciclado estará restringido por su nivel de depuración, reflejándose en parámetros de resistencia como el comportamiento a compresión, fluencia, tracción, módulo de elasticidad y retracción al secado.

Aunque en la revisión se evidencian experiencias que recomiendan porcentajes de sustitución de árido reciclado por naturales y los efectos que tienen en las propiedades básicas del hormigón endurecido, no deben tomarse los mismos como estándares, más bien como experiencias referenciadas. En cada caso, los hormigones con áridos reciclado demandan estudios de comportamiento pues la fuente de origen de residuo constructivo no es estándar.

## Conclusiones

La recuperación y reciclado de hormigones es una tendencia creciente que incide favorablemente en el medioambiente disminuyendo la acumulación de los depósitos de demoliciones y la actividad extractiva de los áridos convencionales.

El proceso de reciclaje de hormigones para ser usados como áridos en nuevos hormigones implica la comprobación de ciertas características dentro de ellas: la densidad, la capacidad de absorción, la porosidad, la granulometría, el coeficiente de forma y la textura, entre otros.

De manera general, en la práctica de la ingeniería civil, tanto la rama docente como investigativa, es prioritaria la tarea de asimilar, elaborar y actualizar por medio de la investigación los requerimientos normativos para el uso de estos materiales reciclados alternativos a través de recomendaciones de buenas prácticas y vías de intercambio y publicación científica. Se recomienda la realización de normativas en función a la práctica experimental de la utilización de áridos provenientes de hormigones reciclados en la normativa Ecuatoriana.

## Conflictos de intereses

Los autores de la presente investigación declaran que no poseen conflictos de intereses.

## Contribución de los autores



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

1. Conceptualización: Víctor Hugo Álvarez Montes, Byron Baque Camposano.
2. Curación de datos: Víctor Hugo Álvarez Montes, Byron Baque Camposano.
3. Análisis formal: Víctor Hugo Álvarez Montes, Byron Baque Camposano.
4. Investigación: Víctor Hugo Álvarez Montes, Byron Baque Camposano, Carlos Enrique Parrales García.
5. Metodología: Víctor Hugo Álvarez Montes, Byron Baque Camposano, Carlos Enrique Parrales García.
6. Administración del proyecto: Víctor Hugo Álvarez Montes.
7. Recursos: Byron Baque Camposano.
8. Software: Byron Baque Camposano.
9. Supervisión: Víctor Hugo Álvarez Montes.
10. Validación: Byron Baque Camposano, Carlos Enrique Parrales García.
11. Visualización: Víctor Hugo Álvarez Montes, Byron Baque Camposano.
12. Redacción – borrador original: Víctor Hugo Álvarez Montes, Byron Baque Camposano, Carlos Enrique Parrales García.
13. Redacción – revisión y edición: Víctor Hugo Álvarez Montes, Byron Baque Camposano, Carlos Enrique Parrales García.

## Financiamiento

La investigación no requirió fuente de financiamiento externa, ha sido financiada por los autores.

## Referencias

- Abed, M., Nemes, R., y Tayeh, B. A. (2020). Properties of self-compacting high-strength concrete containing multiple use of recycled aggregate. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 32(2), 108-114.
- Alaejos, M. P., Sánchez, M., Sinis, F., y Cano, H. (2008). Catálogo de Residuos Utilizables en Construcción. CEDEX para el Ministerio de Medio Ambiente.
- Arenas, M. D. C. (2012). Materiales sostenibles en la edificación: residuos de construcción y demolición, hormigón reciclado (Doctoral dissertation).
- Baker-Brown, D. (2019). *The Re-Use Atlas: A Designer's Guide Towards the Circular Economy*. Routledge.
- Calcado, G., Alves, L., Vazquez, E., y Toledo Filho, R. D. (2019, October). Construction and demolition waste aggregates: analysis of the physical and mechanical properties of mortars. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 652, No. 1, p. 012016). IOP Publishing.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)



- de Albuquerque, C. A., Mello, C. H. P., Gomes, J. H. D. F., Santos, V. C. D., y Zara, J. V. (2020). E-waste in the world today: An overview of problems and a proposal for improvement in Brazil. *Environmental Quality Management*, 29(3), 63-72.
- de Juan, M. S., y Gutiérrez, P. A. (2009). Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate. *Construction and building materials*, 23(2), 872-877.
- González-Fonteboá, B., y Martínez-Abella, F. (2005). Hormigones con áridos reciclados: estudio de propiedades de los áridos y de las mezclas. *Mater. Construcc*, 55(279), 53-66.
- Gursel, A. P., Masanet, E., Horvath, A., y Stadel, A. (2014). Life-cycle inventory analysis of concrete production: A critical review. *Cement and Concrete Composites*, 51, 38-48.
- Ismail, S., y Ramli, M. (2013). Engineering properties of treated recycled concrete aggregate (RCA) for structural applications. *Construction and Building Materials*, 44, 464-476.
- Li, X. (2009). Recycling and reuse of waste concrete in China: Part II. Structural behaviour of recycled aggregate concrete and engineering applications. *Resources, Conservation and recycling*, 53(3), 107-112.
- Kang, M., y Weibin, L. (2018). Effect of the aggregate size on strength properties of recycled aggregate concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018.
- Shi, C., Li, Y., Zhang, J., Li, W., Chong, L., y Xie, Z. (2016). Performance enhancement of recycled concrete aggregate—a review. *Journal of Cleaner Production*, 112, 466-472.
- Tayeh, B. A., Al Saffar, D. M., y Alyousef, R. (2020). The utilization of recycled aggregate in high performance concrete: a review. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(4), 8469-8481.
- Tošić, N., Marinković, S., Dašić, T., y Stanić, M. (2015). Multicriteria optimization of natural and recycled aggregate concrete for structural use. *Journal of cleaner production*, 87, 766-776.
- Wang, Q. Z., Zhao, Y. F., Tseng, M. L., y Lim, M. K. (2020). Performance analysis and reuse of construction and demolition waste stone using fractal and gradation theory. *Journal of Cleaner Production*, 271, 122208.

