

# Caracterización física y mecánica de agregados reciclados obtenidos a partir de escombros de la construcción <sup>1</sup>

## Physical and mechanical characteristics of recycled aggregate obtained from construction and demolition waste.

Recibido 18-10-2014 Aceptado 14-11-2014

Pedro Enrique Matthey Centeno <sup>2</sup>  
Rafael Andrés Robayo Salazar <sup>3</sup>  
Yimmy Fernando Silva Urrego <sup>4</sup>  
Norman Andrés Álvarez Jaramillo <sup>5</sup>  
Silvio Delvasto Arjona <sup>6</sup>

### Resumen

La saturación de los sitios de disposición de desechos sólidos es una de las grandes problemáticas que enfrentan actualmente los países latinoamericanos, incluyendo Colombia, lo que se puede atribuir a su ineficiente aprovechamiento y a la falta de políticas adecuadas para el manejo y gestión de los escombros de construcción y demolición. En la ciudad de Cali, Colombia, por ejemplo, se generan diariamente un promedio de 2.480 m<sup>3</sup> de estos residuos sólidos, de los cuales sólo el 40% es reutilizado. Una alternativa que surge es aprovechar los residuos de la construcción en la producción de elementos prefabricados. En este estudio se realizó una transformación de una muestra puntual y representativa de escombros de demolición en agregados de diversos tamaños, con el fin de caracterizarlos desde el punto de vista físico y mecánico; evaluar su uso potencial en concretos convencionales; y estudiar la viabilidad de su uso en la producción de materiales de construcción.

**Palabras clave:** Residuos de la construcción y demolición ; agregados; concreto; propiedades físicas y mecánicas.

### Abstract

The saturation of disposal sites of solid wastes is a major problem faced by Latin America countries, including Colombia, which can be attributable to their inefficient use and the lack of adequate policies on how to manage, for example, construction and demolition debris. In the city of Cali, Colombia, for example, approximately 2,480 m<sup>3</sup> of debris are produced per day, of which only 40% is recycled. An alternative is to reuse this debris to manufacture prefabricated materials. This study accordingly transformed a specific, representative sample of construction and demolition debris into different-sized aggregates to characterize their physical and mechanical properties; evaluate their potential use in conventional concretes; and determine the viability of their use in the production of building materials.

**Key words:** Construction and demolition debris; aggregates; concrete; physical and mechanical properties.

- 1 Proyecto: Reciclar Escombros en Concreto. Financiado por la Universidad del Valle, convocatoria 2-2013 de la Vicerrectoría de Investigaciones, VRI C.I. 747.
- 2 Venezolano, Estudiante de Doctorado en Ingeniería de Materiales. Ms.C. Grupo Materiales Compuestos, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Contacto: pedro.matthey@correounivalle.edu.co.
- 3 Colombiano, Estudiante de Doctorado en Ingeniería de Materiales. Grupo Materiales Compuestos, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- 4 Colombiano, Estudiante de Maestría en Ingeniería de Materiales. Grupo Materiales Compuestos, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- 5 Colombiano, Estudiante de Pregrado en Ingeniería de Materiales. Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- 6 Colombianos, Profesor Titular, PhD. Grupo Materiales Compuestos, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

## Introducción

Es evidente la necesidad global de incrementar la eficiencia en el consumo de materiales y de energía y, por ello, es una prioridad estudiar materiales para su reciclaje, sobre todo como en el caso del concreto, que hoy por hoy es el material más producido por año en el mundo y uno de los que causa mayor impacto ambiental. Para el caso se habla de más de diez mil millones de toneladas de concreto, es decir, más de una tonelada por habitante/año. En Colombia, aunque el índice es más bajo, la industria de la construcción es uno de los sectores más dinámicos y de mayor incidencia en el desarrollo económico del país. Una de las consecuencias que se derivan de la actividad constructora es la generación de volúmenes considerables de residuos. Los residuos de la construcción y la demolición (RCD) o escombros, como son llamados en algunos países latinoamericanos, son materiales de desecho generados durante las diferentes etapas de un proyecto de construcción civil, lo cual incluye estructuras y materiales rechazados, materiales que han sido utilizados y se han deteriorado, e inclusive, aquellos derivados de actividades de excavación y limpieza del lugar al finalizar la obra, entre otros. También, resultan residuos en la demolición de edificaciones afectadas por eventos naturales como sismos, inundaciones, deslizamientos, etc. (Torgal y Jalali, 2011; Oikonomou, 2005; Poon y Chang, 2007). Se destacan, por su mayor volumen, los residuos de concreto. Una de las alternativas que surge para la valorización de dichos residuos es su uso como material de partida para la producción de gravas y arenas recicladas, que sean aptas para su uso como agregados en la elaboración de mezclas de concreto convencional (Eguchi *et al.*, 2007; Malesev, 2012; Deshpande, 2011; Matar y Dalati, 2011; Poon *et al.*, 2002; (Rao *et al.*, 2007).

Se estima que en el país la demanda de agregados para concretos es de 18 millones de metros cúbicos por año, según el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), por lo que la cantidad de cemento gris que se despacha en el interior del país, cifra que alcanza las nueve millones de toneladas por año, permite inferir un consumo de concreto del orden de 35 millones de toneladas por año. Además, se calcula que el departamento del Valle del Cauca es el responsable del 10% de esta demanda, lo cual genera el interrogante de hasta cuándo las canteras podrán abastecer esta exigencia de materias primas no renovables.

El uso de materiales reciclados (RCA) en la mezcla de concreto es una tendencia que se viene manejando desde hace varias décadas y se ha demostrado que cierto tipo de escombros ayudan a mejorar el desempeño mecánico, la durabilidad y la trabajabilidad del concreto al ser usado como agregado fino o grueso (González *et al.*, 2012; Braga *et al.*, 2014).

Se analizaron de manera comparativa las propiedades físicas y mecánicas de los agregados reciclados, con respecto a los agregados naturales que se utilizan normalmente en el área de la construcción, con la finalidad de demostrar la viabilidad de su uso en la fabricación de concreto de cemento Portland. Todas las actividades de adecuación de los RCD se desarrollaron en las instalaciones de la Universidad del Valle (Cali-Colombia) en el marco del Grupo de Investigación de Materiales Compuestos (GMC).

## Metodología

En la Figura 1 se presenta la metodología seguida en el desarrollo y ejecución de la investigación.

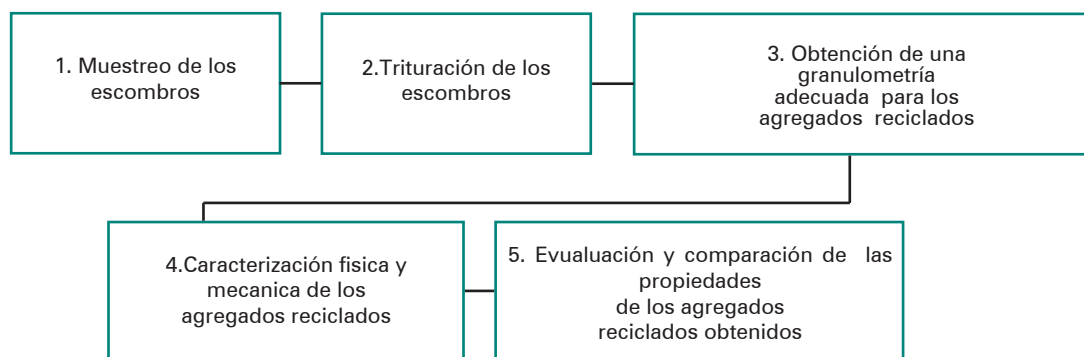


Figura 1. Metodología del proyecto de investigación.

El muestreo de los escombros se realizó dentro del campus de la Universidad del Valle, estas muestras correspondieron a trozos de concreto reforzado de 40 cm de diámetro promedio, los cuales fueron sometidos a un proceso de trituración primaria por medio de una trituradora de mandíbulas y posteriormente por un molino de martillos con

el fin de reducir su tamaño inicial hasta obtener agregados finos y gruesos aptos para su uso en mezclas de concreto. La obtención de las gradaciones y el tamaño máximo para cada tipo de agregado se garantizó por medio de cribado manual, haciendo pasar los agregados por una malla de ½ pulgada de abertura (Figura 2).



Figura 2. Proceso de trituración de los escombros.

Para la caracterización de los agregados obtenidos se emplearon las normas técnicas presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Normas técnicas utilizadas en la caracterización de los agregados.

Ensayo	Norma empleada
Tamizado de agregados	NTC 77
Masa unitaria de los agregados	NTC 92
Impurezas orgánicas	NTC 127
Densidad, absorción y porosidad de la grava	NTC 176
Densidad, absorción y porosidad de la arena	NTC 237
Contenido de humedad de los agregados	NTC 1776
Coefficiente de Los Ángeles	ASTM C131
Coefficiente de forma	UNE-EN 933

Fuente: Autores



Figura 3. Agregados reciclados; finos (derecha) y gruesos (izquierda).

Desde el punto de vista macroscópico, los agregados obtenidos a partir de la trituración de los escombros alcanzaron tamaños similares a los que normalmente presentan los agregados naturales, no obstante es importante estudiar su distribución granulométrica para evaluar si ésta se encuentra entre los estándares utilizados o presenta un comportamiento similar. Por esa razón fue necesario analizar granulométricamente cada uno de los agregados reciclados obtenidos y compararlos con las gradaciones granulométricas que la norma ASTM C33 estipula como idóneas para la fabricación de concretos (Figuras 4 y 5).

## Resultados y análisis

La adecuación que se realizó para la obtención de los RCD, permitió reducir el tamaño de los trozos originales de concreto a tamaños comparables a los necesarios para que este tipo de materiales sean utilizados como agregados para la fabricación de concretos como se observa en la Figura 3.

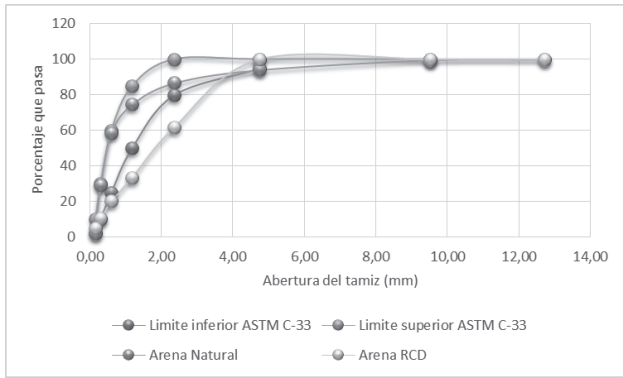


Figura 4. Curva de distribución granulométrica de los agregados finos.

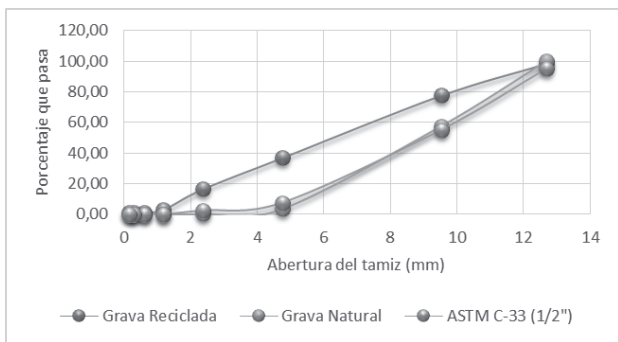


Figura 5. Curva de distribución granulométrica de los agregados gruesos

En la Figura 4 se observa cómo el agregado fino reciclado muestra el mismo comportamiento que la arena natural en líneas generales; a pesar de esto se puede ver que es un poco más grueso que la misma, por lo que la curva granulométrica revela una pequeña desviación en los tamices con aberturas de 2,36 mm y 1,18 mm con respecto a la curva arrojada por las arenas naturales. No obstante, como la desviación es pequeña podría decirse que las arenas recicladas presentan un comportamiento granulométrico adecuado para ser usadas en la fabricación de concretos.

En cuanto a la Figura 5, los agregados gruesos reciclados también muestran un comportamiento similar a los agregados gruesos naturales, pero entre los tamices de 4,75 mm y 9,52 mm hay una pequeña desviación que señala que los agregados reciclados son un poco más finos que los agregados triturados con los cuales se comparó. A pesar de esto se puede observar que su distribución granulométrica es buena y se asemeja a los parámetros que propone la ASTM C33.

La morfología es otro aspecto importante de analizar, ya que se puede evaluar físicamente la influencia que podrían tener los agregados sobre el comportamiento en el estado fresco y endurecido de los concretos que lo contengan, ya

que cuanto más angular sea la partícula, su capacidad de acomodamiento en el concreto será menor, a pesar de que generen mejor adherencia con la matriz. El agregado grueso reciclado y el agregado grueso natural presentaron un factor de forma promedio de 0.49, lo que indica que su morfología es similar, tal como se puede observar en la Figura 6.

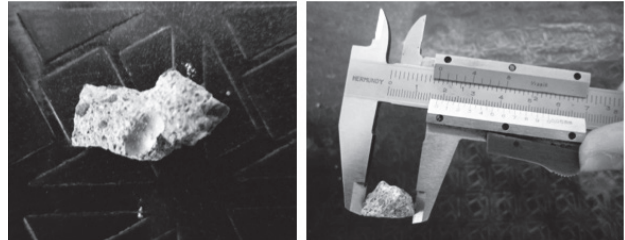


Figura 6. Morfología de las partículas de agregados gruesos reciclados.

Unas de las principales características que presentan estos agregados reciclados es el mortero adherido, al cual se le atribuyen una cantidad importante de las propiedades de este tipo de agregados en el concreto. En la figura 7, se puede observar la presencia del mortero adherido sobre una partícula de agregado natural.

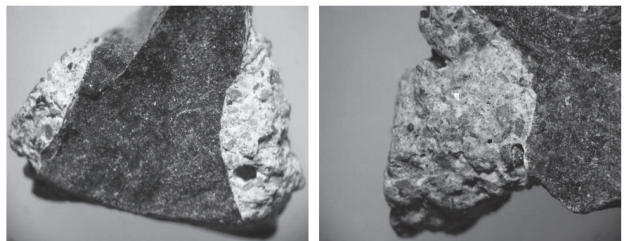


Figura 7. Morfología de las partículas de agregados gruesos reciclados

Este aspecto se puede corroborar a través de imágenes de microscopía electrónica de barrido (MEB) que reflejan la presencia de este mortero en las pequeñas partículas de grava natural (Figura 8).

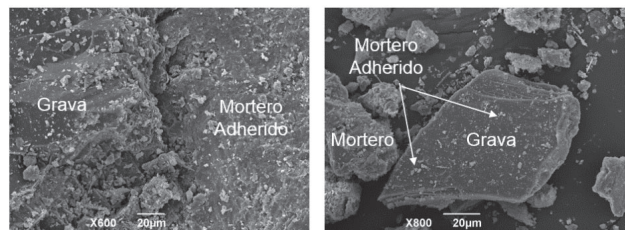


Figura 8. Microscopía electrónica de barrido de los agregados reciclados; Grueso (izquierda) y Fino (derecha).

La interfase que se genera entre el mortero adherido y la partícula de grava es una zona relativamente débil y presenta cierta fragilidad, lo cual trae como consecuencia que las partículas recicladas más grandes, al poseer una fracción mayor de este mortero adherido tengan menores propiedades mecánicas que las más finas, esto es debido a que en el proceso de molturación de los agregados más finos, se elimina en gran volumen esta interfase al desprenderse el mortero de la partícula de grava (Tam, 2009; Shayan, 2003; Cheng, 2005; Zhou, 2010), como se puede observar en la Figura 8 (derecho). Con base en lo anterior, la resistencia al desgaste que presentan las partículas de agregado reciclado será menor (33,65%) que la presentada por las partículas naturales (16,39%); según las especificaciones de la norma ASTM C131, que indican que valores de coeficiente de los ángulos superiores al 50% corresponden a áridos de muy mala calidad no aptos para la construcción, y por el contrario, valores inferiores al 20% corresponden a agregados de buena calidad con resistencia al desgaste suficiente para cualquier aplicación. (McNail, K y Kang, 2013).

Otra de las posibles consecuencias que tiene el mortero adherido sobre el agregado reciclado se puede ver reflejada en los valores de densidad, porosidad y absorción de las partículas, como se observa en las Tablas 2 y 3, en donde además se presentan otras características de interés que poseen los agregados reciclados.

Se pudo observar que la densidad de los agregados reciclados es menor en relación con los naturales; esta leve disminución se debe también a aquella fracción de mortero que queda adherido y cuya porosidad es mayor a la piedra natural lo cual genera que la densidad se vea levemente afectada (Safiuddin, 2011, McNail, K y Kang, 2013; Wardeh *et al.*, 2014).

Uno de los aspectos que quizás tiene mayor relevancia o impacto, en cuanto a la caracterización de los agregados reciclados, es su elevada capacidad de absorción de agua, ya que es la propiedad que más difiere a la hora de comparar entre ambos tipos de agregados. Se observó que el porcentaje de absorción de agua de los agregados reciclados es mucho mayor que el de los naturales, fenómeno que también se debe a la estructura porosa del mortero adherido que poseen estos agregados y su mayor capacidad de absorción de agua (Leite, 2012; Etxeberria, 2007; McNail, K y Kang; Bendimerad *et al.*, 2014)

**Tabla 2.** Características físicas y mecánicas de los agregados gruesos.

Característica	Norma	Natural	Reciclada
Densidad aparente (Bulk)	NTC 176	2,54 gr/cm <sup>3</sup>	2,26 gr/cm <sup>3</sup>
Absorción	NTC 176	2,01 %	7,28 %
Masa unitaria suelta	NTC 92	1,47 gr/cm <sup>3</sup>	1,26 gr/cm <sup>3</sup>
Masa unitaria compacta	NTC 92	1,59 gr/cm <sup>3</sup>	1,46 gr/cm <sup>3</sup>
Módulo de finura	NTC 77	6,38	5,64
Tamaño máximo nominal	NTC 77	12,5 mm (1/2")	12,5 mm (1/2")
Tamaño Máximo	NTC 77	12,5 mm (1/2")	12,5 mm (1/2")
Relación di/Di (morfología)	UNE 933-4	0,493	0,499
Coefficiente de Los Ángeles	ASTM C-131	16,39 %	33,65 %

**Fuente:** Autores

**Tabla 3.** Características físicas y mecánicas de los agregados finos

Característica	Norma	Natural	Reciclada
Densidad aparente (Bulk)	NTC 176	2,58 gr/cm <sup>3</sup>	2,28 gr/cm <sup>3</sup>
Absorción	NTC 176	1,89 %	6,44 %
Masa unitaria suelta	NTC 92	1,63 gr/cm <sup>3</sup>	1,51 gr/cm <sup>3</sup>
Masa unitaria compacta	NTC 92	1,74 gr/cm <sup>3</sup>	1,80 gr/cm <sup>3</sup>
Módulo de finura	NTC 77	2,61	2,34
Tamaño máximo nominal	NTC 77	2,36 mm (1/2")	4,75 mm (1/2")
Tamaño Máximo	NTC 77	12,55 mm (1/2")	11,55 mm (1/2")
Materia orgánica	NTC 127	#2	#2
Materia orgánica	NTC 127	#2	#2

Fuente: Autores

### Conclusiones

El uso de los residuos de concreto como agregados para el concreto muestra una viabilidad importante desde el punto de vista físico y mecánico, además del impacto positivo que trae usar este tipo de materiales. Sus problemas de porosidad y cantidades de mortero adherido se podrían sopesar con una molienda que disminuya al máximo la presencia del mortero adherido, para ser así agregados más finos para la fabricación de concretos. Sin embargo, a pesar de estas características que pudiesen ser contraproducentes para este tipo materiales, los mismos cumplen con las normativas que especifican las características que deben tener los agregados usados para construcción.

### Agradecimientos

Los autores presentan sus agradecimientos al Grupo de Investigación "Materiales Compuestos" de la Universidad del Valle; Proyecto VRI C.I.747 "Reciclar escombros en Concreto", financiado por la Universidad del Valle, convocatoria 2-2013 de la Vicerrectoría de Investigaciones.

### Referencias

Bendimerad, A., Roziere, E y Loukili, A. (2014). Combined experimental methods to asses absorption rate of natural and recycled aggregates. *Materials and Structures*, RILEM. 2014

Braga, M., De Brito, J y Veiga, R. Reduction of the cement content in mortar made with fine concrete aggregates. *Materials and Structures*, 47(1-2). RILEM. 2014.

Cheng, G Y. (2005). Experimental Study on The Basic Performance Of Recycled Aggregate Concrete With Different Displacement Ratio, *Chinese Concrete*, 11:67-70

Deshpande, N., Kulkarni, S y Patil, N. (2011). Effectiveness of using coarse recycled concrete aggregate in concrete. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 4(6):913-919

Eguchi, K., Teranishi, K., Nakagome, A., y Kishimoto, H. (2007). Application of recycled coarse aggregate by mixture to concrete construction. *Construction and Building Materials*, 21(7): 1542-1551

Etxeberria, M., Vázquez, E., Marí, A., and Barra, M. (2007). Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Research*, 37:735-742

González-fonteboa, B., Martínez-abella, F., Herrador, M. F., Seara-paz, S. (2012). Structural recycled concrete : Behaviour under low loading rate. *Construction and Building Materials*, 27(1): 612-622.

Leite, M., Gualberto, J., Filho, F y Lima, P. (2012). Workability study of concretes made with recycled mortar aggregate, *Materials and Structures*, 46(10):1765-1778

- Malesev, M., Radonjanin, V y Marinkovic, S. (2012). Recycled concrete as aggregate for structural concrete production, *Sustainability*, 2(5):1204-1225
- Matar, P., y Dalati, R. E. (2011). Strength of masonry blocks made with recycled concrete aggregates. *Physics Procedia*, 21: 180-186.
- McNail, K y Kang, T.(2013). Recycled concrete aggregates: A review. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 7(1):61-71
- Oikonomou, N. D. (2005). Recycled concrete aggregates, *Cement and Concrete Composites*, 27:315-318
- Poon, C.S. y Chan, D. (2007). The use of recycled aggregate in concrete in Hong Kong. *Resources Conservation and Recycling*, 50: 293-305
- Poon, C. S., Kou, S. C., y Lam, L.(2002). Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks. *Construction and Building Materials*, 16: 281-289.
- Rao, A., Jha, K. N., Misra, S. (2007). Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. *Conservation and Recycling*, 50: 71-81
- Safiuddin, M., Salam, M y Jumaat, M. (2011). Effects of Recycled Concrete Aggregate on the Fresh Properties of Self-Consolidating Concrete. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 11(4):1023-1041
- Shayan, A and Xu, A. (2003). Performance and Properties of Structural Concrete Made with Recycled Concrete Agregate, *ACI Materials Journal*, 100(5): 371-380.
- Tam, V., Gao, X., Tam, C and Ng, K. (2009). Physio-chemical reactions in recycle aggregate concrete, *Journal of Hazardous Materials*, vol 63(2-3): 823-828
- Torgal, F.P y Jalali, S. (2011). Eco-efficient Construction and Building Materials, Chapter 4: *Construction and Demolition (C and D) Wastes*: London, England. Springer-Verlag London Limited.
- Wardeh, G., Gholbel, E y Gomart, H. Mix. (2014). Desing and properties of recycled aggregates concrete. Applicability of Eurocode 2. *International Journal of Concrete Structure and Materials*. DOI: 10.1007/s40069-014-0087
- Zhou JH., He HJ, Meng XH and Yang, Y. (2010). Basic mechanical properties of recycled concrete experimental study. *Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science)*, 26(3):464-468