

Concreto con agregados provenientes de escombros de construcción y demolición en Colombia

Nancy Torres Castellanos^a, Pedro Nel Quiroga Saavedra^b

^a Profesora asistente e investigadora de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Miembro ACI – Internacional. Magister en ingeniería civil de la Universidad Nacional.

^b Profesor asociado e investigador de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Miembro ACI – Internacional. Ph.D. de la Universidad Texas en Austin.

Adaptación del artículo presentado en el Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, Ancona, 2010

Mientras en algunos países se recicla un gran porcentaje de los escombros de construcción y demolición (C&D), en Colombia la mayor parte se desecha en escombreras o rellenos sanitarios, generando problemas ambientales. Adicionalmente cada vez son más escasas las fuentes de agregados de buena calidad cercanas a Bogotá, por lo cual, ha sido necesario acudir a fuentes relativamente lejanas para satisfacer toda la demanda. Por tanto producir agregados a partir de escombros de C&D tendría beneficios económicos y ambientales. Desde mediados de los noventa, se han realizado varios proyectos de investigación, con alcance limitado, cuyos resultados más relevantes se presentan en este artículo. La Escuela Colombiana de Ingeniería ha iniciado un proyecto de investigación en el tema con un alcance amplio que permita elaborar guías de diseño de concreto reciclado en Colombia. Se presentan los objetivos, actividades y los resultados esperados, así como la descripción de una planta piloto para producir concreto con agregados reciclados para diferentes usos dentro del campus de la Escuela.

INTRODUCCION

Bogotá produce alrededor de 8 millones de toneladas de escombros de C&D, parte de las cuales se depositan en las pocas escombreras autorizadas de Bogotá y municipios cercanos, parte en el relleno de Doña Juana, parte, ilegalmente, en los humedales, bermas y otras zonas públicas, y un porcentaje muy bajo es reutilizado. La capacidad de los rellenos y escombreras de Bogotá está llegando a su límite lo que significa que la disposición de basuras y escombros se tendrá que hacer cada vez más lejos.

Por otro lado, cada vez es más difícil conseguir agregados de buena calidad cerca a Bogotá. De hecho, parte de la zona minera de Tunjuelito, principal fuente de agregados para concreto de Bogotá, fue clausurada en junio de 2010 por las autoridades distritales, obligando al acarreo de agregados desde canteras situadas a 100 – 200 km de Bogotá, con el consecuente aumento de costo del concreto. En otras ciudades la explotación de agregados ha generado problemas como deslizamientos, destrucción de hábitats, contaminación del aire y del agua. El uso de agregados, provenientes de escombros de C&D contribuiría a disminuir estos problemas.

Aunque Bogotá es mucho más grande que las demás ciudades del país, los problemas mencionados no le son exclusivos. En muchos municipios los habitantes no son conscientes de esta situación porque aún tienen escombreras o rellenos con suficiente capacidad o fuentes cercanas de agregados. Uno de los objetivos de este artículo es llamar la atención sobre problemas

ambientales que se pueden presentar en el futuro y de los cuales ya son conscientes muchos países en el mundo en relación con los agregados, la materia prima para producir concreto.

Del total de escombros de C&D producidos en Bogotá, cerca de un 80% (6.5 millones de toneladas al año) es material de excavación compuesto por arcilla, limo y materia orgánica y cerca de un 20% (1.5 millones de toneladas al año) son escombros de concreto y ladrillo. Mientras en Holanda y Dinamarca se recicla más del 90 % del total de escombros [Lauritzen, 2004], en Colombia, sólo hay unos pocos ejemplos de obras en las cuales los desechos de C&D se han utilizado para elaborar elementos de concreto [Bedoya, 2003]. Algunas de las razones por las cuales en el país no se han hecho intentos serios para reciclar estos materiales son: el desconocimiento de que se puede elaborar concreto de buena calidad con material reciclado, las normas técnicas colombianas no consideran los agregados reciclados como componente del concreto y la falta de un marco jurídico que promueva el uso de concreto reciclado que desaliente desechar los escombros de C&D.

Antecedentes

Lo anterior no significa que no haya habido interés en reciclar escombros de C&D en el país. Desde mediados de los noventa se han adelantado algunos proyectos de investigación y últimamente funcionarios o entidades oficiales han mostrado interés en el tema. A continuación se presentarán algunos de los resultados más relevantes de estos proyectos.

Reyes (1999) para su tesis de maestría produjo bloques de concreto reciclado de 125 x 245 x 65 mm, adoquines y cilindros estándar de 100 mm de diámetro con tres tipos de concreto reciclado. El primer tipo estaba compuesto por ladrillo triturado como agregado grueso y arena de río como agregado fino. El tipo dos estaba compuesto por grava como agregado grueso y ladrillo triturado como agregado fino. El tipo tres estaba compuesto por ladrillo triturado como agregado grueso y fino. Las 3 mezclas tenían diferentes relaciones agua-cemento (a/c), tanto los cilindros como los ladrillos se sometieron a ensayos de compresión, estos resultados se muestran en la Tabla 1. Aunque la resistencia a compresión de los cilindros fue un poco baja, el material cumplía con los requisitos de resistencia de la norma técnica colombiana para bloques y ladrillos de concreto, para mampostería estructural, NTC 4026.

Tabla 1. Propiedades del Concreto Reciclado en el Estudio de Reyes

Muestra	Agregado grueso	Agregado fino	a/c	$f'c$ (MPa)	Rc28 (MPa)
1	Ladrillo triturado	Arena de río	0.7	13	20
2	Grava	Ladrillo triturado	0.8	11	20
3	Ladrillo triturado	Ladrillo triturado	0.9	7	12

$f'c$ = Resistencia a compresión de cilindros a 28 días

Rc28 = Resistencia a compresión de ladrillos individuales a 28 días

Reyes también hizo ensayos de abrasión en los adoquines de concreto reciclado y en adoquines de arcilla cocida comerciales. La pérdida en masa de los adoquines de concreto reciclado fue 3 %, significativamente mayor que la de los adoquines comerciales de arcilla que fue 0.8 %.

Torres (2000) como parte de su tesis de maestría hizo una serie de mezclas de concreto con relación a/c de 0.50 usando agregados reciclados provenientes de columnas y vigas de concreto, muros de ladrillo, baldosas de cerámica y diferentes contenidos de cemento Portland. En la Tabla 2 se presentan la composición de las mezclas, así como su resistencia promedio a compresión y flexión a 28 días. Como se puede ver una de las mezclas con agregado reciclado tuvo una resistencia a compresión un poco menor, aunque resistencia a flexión un poco mayor que la de la mezcla de control, mientras que la otra tuvo una resistencia a compresión significativamente mayor.

Tabla 2. Propiedades del concreto reciclado del estudio de Torres

Muestra	Agregado grueso	Agregado fino	a/c	$f'c$ (MPa)	Rc28 (MPa)
1	Natural	Natural	0.50	25	5.2
2	Concreto y Ladrillo triturados	Concreto y Ladrillo triturados	0.50	22	5.8
3	Concreto y Ladrillo y tableta de cerámica triturados	Concreto y Ladrillo y tableta de cerámica triturados	0.50	29	n/a

En los últimos años entidades oficiales de Bogotá, han mostrado interés en el reciclaje de escombros de C&D. Por ejemplo, en 2001 se hizo un convenio entre la Escuela Colombiana de Ingeniería y la Unidad Ejecutiva de Servicios Públicos (UESP) del Distrito para adelantar un programa experimental con el fin de evaluar el potencial de reuso de escombros de C&D producidos en 17 obras, la mayoría relacionada con la construcción o rehabilitación de avenidas o vías peatonales.

El material se clasificó en tres grupos: material fino, compuesto por arcilla, limo y materia orgánica, material proveniente de excavación y demolición, compuesto por agregados y fragmentos de concreto contaminados y material proveniente de construcción y demolición, compuesto por concreto y ladrillo no contaminados por suelo, polvo o materia orgánica.

Al primer material se le determinaron sus propiedades como material de relleno, para lo cual se sometió a diferentes niveles de compactación y se le hicieron ensayos de resistencia a la compresión confinada, q_u , y módulo tangente al 50% de la resistencia, E_t . Se encontró que en general q_u y E_t aumentaban con el nivel de compactación, por lo cual se concluyó que era necesario compactarlo para usarlo en sub-bases o como material de relleno.

El material 2 se estabilizó con diferentes porcentajes (4 a 7 %) de cemento Portland. Las muestras se elaboraron mezclando material reciclado con cemento y agua. Luego se compactaron hasta obtener alta densidad y se curaron en cámara húmeda por 7 días. La mitad de las muestras se ensayaron a compresión en estado seco. El resto se ensayaron a compresión después de 4 horas sumergidas en agua, para determinar la resistencia residual a compresión. Aunque hubo una gran variabilidad, en general se encontró que a mayor contenido de finos menor resistencia residual y que a mayor contenido de cemento mayor resistencia a compresión y mayor resistencia residual.

Con el tercer material se hizo concreto. Se utilizaron dos fuentes, una de la demolición de una casa vieja, compuesta por ladrillo y concreto y la otra fuente, una vía peatonal, compuesta principalmente por concreto de baja resistencia. Ambos materiales se trituraron, tamizaron y caracterizaron. El material triturado de cada fuente se recombinó de tal forma que la granulometría se ajustara a la de Fuller. Se hicieron 7 mezclas de concreto con relaciones a/c variando entre 0.68 y 0.94. La Tabla 3 muestra las características generales de las muestras así como la resistencia a compresión a 28 días. En general la resistencia a compresión fue un poco menor que la esperada para concreto convencional de las mismas características.

Tabla 3. Propiedades del concreto reciclado del Proyecto Cooperativo ECI-UESP

Name	Agregado Grueso	Agregado Fino	a/c	$f'c$ (MPa)
A-08	Concreto, ladrillo y baldosas trituradas	Concreto, ladrillo y baldosas trituradas	0.94	10
B-09	Concreto triturado ($f'c \geq 21$ MPa)*	Arena de río	0.75	16
C-010	Concreto triturado ($f'c \leq 17.5$ MPa)	Arena de río	0.79	14
D-011	Concreto triturado ($f'c \geq 21$ MPa)	Ladrillo triturado	0.85	13
E-012	Ladrillo triturado (50%) + Concreto triturado ($f'c \geq 21$ MPa) (50%)	Arena de río	0.70	15
F-013	Ladrillo triturado (50%) + Grava de río (50%)	Arena de río	0.68	16
G-014	Concreto triturado ($f'c \geq 21$ MPa)	Concreto triturado ($f'c \geq 21$ MPa)	0.74	11

* Resistencia a compresión del concreto original

Bedoya [2003] en su tesis de maestría plantea que hay aspectos culturales relacionados con el uso de concreto reciclado que se deben tener en cuenta en el futuro, por ejemplo que hay reticencia generalizada, incluyendo la de contratistas y diseñadores, a usar concreto con agregados reciclados pues se asocia reciclado con material de mala calidad. Menciona también que a raíz de un proyecto de investigación adelantado por él, una empresa de prefabricados produjo elementos de concreto con agregado reciclado como se muestra en la Figura 1. La resistencia promedio a compresión sobre el área neta fue de 4.8 MPa, un poco menor a lo exigido por la NTC 4076 para bloques de concreto para mampostería no estructural (6 MPa).

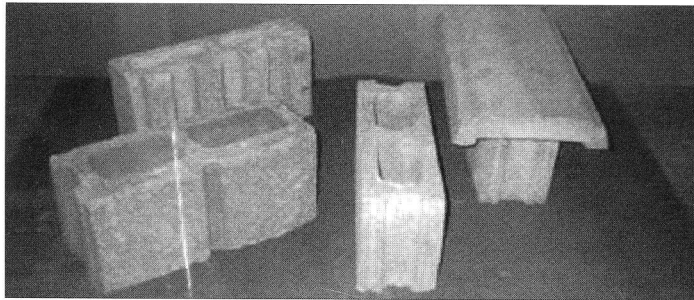


Fig. 1. Bloques de concreto con agregados reciclados

En 2008, Bojacá hizo una investigación del estado del conocimiento a nivel mundial y encontró que en algunos países se reciclan altos porcentajes (más del 80 %) de los escombros de C&D, y en otros han hecho investigaciones y esfuerzos muy importantes para reutilizar mayores cantidades de escombros de C&D. Estos esfuerzos aún no se han visto en muchos otros países, como Colombia, que prácticamente no se reutilizan estos escombros. También encontró que la intervención del estado es necesaria para que el proceso pueda marchar, facilitando por ejemplo las instalaciones para la clasificación, proceso y almacenamiento de escombros y que los programas de reciclaje exitosos han requerido de un marco legal que asegure que los constructores reutilicen los escombros de construcción y demolición, por ejemplo imponiendo multas al uso de concreto sin agregados reciclados o imponiendo multas o sobrecostos a la disposición de escombros en rellenos y escombreras.

Bojacá también adelantó un programa experimental en el cual hizo dos series de concreto con agregado reciclado proveniente de cilindros ensayados de 100 x 200 mm. El material triturado lo clasificó en dos grupos dependiendo de la resistencia a compresión original del concreto. En el primer grupo usó cilindros de concreto con $f'c$ entre 18 y 25 MPa, mientras que para el segundo usó cilindros con $f'c$ entre 25 y 32 MPa. Usando estos dos tipos de agregado grueso y arena natural elaboró 4 mezclas como se muestra en la Tabla 4 con las cuales fundió cilindros y vigas. Las primeras dos mezclas tenían una relación agua-cemento de 0.60, y las dos segundas de 0.40. Se realizaron ensayos de compresión y flexión y se midió la absorción del concreto, cuyos resultados se muestran en la Tabla 4 también. Se puede observar que la resistencia de las mezclas con alta relación agua-cemento fue significativamente menor que la de la mezcla de control, mientras que en las mezclas de baja relación agua-cemento sucedió lo contrario. Finalmente, la absorción del concreto reciclado fue alta, como era de esperarse.

Tabla 4. Propiedades del concreto reciclado del proyecto de Bojacá

Serie	Agregado Grueso	Agregado Fino	a/c	$f'c$ (MPa)	RM (MR) (MPa)	Absorción (%)
A-1 control	Natural	Natural	0.60	26	4.7	n/d
A-2	Concreto triturado ($f'c = 18-25$ MPa)	Natural	0.60	13	3.9	12.4
B-1 control	Natural	Natural	0.40	37	6.0	n/d
B-2	Concreto triturado ($f'c = 25-32$ MPa)	Natural	0.40	43	5.4	9.7

n/d = no disponible

Como se puede observar se han realizado varios proyectos de investigación relacionados con concreto reciclado en algunas universidades de Colombia. Estos proyectos se han enfocado en la resistencia a compresión y flexión, pero no han estudiado la durabilidad de dichos concretos, la cual muchas veces es más importante. En general se han hecho ensayos sobre unos pocos especímenes lo cual no permite sacar conclusiones generales que permitan hacer recomendaciones y guías de diseño. Los resultados obtenidos no son suficientes tampoco para convencer a la sociedad en general, constructores, funcionarios oficiales o legisladores de las ventajas económicas y ambientales que tendría el reciclaje de escombros de C&D. Sin embargo, los resultados obtenidos en dichas investigaciones muestran que es posible producir concreto de la resistencia requerida usando agregados reciclados.

PROPUESTA DE INVESTIGACION

Considerando que la información disponible en el país, aunque importante, proviene de estudios aislados y de alcance limitado, por lo cual no permite sacar conclusiones generales ni desarrollar guías de diseño de mezclas de concreto con agregados reciclados, el grupo de Investigación en Comportamiento Estructural de la Escuela Colombiana de Ingeniería inició en 2009 un proyecto con un alcance amplio para estudiar el efecto de variables tales como el contenido y tipo de agregados reciclados, relación agua-cemento en las propiedades mecánicas (resistencia a compresión y flexión y módulo elástico) y en la durabilidad (permeabilidad, absorción, resistencia a sulfatos, cloruros y carbonatación) de concreto reciclado. Además de agregados provenientes de la trituración de concreto y ladrillo, se considerará el uso de agregados y adiciones provenientes de otros materiales como llantas y vidrio.

Como los resultados de proyectos de investigación pueden no ser suficientes para promover el uso de los escombros de C&D como material de construcción es importante hacer proyectos demostrativos que permitan ver el uso de concreto con agregados reciclados en la realidad. Por eso se montó una planta piloto de reciclaje (Figura 2) para utilizar los escombros de ladrillo y concreto que resultan de las actividades de construcción y demolición dentro del campus, o del laboratorio de ensayo de materiales (Figuras 3, 4 y 5) para elaborar concreto para diversas aplicaciones como fabricación de bloques y adoquines, construcción de andenes y elementos estructurales de futuras edificaciones. El propósito de esta parte del proyecto es reducir la cantidad de escombros que la Escuela

envía a las escombreras de la ciudad, así como demostrar a la comunidad, constructores, funcionarios y legisladores que es técnica y económicamente factible producir concreto de buena calidad con agregados reciclados.

La planta piloto está compuesta por una trituradora pequeña (Fig. 2), un tamiz y una mezcladora. La trituradora puede producir agregados con tamaño máximo variable entre 5 mm y 25 mm mediante un mecanismo de ajuste de las mandíbulas.

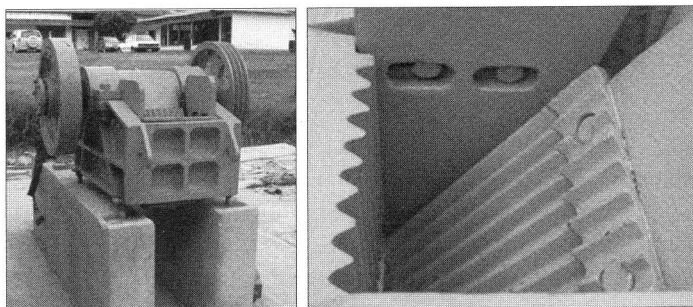


Fig 2. Trituradora y detalle de la mandíbula

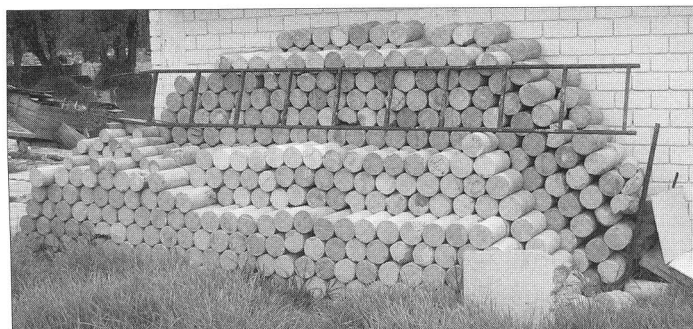


Fig 3. Cilindros ensayados listos para trituración

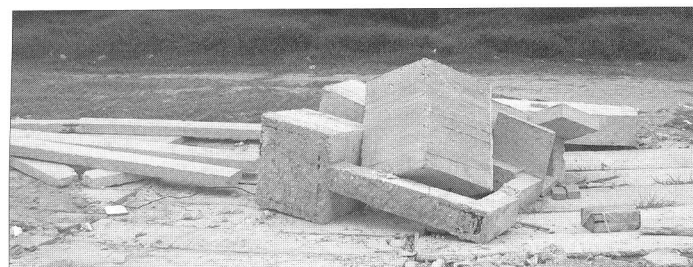


Fig 4. Elementos de proyectos de investigación disponibles para trituración

Finalmente se pretende desarrollar una guía de diseño de concreto reciclado para Colombia y un borrador de normativa técnica para este tipo de agregados



Fig 5. Desechos de ensayos de laboratorio

RESUMEN Y CONCLUSIONES

En Colombia se arrojan millones de toneladas de escombros de C&D cada año y la producción de agregados genera gran impacto ambiental, en algunas ciudades las fuentes de agregados de buena calidad tienen pocos años de vida útil, prácticamente nada se recicla, al contrario de países en los cuales se recicla más del 90 %.

En los últimos años se han realizado algunas investigaciones sobre el tema en varias universidades colombianas; sin embargo, estos proyectos en general han tenido un alcance limitado y la cantidad de resultados es insuficiente para obtener conclusiones generales aplicables a todo el país, además no se han considerado aspectos de durabilidad.

El Grupo de Investigación en Comportamiento Estructural de la Escuela Colombiana de Ingeniería ha iniciado un proyecto para estudiar el efecto de un número relevante de variables en el desempeño de concreto reciclado, para lo cual se implementó una planta piloto para producción de agregados reciclados a partir de escombros de concreto y ladrillo generados dentro del campus y elaboración de concreto para bloques, adoquines, andenes y elementos estructurales de edificaciones y de esta manera se espera demostrar a la comunidad y a las entidades gubernamentales las ventajas del uso de concreto reciclado, que permita proponer el desarrollo de una legislación que promueva su utilización.

REFERENCIAS

ASTM C90 – 09. “Standard Specification for Loadbearing Concrete Masonry Units.” ASTM International, West Conshohocken, PA, 11 pages.

Bedoya, C.M. (2003). “El Concreto Reciclado con Escombros como Generador de Hábitats Urbanos Sostenibles (Recycled Concrete as a Generator of Urban Sustainable Habitats).” Master’s Thesis. Universidad Nacional de Colombia at Medellín.

Bogotá Mayor’s Office (1997). “Guía Técnica para el Manejo de Escombros de la Construcción (Technical Guide for the Management of Construction and Demolition Waste).” 35 p.

Bojacá, N. (2008) “Concreto Sostenible como Alternativa Estructural, Ambiental y Económica en la Construcción de Obras Civiles (Sustainable Concrete: a Structural, Environmental and Economical Alternative for Civil Works).” Project Report. Escuela Colombiana de Ingeniería.

Lauritzen, E. K. (2004) “Recycling Concrete-An Overview of Challenges and Opportunities”. ACI Special Publication SP-219 Recycling Concrete and Other Materials for Sustainable Development. Eds Liu and Meyer.

Reyes, D. (1999) “Manejo y Reciclaje de Escombros de Construcción (Management and Recycling of Construction and Demolition Waste).” Master’s thesis. Universidad Nacional de Colombia.

Torres, J. H. (2000). “Reciclaje de Desechos Sólidos de la Construcción. Análisis Comparativo para la Elaboración de Concreto con Áridos Reciclados (Recycling of Construction and Demolition Waste – Comparative Analysis of Producing Concrete with Recycled Aggregates).” Master’s thesis. Universidad Nacional de Colombia and Universidad Politécnica de Valencia.