



Propiedades mecánicas del concreto fabricado con agregados reciclados extraídos de escombros de mampuestos de arcilla cocida

Mechanical properties of concrete made with recycled aggregates extracted from debris of baked clay masonry

MORENO ANSELMÍ, Luis A. [1](#); OSPINA GARCIA, Miguel A. [2](#); RODRÍGUEZ POLO, Kelly A. [3](#)

Recibido: 04/09/2018 • Aprobado: 24/01/2019 • Publicado 04/02/2019

Contenido

- [1. Introducción](#)
- [2. Metodología](#)
- [3. Resultados](#)
- [4. Conclusiones](#)

[Referencias bibliográficas](#)

RESUMEN:

El artículo analiza el concreto reciclado elaborado con agregados extraídos de escombros de ladrillos de arcilla cocida, se realiza una revisión del estado de arte y se presenta un caso de estudio de un establecimiento penitenciario ubicado en la costa Atlántica Colombiana, realizando pruebas mecánicas en muestras obtenidas de las columnas, en donde se empleó éste tipo de concreto. Finalmente se comparan los resultados con concretos elaborados con agregados de origen sedimentario y términos normativos.

Palabras clave: Agregados reciclados, propiedades mecánicas, términos normativos

ABSTRACT:

The article analyze the recycled concrete made with aggregates extracted from the rubble of baked clay bricks, it does a review of the state of art and it is presented a case study of a penitentiary located in the area of the Colombian Atlantic coast, performing mechanical tests on samples obtained from columns inside the establishment, where this type of concrete was used. Finally, the results are compared with concrete made with aggregates of sedimentary origin and normative terms.

Keywords: Recycled aggregates, mechanical properties, normative terms.

1. Introducción

Actualmente se ha incrementado la necesidad de implementar mejoras que permitan reducir el impacto ambiental de la producción de concretos y sus componentes, debido a que este material genera alta contaminación en su fabricación (Sagastume, Cabello, Gaviria, Caneghem, & Vandecasteele, 2017); por lo cual, en los últimos años se han realizado investigaciones evaluando el uso de residuos de la demolición como reemplazo de los agregados de origen natural (Kisku, Ansari, Panda, Nayak, & Dutta, 2017) con la finalidad

de reducir el impacto ambiental y los costos productivos, (Ospina, Moreno, & Rodriguez, 2017). Particularmente, el uso de agregados producto del reciclado de demoliciones, disminuye la acumulación de residuos sólidos en escombreras y a su vez, disminuye la explotación de agregados en una cantera (Aliabdo, 2014), reduciendo el impacto ambiental de forma proporcional al emplear la cantidad de agregados reciclados usados (Martínez, y otros, 2015)

La implementación de residuos de construcción en la producción de concreto, tiene como limitación la variabilidad en la composición de los mismos (Cabral, Schalch, Dal Molin, & Ribeiro, 2010). La literatura revisada sugiere que la durabilidad y las propiedades del concreto elaborado con agregados reciclado de la construcción RAC (por sus siglas en inglés: Recycled Aggregate Concrete) son generalmente menores que las mezclas concreto con agregados de origen natural (Kisku, Ansari, Panda, Nayak, & Dutta, 2017). Adicionalmente, aunque al emplear residuos de la construcción, la separación del ladrillo triturado de arcilla del concreto y/o mortero presenta una dificultad operacional e implica un aumento de los costos (Ospina, Moreno, & Rodriguez, 2017); estos se ven compensados por la disminución en costos de explotación y permisos ambientales que implican los agregados de origen natural. Finalmente ambos tipos de agregados requieren de una trituración (Pepe, Toledo Filho, Koenders, & Martinelli, 2014), la cual se realiza dependiendo de la dureza del material, que en el caso de los agregados reciclados será menor (Ospina, Moreno, & Rodriguez, 2017).

En este artículo se presenta una revisión documental sobre la resistencia de concretos elaborado con agregados de escombros de bloque de arcilla cocida, como reemplazo total del agregado grueso de origen natural, con la finalidad de proveer una síntesis de resultados obtenidos por diferentes autores, visualizando la posibilidad de establecer su uso, y discutir sobre la posibilidad de alcanzar resistencias de diseño específicas que puedan requerir los diferentes proyectos de ingeniería. Luego, se presentan resultados del comportamiento mecánico de éste tipo de mezclas en un caso de aplicación real, el cual consiste en un establecimiento penitenciario ubicado en la zona de la costa atlántica en Colombia, cuyas instalaciones tienen alrededor de 40 años, extrayendo núcleos de varias columnas pertenecientes a ésta edificación y se evaluó sus propiedades mecánicas e integridad por la duración de las mismas. Finalmente se realiza un análisis de resultados, comparando lo obtenido en la revisión bibliográfica y los resultados de laboratorio del concreto del establecimiento penitenciario, frente a concretos fabricados con agregado natural y términos normativos.

1.1. Concreto reciclado

Como concreto reciclado se reconoce a todo aquel concreto que se fabrica de un material de origen artificial y se re-utiliza como agregado en el concreto; los porcentajes de variación pueden ir entre el 1% al 100% de uso como agregado reemplazante de un agregado de origen natural (Paul, 2017). Como se mencionó en el idioma inglés se simboliza como RAC y en el idioma español se le dice solamente Concreto Reciclado (Cruz, Jhoanna, Barreto, & Lenner, 2014). Los materiales que pueden re-utilizarse son aquellos que presentan alguna resistencia mecánica, y soporten un proceso de trituración mecánica; se ha empleado desde residuos de plástico (Silva, De Brito, & Dhir, 2014), hasta residuos de mezclas de concreto reforzado subproducto de la demolición de concreto (Ospina, Moreno, & Rodriguez, 2017).

Igualmente, se debe tener en cuenta que la resistencia mecánica de éste tipo de mezclas, dependerá netamente de la resistencia mecánica del tipo de agregado (American Concrete Institute, 2001), recordando que aproximadamente el 70% del contenido neto de un concreto es el agregado empleado y por lo tanto en ésta variación se encontrarán sus propiedades mecánicas dependiendo del porcentaje de participación del agregado (Neville & Brooks, 1987). De la misma manera, para el uso de éste tipo de concreto deberá determinarse las propiedades de los agregados y diseñarlas de acuerdo con las características físicas de estos (De Larrard, 2014) y hay que tener en cuenta que al tener un agregado de origen artificial y residuo de un material de demolición o desecho, su densidad y masa unitaria es más baja que un agregado de origen natural, por lo tanto se aumentará

el consumo de los otros materiales participantes en la mezcla tales como el cemento (Ospina, Moreno, & Rodríguez, 2017).

2. Metodología

Se realiza un análisis comparativo de los diferentes estudios sobre el uso de triturado de bloque de arcilla haciendo énfasis en la resistencia a la compresión. Para su desarrollo se realiza una revisión documental, con el fin de evaluar las propiedades al usar este material en el campo de la construcción; esta posibilidad se basa en la premisa de poder desarrollar propiedades mecánicas específicas con este tipo de concreto. Por otra parte, aunque existen algunas revisiones recientes en materia de los usos de residuos de la construcción (Kisku, Ansari, Panda, Nayak, & Dutta, 2017) (Cabral, Schalch, Dal Molin, & Ribeiro, 2010), estas no descartan el efecto del uso del bloque de arcilla como remplazo del agregado grueso.

Texto capítulo 2

2.1. Revisión bibliográfica: Uso de agregado reciclado de bloque de arcilla

El uso de bloque de arcilla reciclado es recomendable para muchas aplicaciones donde la resistencia térmica, el costo y los aspectos ambientales son fundamentales (Aliabdo, 2014). Sin embargo, una serie de investigaciones concluyen en limitar el uso de este agregado, no se debe reemplazar el agregado natural con ladrillo de arcilla triturado en concretos reforzados con acero, (Adamson, Razmjoo, & Poursaee, 2015). Igualmente, Adamson (Adamson, Razmjoo, & Poursaee, 2015) encontró que la resistencia a la penetración de los cloruros se reduce en la medida que se incrementa el contenido del triturado, por lo tanto, el usar áridos de ladrillo de arcilla, reduciría la penetración de estos materiales corrosivos, aumentando la durabilidad.

Hay investigaciones que sugieren, que al usar ladrillo de arcilla triturado con otros materiales tiene la posibilidad de incrementar las propiedades mecánicas de este. Por ejemplo, al reemplazar el 100% de los agregados gruesos por residuos cerámicos (mezcla de ladrillos cerámicos; azulejo blanco y porcelana sanitaria), la resistencia a la compresión se incrementa en un 11% (Pacheco-Torgal & Jalali, 2010).

Debieb and Kenai examinan la posibilidad de usar el triturado de bloque de arcilla como agregado fino y grueso usando diferentes porcentajes de reemplazos (25%, 50%, 75% y 100%) a los agregados tradicionales (Debieb & Kenai, 2008). Los resultados mostrados desarrollaron concretos con triturado de ladrillo de arcilla cocida con características similares a los concretos tradicionales, mientras se limita a un 25% y 50% la cantidad de agregado grueso y fino respectivamente.

Aliabdo realizó ensayos de compresión en 26 mezclas de concreto, incorporando diferentes proporciones de escombros de ladrillo triturado como agregado para presentar un estudio comparativo (Aliabdo, 2014). Estos resultados confirmaron que el incremento del contenido de agregado reciclado disminuye la resistencia a la compresión de las mezclas. Un estudio en las propiedades físicas y mecánicas de concretos elaborados con RAC y triturado de bloque de arcilla cocido CCB (por sus siglas en inglés: (Crushed Clay Bricks) con la finalidad de establecer limitaciones en este tipo de mezclas fue desarrollado por Yang; en este estudio mostró que cuando se reemplaza el 50% del agregado con CCB afecta la resistencia del concreto progresivamente a los 7 días y se reporta una reducción del 14% y del 20% a los 28 días (Yang, Du, & Bao, 2011).

Por otra parte, la deformación progresiva del concreto usando triturado de piedra y CCB como agregado grueso fue evaluado por Ahmad and Roy, para lo cual dos grados diferentes de concretos fueron evaluados (17,2 y 27,5 MPa) usando un diseño respectivo de mezcla con los dos componentes y fueron evaluados durante un periodo de 50 días (Ahmad & Roy, 2011). Los resultados mostraron que las mezclas realizadas con triturado de piedra presentan la mayor deformación progresiva. Además, como se incrementa la resistencia del concreto, la diferencia en la deformación progresiva entre los concretos realizados con triturado de piedra y CCB, se incrementa.

En Colombia, Pérez Rojas evalúa el uso de CCB como reemplazo parcial del agregado grueso (10, 20 y 30% de reemplazo del agregado triturado). Los resultados indican una clara disminución en la resistencia a la compresión cuando se realiza el uso del CCB (Pérez Rojas, 2012). Sin embargo, todos los concretos presentaron una resistencia superior a los 21 MPa y la reducción de la capacidad respecto a concreto tradicional (sin reemplazo) varía entre un 2% y 6 %. Silva et al. explora la posibilidad de desarrollar concretos autocompactantes usando residuos de demolición de mampostería (Silva, Robayo, Matthey, & Delvasto, 2015). Los resultados permiten evidenciar que el uso de este tipo de agregados finos permite obtener unas propiedades mecánicas y de flujo (segregación, exudación y capacidad de relleno) adecuadas para su uso mientras se utilice un porcentaje de reemplazo menor al 30%.

Se realiza un análisis comparativo de los diferentes estudios sobre el uso de triturado de bloque de arcilla haciendo énfasis en la resistencia a la compresión. La metodología corresponde a una investigación documental, con el fin de evaluar las propiedades al usar este material en el campo de la construcción; esta posibilidad se basa en la premisa de poder desarrollar propiedades mecánicas específicas con este tipo de concreto. Por otra parte, aunque existen algunas revisiones recientes en materia de los usos de residuos de la construcción (Kisku, Ansari, Panda, Nayak, & Dutta, 2017) (Cabral, Schalch, Dal Molin, & Ribeiro, 2010), estas no destacan el efecto del uso del bloque de arcilla como reemplazo del agregado grueso.

2.2. Efecto del uso de bloque de arcilla triturado en la durabilidad

Estudios previos han demostrado que la resistencia a la penetración de los cloruros se reduce en la medida que se incrementa el contenido de bloque de arcilla triturado como agregado, esto se debe a que está directamente relacionado con la alta porosidad y absorción de la arcilla cocida. (Adamson, Razmjoo, & Poursaee, 2015).

2.3. Efectos del reemplazo de agregado grueso en la resistencia a la compresión

En general, las investigaciones muestran que los concretos producidos con agregados reciclados presentan menor resistencia a la compresión que las mezclas tradicionales (Cabral, Schalch, Dal Molin, & Ribeiro, 2010). Esta reducción es inversamente proporcional a la cantidad de sustitución de (Yang, Du, & Bao, Concrete with recycled concrete aggregate and crushed clay bricks. , 2011). Un incremento lineal en la resistencia a la compresión entre un 20% y 30% en concretos con un nivel de sustitución de 50% y 100% de agregado grueso por agregado reciclado es reportada por Martínez-Lage, Martínez-Abella, Vázquez-Herrero, & Pérez-Ordóñez (2012).

Sin embargo, en un estudio realizado Kallak, presenta reducciones en la resistencia a la compresión hasta de un 87% para un reemplazo total del agregado grueso por CCB (Kallak, 2009). Yang et al. registró reducciones de un 20% a los 28 días cuando se reemplaza un 50% del agregado grueso por CCB (Yang, Du, & Bao, 2011). En la tabla 1 se resumen los resultados de resistencia a la compresión reportados en la literatura y los parámetros más influyentes de las mezclas.

Tabla 1
Caracterización de los agregados

Investigador	Contenido de cemento kg/m ³	Relación A/C Patrón /RAC	Tipo de Cemento	% de reemplazo de agregado grueso	f'c* (MPa)	f'c (MPa)
	250	0.70/0.70		25, 50, 75 y	22,0	16,0

Aliabdo 2014	350	0.5/0.5	CEM-1	100	34,0	22,5
Adamson et al. 2015	No reportado	0.42/NA	Uso General o Tipo I	25 y 50	46,0	N/A
Debieb and Kenai 2008	350	0.60/0.57	Uso General o Tipo CEM I-32.5	25, 50, 75 y 100	30	21.5
Kallak 2009	250	0.47/0.75	Cemento Portland	25, 50, 75 y 100	30.0	3.2
Cabral et al 2010	430***	0.45/0.46 0.6/0.6 0.74/0.74	Cemento Portland	50, 100	46,0 35,0 27,0	30.5 23.5 17.5
Yang et al 2011	435	0.47/0.47	CEM I BS EN 197-1	50	54.7	N/A
Ahmad & Roy 2011	314*** 431***	0.58/0.55 0.38/0.37	Cemento Portland	100 100	17.7 30.2	18.6 28.6
Perez-Rojas 2012	250***	0.5/0.5	Cemento Portland	10,20 y 30	24,9	N/A

* de concreto patrón (28 días), (N/A = No aplica)

** de concreto con 100% de reemplazo del agregado grueso (28 días).

*** Valor aproximado basado en una mezcla de concreto descrito por los autores.

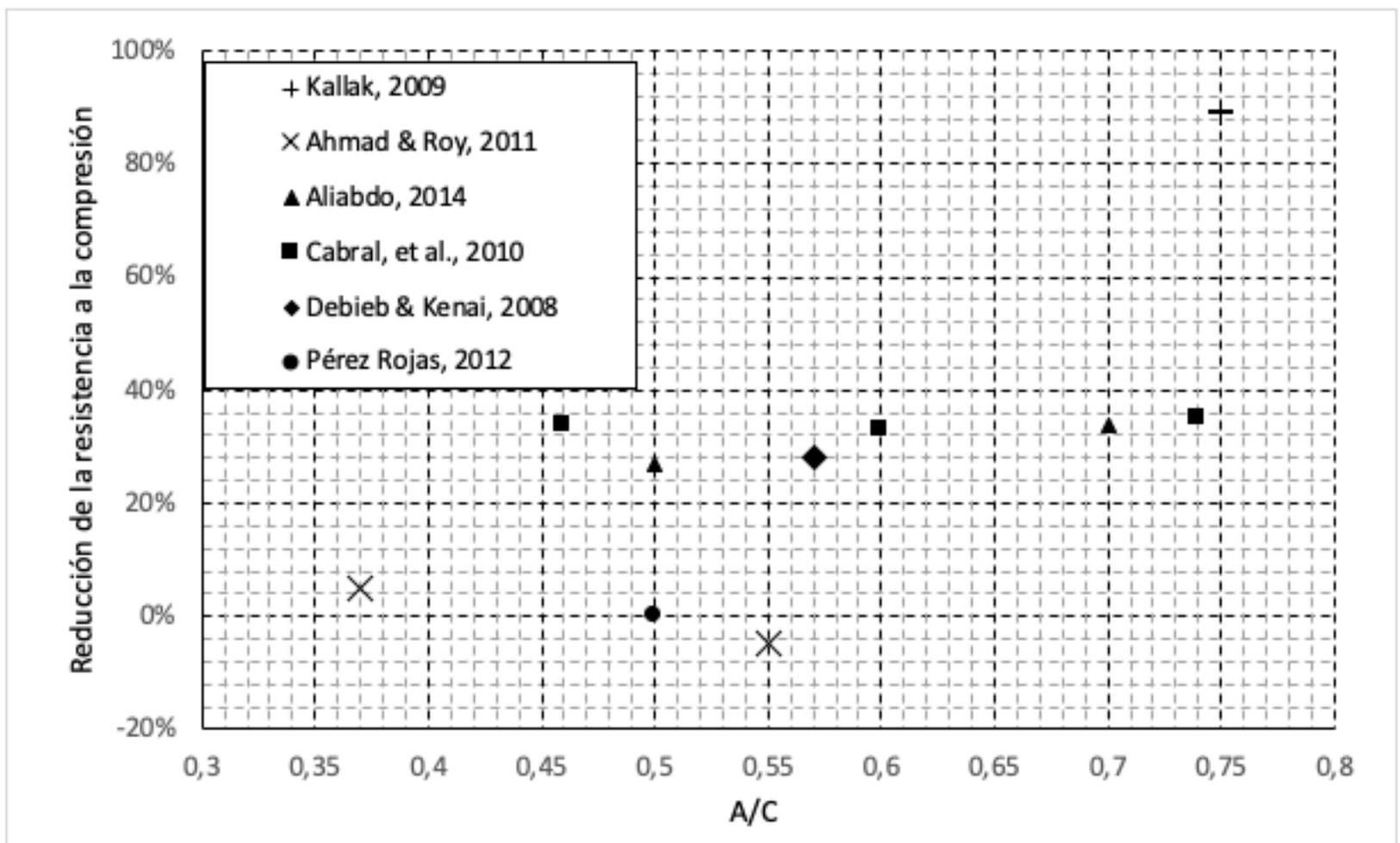
La Tabla 1 muestra los diferentes estudios realizados con cemento portland de uso general, mezclado con concretos de triturado de arcilla y a su vez esta mezcla con otros tipos de cemento pueden ser explorados. La relación agua-cemento A/C es considerado uno de los factores más influyentes en la resistencia a la compresión del concreto reciclado (Ulloa, García-Taengua, Pelufo, Domingo, & Serna, 2013), por tanto, se grafica el porcentaje de reducción de la resistencia a la compresión versus la relación A/C para los datos presentados en la Tabla 1

En la Figura 1 se puede observar que en una reducción promedio del 30% puede ser esperada cuando se reemplaza el 100% de los agregados gruesos por el ladrillo de arcilla triturado. Además, teniendo en cuenta que los puntos graficados son para diferentes cantidades de la relación agua cemento, la reducción en la resistencia a la compresión parecen no ser influenciados por la cantidad de cemento usado en la mezcla.

Los valores reportados por Kallak para el concreto con agregado de arcilla no son graficados ya que no se usó una relación agua/cemento similar que en el concreto patrón (0.75 vs 0.47) y por tanto, no pueden ser comparados (Kallak, 2009). Los resultados reportados por Ahmad & Roy presentan un comportamiento totalmente diferente, es decir, para una relación agua cemento de 0.55 el concreto con trozos de ladrillo presenta una mejor resistencia que el concreto realizado con triturado de piedra (Ahmad & Roy, 2011).

Figura 1

Variación en la resistencia en la compresión cuando se usa ladrillo de arcilla triturado como agregado grueso



2.4. Efectos del reemplazo de agregado grueso en la porosidad

La absorción de agua del agregado CCB es mayor que la presentada en los agregados naturales del concreto (Adamson, Razmjoo, & Poursaee, 2015). Además, se ha reportado que el agregado CCB presenta una absorción de agua mayor al concreto elaborado con la mezcla de variedad de residuos de la construcción (Yang, Du, & Bao, 2011). Aliabdo por ejemplo, reporta un incremento en la porosidad en concretos con CCB entre el 14.5% y 25.0% para una mezcla con un contenido de cemento de 350 kg por metro cúbico de concreto y $A/C = 0,5$ y, de 16% a 26% para un contenido de cemento de 250 kg por metro cúbico de concreto y $A/C = 0,7$. Sin embargo otros estudios que reportan cifras aún mayores, determinaron que la permeabilidad al agua de las mezclas con CCB se duplica al reemplazar el agregado grueso por ladrillo triturado (Yang, Du, & Bao, 2011), también han establecido que la permeabilidad de los concretos reciclados puede ser hasta cinco veces mayor que el del concreto con agregados naturales (Debieb & Kenai, 2008) (Hansen, 1992).

2.5. Efectos del reemplazo de agregado grueso en el módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad del concreto reciclado es típicamente menor que el de concretos tradicionales y el uso de agregado CCB como agregado grueso presenta la mayor influencia (Cabral, Schalch, Dal Molin, & Ribeiro, 2010). Un alto reemplazo de agregado grueso por CCB reduce el módulo de elasticidad significativamente; Aliabdo determinó una reducción en el módulo de elasticidad en concretos con CCB entre 20.0 y 34.5 a 20 MPa para una mezcla con un contenido de cemento de 350 kg y $A/C = 0,5$ y, de 16 a 28 MPa para un contenido de cemento de 250 kg y $A/C = 0,7$. Estas reducciones son típicamente atribuidas a la alta porosidad del bloque de arcilla comparado con los agregados pétreos naturales (Adamson, Razmjoo, & Poursaee, 2015).

2.6. Efectos del reemplazo de agregado grueso en la tensión indirecta del concreto

Reemplazar el agregado grueso tradicional por altas cantidades de CCB reduce la resistencia a la tensión indirecta de manera considerable (Sagastume, Cabello, Gaviria, Caneghem, &

Vandecasteele, 2017), (Debieb & Kenai, 2008) registraron que la relación entre la resistencia a la tensión indirecta entre los concretos elaborados con CCB y el concreto tradicional se encuentra entre 0.2 y 1.4.

3. Resultados

Un análisis de la calidad del bloque de arcilla cocida y de su origen debe ser el primer paso cuando se desea incorporar este tipo de residuo de la construcción como sustitución de los agregados naturales de las mezclas de concreto (Pérez Rojas, 2012). En estas mezclas se debe tener especial cuidado en los diseños para evitar el agrietamiento y reducir los problemas de durabilidad en refuerzo del concreto (Debieb & Kenai, 2008). Específicamente, se debe tener en cuenta el cambio en la cantidad de agua demandada y ajustar la relación A/C para considerar la alta porosidad y absorción de los agregados reciclados (Adamson, Razmjoo, & Poursaee, 2015).

Diferentes investigadores sugieren limitar la cantidad de agregado reciclado para evitar una pérdida considerable en la resistencia de los concretos reciclados; Aliabdo recomienda usar agregados reciclados CCB como un reemplazo del 25% y 50% del agregado grueso natural para mezclas de concreto con 350 kg y 250 kg de cemento respectivamente (Aliabdo, 2014).

Un límite del 25% para el agregado grueso y del 50% para el agregado fino por CCB es propuesto por (Debieb & Kenai, 2008) con la finalidad de obtener propiedades similares a las de un concreto tradicional. En esta misma dirección, Pérez-Rojas propone limitar a un 30% el reemplazo del agregado grueso natural por CCB (Pérez Rojas, 2012).

Una resistencia mínima de 17,0 MPa para los concretos es estipulada en la normativa colombiana de construcción sismo-resistente (NSR-10, 2010, tabla C.4.3.1) (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. AIS. 2010), cuando se presentan las mejores condiciones ambientales (es decir, donde el ambiente es seco o protegido de la humedad, que no está expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo, no se requiere baja permeabilidad y la concentración de sulfatos solubles en agua en contacto con el concreto es baja) y para aplicaciones en estructuras con capacidad de disipación de energía mínima. Considerando lo anterior y los resultados reportados en la tabla 1, las futuras investigaciones deberían considerar en el diseño de la mezcla de concreto una cantidad de cemento mayor a 250 kg y una relación A/C menor a 0,70.

3.1. Resistencia a la compresión del concreto con bloque de arcilla triturado como agregado grueso: un caso práctico

Para confirmar lo establecido anteriormente, se extrajo el segmento superior de una columna interior de un establecimiento penitenciario (Figura 2-c) con una sección transversal de 250 mm x 250 mm (Figura 2-a, 2-b), este establecimiento se encuentra en un nivel de agresividad III (Figura 2-e) de acuerdo con la aCI 201 2r (ACI 201-2R American Concrete Institute, 2001) una temperatura promedio de 30° C, humedad relativa de 80% aproximadamente y una altura de 3 msnm. Como se observa en la figura 2-d, el agregado grueso es reemplazado por triturado de ladrillo de arcilla.

Figura 2

Muestra de concreto endurecido (tomado de Segura y Cardona 2016).



a) Localización de la columna



b) Sección de Columna de concreto extraída



c) Sitio de extracción de núcleos y secciones del concreto.



d) Núcleos extraídos



e) nivel de agresividad

Tres núcleos fueron extraídos (figura 2-d) usando la metodología de la norma ASTM C 42 (ASTM C 42 American Standard Testing and Materials, 2004) y sometidos al ensayo de compresión de acuerdo con la norma ASTM C 39 (American Society Testing and Materials, 1996). La resistencia de estos cilindros fue de 6,6 MPa, 7,6 MPa y 10,8 MPa (C.A., P.A., & M.A, 2017), es decir, una resistencia promedio de 8,3 MPa que se encuentra por debajo de los valores promedio reportados por otros investigadores (ver Tabla 1) y a su vez su resistencia es menor a lo exigido por la NSR 10 título C.5.1.1 de lo especificado por la normativa colombiana, la cual es de 17 MPa (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. AIS. (2010) Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), 2010). Esto puede deberse a que el tamaño del agregado de ladrillo triturado es mucho mayor que el tamaño máximo del agregado grueso triturado que se usa en una mezcla de concreto estructural (es decir, 3/4 de pulgada) y/o una posible relación A/C muy alta (ejemplo, mayor a 0.7). Esto se resume en la Gráfica 1 y la Tabla 2.

Tabla 2

Resultados obtenidos del concreto fabricado con mampostería reciclado.

ITEM	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)	CONTENIDO DE CEMENTO (kg/m ³)
Aliabdo 2014	16	250
	22,5	350
Adamson et al. 2015	21,5	350
Kallak 2009	3,2	250
	30,5	430
Cabral et al 2010	23,5	430

	17,5	430
Yang et al 2011	N/A	435
	18,6	
Ahmad & Roy 2011	28,6	314
	N/A	431
Proyecto Investigación	8,3	190
L.I. NSR-10	17	No aplica

Si se observa la Tabla 2 y de acuerdo a la búsqueda bibliográfica, para que éste tipo de mezclas tengan una resistencia que cumpla lo mínimo especificado por la NSR 10 numeral C.5.1.1, se debe emplear un contenido de cemento mayor a 300 kg/m³ lo cual es aumentar el contenido de cemento, esto implicará unos costos adicionales en una mezcla de concreto empleando este material (Ospina, Moreno, & Rodriguez, 2017). Para el análisis del proyecto expuesto, es notable que éste concreto no cumple con la resistencia especificada por la norma, sin embargo, hay que tener en cuenta que, en la época de construcción del proyecto (1976), no había códigos de construcciones gubernamentales y adicionalmente la supervisión técnica era escasa. Razón por lo cual no se vieron limitados normativamente para emplear éste tipo de concreto y con un contenido tan bajo de cemento; lo que ha mantenido la institución carcelaria hasta el día de hoy, es su baja altura y poca actividad sísmica del sitio.

Gráfica 1. Comportamiento mecánico del concreto compuesto con mampostería comparado con referencias bibliográficas y términos normativos.

Esta situación es más visible en la Gráfica 1, adicionalmente es notable la diferencia de resistencia entre cada proyecto, a pesar de que se emplea reemplazo del agregado grueso de origen natural, con agregado de origen de mampostería triturada. Por lo tanto para que un concreto que emplee agregado grueso de origen de mampostería es necesario tener un contenido de material cementante de 350 kg/m³, teniendo en cuenta el sobre costo que significa emplear una relación elevada de contenido cementante, los ahorros en costos de materia prima no serán significativos; sin embargo la ganancia estará en la disminución del impacto ambiental, transporte de materiales de desecho y disposición de los mismos, lo cual ayudarán al medio ambiente y a cronogramas constructivos.

4. Conclusiones

Aunque existe una gran variedad de literatura publicada sobre el uso de productos de material de desecho (Behera, Bhattacharyya, Minocha, Deoliya, & Maiti, 2014), son escasos los resultados publicados sobre el efecto neto del uso de triturado de bloque de arcilla como agregado grueso en las diferentes propiedades del concreto tanto en su estado fresco como endurecido. En este sentido, una gran cantidad de estudios son sugeridos en el futuro, esto con la finalidad de establecer lineamientos más claros sobre el diseño de este tipo de concretos. Además, estos estudios deben incorporar cementos diferentes al cemento portland de uso general.

Considerando que el agregado CCB reduce tanto las características mecánicas y como de durabilidad de los concretos comparado con los agregados naturales (Adamson, Razmjoo, & Poursaee, 2015), establecer límites de reemplazo en los porcentajes de reemplazo de este agregado es apenas necesario para algunas aplicaciones estructurales. Basado en la revisión de literatura, se recomienda ampliar la cantidad de investigaciones en mezclas de concreto

con una cantidad de cemento mayor a 250 kg y una relación A/C menor a 0.70.

En cuanto a la resistencia a la compresión, se reafirma que una reducción promedio del 30% es estimada al reemplazar el 100% de los agregados gruesos por el bloque de arcilla triturado dentro de las relaciones A/C reportadas en la literatura (entre 0.46 y 0.74).

Precauciones especiales deben considerarse al tratar de utilizar este tipo de agregados en ambientes con presencia de concentración de cloruros en el ambiente (e.g. zonas costeras) debido a la alta porosidad y permeabilidad que exhibe este tipo de mezclas de concreto.

Igualmente, al analizar el concreto de la institución carcelaria, el cual tiene más de 40 años, es notable que éste tipo de concretos brindan durabilidad, sin embargo, al emplear una relación baja de contenido de cemento, la resistencia del mismo es baja, por lo tanto, al desear emplear el agregado de origen de mampostería de demolición, es necesario emplear contenidos de cemento que superen los 350 kg/m³.

4.1. Recomendaciones

En futuras investigaciones relacionadas con la temática, es recomendable emplear diferentes tipos de cemento, tales como cementos estructurales con alta finura (ART) y cementos marinos con baja finura (ARS) para observar el comportamiento de éste tipo de agregados con estos cementos. Esta recomendación se realiza a partir que en éste proyecto se observan diferencias con relación del contenido de cemento. Al igual se recomienda emplear en éste tipo de mezcla aditivos reductores de agua, con la finalidad de aumentar la plasticidad de éste tipo de mezclas, disminuir la porosidad y aumentar la resistencia a la compresión, parámetro el cual es el más afectado por emplear éste tipo de agregados.

4.2. Agradecimientos

Los autores del trabajo expresan su agradecimiento con la Universidad Militar Nueva Granada, por el apoyo y financiación de esta investigación, bajo el proyecto INV-DIS-2323 titulado "Estudio del efecto de la corrosión del acero de refuerzo en elementos estructurales construidos en concreto bajo los criterios de la norma sismo resistente Colombiana 10 título C".

Referencias bibliográficas

ACI 201-2R American Concrete Institute. (2001). Guía para la Durabilidad del Hormigón. American Concrete Institute.

ADAMSON, M., RAZMJOO, A., & POURSAEE, A. (2015). Durability of concrete incorporating crushed brick as coarse aggregate. . *Construction and Building Materials*, 8.

AHMAD, S., & ROY, S. (2011). Effect of Crushed Clay Brick as Coarse Aggregate on Creep Behavior of Concrete. In *Advanced Materials Research*, 12.

ALIABDO, A. A.-E. (2014). Utilization of crushed clay brick in concrete industry. *Alexandria Engineering Journal*, 17.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. AIS. (2010). Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). (2010). Norma Sismo Resistente Colombiana. Bogotá: Asociación Colombiana Sismo Resistente.

ASTM C 39 American Society Testing and Materials. (1996). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindric Concrete Specimens. Philadelphia: ASTM International.

ASTM C 42 American Society Testing and Materials. (2004). Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete. Philadelphia: ASTM International.

BEHERA, M., BHATTACHARYYA, S. K., MINOCHA, A. K., DEOLIYA, R., & MAITI, S. (2014). Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete—A breakthrough towards sustainability in construction sector. *Construction and building materials*, 68.

CABRAL, A. E., SCHALCH, V., DAL MOLIN, D. C., & RIBEIRO, J. L. (2010). Mechanical properties modeling of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 19.

CRUZ, C., Jhoanna, K., BARRETO, V., & LENNER, E. (2014). Aplicación de concreto reciclado en la producción de adoquines de concreto para pavimentos de tránsito vehicular ligero en la ciudad de Chiclayo. Santiago de Chile: Universidad seño de Sipán.

DE LARRARD, F. (2014). Concrete mixture proportioning: a scientific approach. *Concrete International* , 18- 55 .

DEBIEB, F., & KENAI, S. (2008). The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete. *Construction and building materials*,, 22.

HANSEN, T. (1992). Recycling of demolished concrete and masonry. CRC Press, , 15.

INV-E-410-13, I. N. (2013). Resistencia a la compresión de cilindros de concreto. Bogotá: INVIAS.

KALLAK, F. S. (2009). Use of crushed bricks as coarse aggregate in concrete. . *Tikrit Journal of Engineering Science (TJES)*, 16.

KISKU, N. J., Ansari, M., Panda, S. K., Nayak, S., & Dutta, S. C. (2017). A critical review and assessment for usage of recycled aggregate as sustainable construction material. *Construction and Building Materials*, 19.

MARTÍNEZ, W., Torres, A. A., Alonso, E. M., Chávez, H. L., Hernández Barrios, H., Lara, C., . . & González, F. M. (2015). Concreto Reciclado: Una revisión. *ALCONPAT*, 13.

MARTÍNEZ-LAGE, I., MARTÍNEZ-ABELLA, F., VÁZQUEZ-HERRERO, C., & PÉREZ-ORDÓÑEZ, J. L. (2012). Properties of plain concrete made with mixed recycled coarse aggregate. . *Construction and Building Materials*, , 15.

NEVILLE, A. M., & BROOKS, J. J. (1987). *Concrete Technology*. Londres.

NTC 3658 Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (1994). Ingeniería civil y arquitectura. Método para la obtención y ensayo de núcleos extraídos y vigas de concreto aserradas. Bogotá: ICONTEC.

NTC-5551, N. t. (2007). *Concretos: Durabilidad de estructuras de concreto*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

OSPINA, M., MORENO, L., & RODRIGUEZ, K. (2017). Análisis Técnico-Económico del uso del Concreto Reciclado y el Concreto Convencional en Colombia. *Desarrollo e Innovación en Ingeniería*, 18.

PACHECO-TORGAL, F., & JALALI, S. (2010). Reusing ceramic wastes in concrete . *Construction and Building Materials*, 24.

PAUL, S. C. (2017). Data on optimum recycle aggregate content in production of new structural concrete. *Data in brief*,, 15.

PEPE, M., TOLEDO Filho, R. D., KOENDERS, E. A., & MARTINELLI, E. (2014). Alternative processing procedures for recycled aggregates in structural concrete. *Construction and Building Materials*, 8.

PÉREZ Rojas, Á. V. (2012). Uso de triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto. *Ingenium Revista de la facultad de ingeniería*, 13.

SAGASTUME, A., Cabello, J., Gaviria, C., Caneghem, J., & Vandecasteele, C. (2017). Improved selection of the functional unit in the environmental impact assesment of cement. *Journal of cleaner production*, 8.

SEGURA, C., CARDONA, P., & OSPINA, M. (2017). Determinación de los procesos de corrosión del acero en las estructuras de concreto en el establecimiento penitenciario de mediana seguridad y carcelario de carcelario Ciénaga Magdalena. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

SILVA, R. V., DE BRITO, J., & DHIR, R. K. (2014). Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. *Construction and Building Materials*, 16.

SILVA, Y., ROBAYO, R., MATTEY, P., & DELVASTO, S. (2015). Obtención de concretos autocompactantes empleando residuos de demolición. . *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, , 35.

ULLOA, V. A., GARCÍA-TAENGUA, E., PELUFO, M. J., DOMINGO, A., & SERNA, P. (2013). New views on effect of recycled aggregates on concrete compressive . ACI Materials Journal, 10.

YANG, J., Du, Q., & BAO, Y. (2011). Concrete with recycled concrete aggregate and crushed clay bricks. . Construction and Building Materials, 25.

1. Ingeniero Civil, Magister en Ingeniería Civil, Estudiante de Doctorado, Docente asistente de nombramiento oficial de la Universidad Militar Nueva Granada, km 2 Vía Cajicá – Zipaquirá, Edificio Facultad de Estudios a Distancia, programa de Ingeniería Civil. luis.moreno@unimilitar.edu.co

2. Ingeniero Civil, Especialista en aseguramiento de la Calidad, Magister en Construcción, Docente asistente de nombramiento oficial de la Universidad Militar Nueva Granada km 2 Vía Cajicá – Zipaquirá, Edificio Facultad de Estudios a Distancia, programa de Ingeniería Civil. miguel.ospina@unimilitar.edu.co

3. Ingeniera Civil, Asistente de Investigación de la Universidad Militar Nueva Granada, km 2 Vía Cajicá – Zipaquirá, Edificio Facultad de Estudios a Distancia, programa de Ingeniería Civil. tmp.kelly.rodriguez@unimilitar.edu.co

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015
Vol. 40 (Nº 04) Año 2019

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a webmaster]