

15. Concretos reciclados para uso estructural en vivienda social



ANTONIO TAHUITON-MORA*

ALBERTO MUCIÑO VÉLEZ**

CÉSAR ARMANDO GUILLÉN GUILLÉN***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.300.15>

Resumen

Se plantea diseñar prefabricados de concreto reforzado con aplicación en vivienda social empleando los residuos de la construcción y demolición (RCD) como materia prima, pero existe incertidumbre en el grado de sustitución de agregados naturales por los reciclados en el diseño de mezclas que afectan la resistencia mecánica e interacción con el acero de refuerzo. Se busca una resistencia de 15 MPa, el megapascal es una unidad de presión que equivale a un millón de pascales, el pascal (Pa) es la unidad de presión del Sistema Internacional de Unidades, para muros de concreto armado con 100 % de sustitución. Se realizaron nueve diseños de mezcla adaptando el método ACI (herramienta que permite al diseño en forma simple de vigas y losas horizontales que corresponden a sistemas estructurales continuos con apoyos simples y/o muros o columnas, sometidos a cargas de gravedad), caracterizando primero los agregados y evaluando la absorción de agua, densidad y relación agua-cemento. Las probetas se ensayaron a compresión axial a los 28 días. Se obtuvo adecuada resistencia a compresión (MPa) con 50% de sustitución y con ajustes de la relación agua/cemento se

* Doctor en Arquitectura. Profesor en la UNAM, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0475-7097>; correo electrónico: antonio.tahuiton@fa.unam.mx

** Doctor en Arquitectura. Investigador del CIAUP, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6386-0249>

*** Doctor en Pensamiento Científico. Colaborador en el Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales en la UNAM, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2596-6122>

logró superar los 18 MPa con 100 % de sustitución. El ensayo a tracción arrojó adecuada adherencia entre el acero de refuerzo y concreto reciclado. Los resultados permiten caminar hacia el diseño de un prototipo de envolvente de vivienda social empleando RCD para sustituir al 100 % los agregados naturales.

Palabras clave: *muro RCD, sistema alternativo, prueba de adherencia.*

Introducción

El uso de agregados reciclados (AR) en la elaboración de concreto estructural conlleva beneficios económicos y ambientales, pero existen retos que se deben superar mediante evaluaciones cuantitativas para determinar la viabilidad en la prefabricación de sistemas constructivos con aplicación en vivienda. La literatura ha demostrado que es posible alcanzar resistencias hasta de 35 MPa con cantidades significativas de agregados reciclados (Andreu y Miren, 2014; Pedro et al., 2017a, 2017b, 2018) y considerando que la resistencia mínima es de 15 MPa para el uso estructural del concreto, resulta posible desarrollar prefabricados de concreto empleando agregado reciclado de calidad.

El reto es lograr estandarizar la calidad del agregado reciclado debido al elevado contenido de impurezas en los AR que influyen en la durabilidad y resistencia mecánica del concreto. Por ello los estudios se han centrado en probar técnicas que mejoren la condición inicial de los AR definidos de alta porosidad que afecta en términos de absorción de agua, penetración de cloruros, entre otros efectos. Algunas estrategias para emplear AR parten de utilizar agregados procedentes de la trituration de concretos de alta resistencia, llegando a comprobar que concretos con un $f'c$ de 60 MPa pueden ser materia prima para generar agregados reciclados que pueden sustituir al 100 % a los agregados naturales (AN) en mezclas y no comprometer la durabilidad (Andreu y Miren, 2014; Pedro et al., 2017). Pero obtener materia prima de $f'c$ de 60 MPa depende del proceso de recepción y clasificación previa a la transformación, lo que se descartó por ser una variable fuera del alcance de la investigación.

Otras técnicas de tratamiento en agregados reciclados emplean su inmersión en ácido acético con frotamiento o la carbonatación acelerada, lo que mejora el desempeño ante la absorción de agua, penetración de cloruros y ataques ácidos (Kazmi et al, 2020). Lo anterior no se consideró viable debido a que se generarían residuos químicos en el laboratorio.

Para realizar las probetas de concreto reciclado que participan en el proyecto, se incorporaron a los AR sin tratamiento, reconociendo que estos tienden a propiciar un concreto poroso que influye de modo negativo en el rendimiento y tiempo de vida del material (Berredjem et al., 2020; Erdem y Blankson, 2014). Pero considerando estudios previos se estimó que en el diseño de mezcla pueden encontrarse límites en el porcentaje de sustitución estableciendo el 50% en agregados gruesos y del 20% en agregados finos para obtener una excelente trabajabilidad, aunque no adecuada resistencia a la penetración de cloruros (Duan et al., 2020). Para mejorar esta circunstancia se ha comprobado que el agregado fino reciclado es el que provoca mayor pérdida en la durabilidad y resistencia mecánica (Singh et al., 2020), por lo que se optó valorar distintos porcentajes de sustitución en la elaboración de probetas empleando mezclas con diferentes agregados naturales y de este modo evaluar el desempeño mecánico en cada serie, sin dejar de lado el objetivo principal de lograr 100 % de sustitución y una resistencia mecánica mínima de 15 MPa sin realizar tratamientos en los AR.

Al proponer concretos estructurales se requiere determinar la interacción con el acero de refuerzo y se identificaron estudios que encontraron que usar agregados reciclados tiene un incremento en la susceptibilidad de corrosión del acero, pero que no es significativo (Frazao, 2019). Otros resultados mencionan que un incremento en la sustitución de AR por AN tiende a elevar la posibilidad de corrosión en el acero (Alhawati y Ashour, 2019). Por tanto, a mayor uso de agregados reciclados en el concreto aumenta el número de zonas frágiles y la generación de microfisuras, promoviendo patologías en el concreto que afectan al acero, por lo que se recomienda solo sustituir un 33 % de los AR por AN.

Otros autores sugieren usar barras de basalto porque son menos susceptibles a la corrosión pudiendo utilizar un mayor porcentaje de sustitución de AR en la mezcla (Wang et al., 2021), pero no se consideró el uso de barras

de basalto en el presente estudio. Esto porque es importante reducir costos y continuar con el 100 % de sustitución de AR por AN.

La elevada porosidad de los agregados reciclados, en contraste con los agregados naturales, es la causa de bajas resistencias mecánicas y menor durabilidad en concretos reciclados al compararlo con los concretos convencionales (Pepe et al., 2014; Thomas et al., 2013). Por esta razón es que al incrementar el uso de AR en las mezclas se acaba afectando la durabilidad y resistencia del concreto, por lo que su tratamiento es la respuesta para mejorar su desempeño. Pero en esta primera etapa del estudio no se consideró realizar tratamientos para determinar si existe alguna variación en el rendimiento por la interacción de los AR con distintos tipos de AN. Los AR que se utilizaron en el estudio provienen de una trituradora que emplea concretos de diversas calidades. No obstante, la literatura establece que es posible emplear concretos hidráulicos con diferentes orígenes, (Mas et al., 2012) y obtener resistencias mecánicas adecuadas (Padmini et al 2009; Tabsh y Abdelfatah, 2009).

En cuanto a la influencia en el diseño de mezclas de los AR se debe considerar la afectación que tiene en la relación agua/cemento (A/C) ya que acabará conformando fracciones débiles en el esqueleto de la matriz del cemento (Folino y Xargay, 2014; Gesoglu et al., 2015; Xiao et al., 2013). Y ya que no existe un consenso global para desarrollar diseños de mezcla con agregados reciclados se emplea el método del American Concrete Institute (ACI), y se retoman las recomendaciones de humedecer los AR previo a su incorporación en la mezcla. El fin es obtener un diseño de mezcla que emplea agregados reciclados para elaborar sistemas estructurales de concreto para la construcción de vivienda en la zona metropolitana y la generación de un proceso replicable.

Materiales y método

En este documento se propone realizar diseños de mezcla para obtener resistencias de 15 MPa y evaluar la adherencia del concreto reciclado con el acero de refuerzo. El método empleado en el diseño de mezclas es del ACI considerando las propiedades físicas de los agregados (ver tabla 1). Se uti-

lizaron dos tipos de agregados naturales denominados de río y triturados calizos para servir como parámetros de comparación e interactuar con los agregados reciclados en sustituciones del 100 % y parciales del 50 % en combinación entre agregados RCD y naturales. Las mezclas se probaron a los 7, 14 y 28 días mediante un equipo de ensayos universales para determinar el comportamiento a la compresión axial y evolución del incremento de la resistencia. Las mejores mezclas sirvieron para elaborar probetas para ser probadas a tensión y determinar su grado de adherencia junto con probetas de concretos testigos.

Tabla 1. *Atributos físicos de los agregados participantes*

<i>Atributos físicos</i>	<i>Unidad</i>	<i>Tipo de agregado</i>					
		<i>Arena triturada</i>	<i>Grava triturada</i>	<i>Arena de río</i>	<i>Grava de río</i>	<i>Arena RCD</i>	<i>Grava RCD</i>
Peso unitario suelto	Kg/m ³	1541	1352	1380	1406	1213	1000
Peso unitario compactado	Kg/m ³	1665	1468	1515	1537	1317	1109
Peso específico	Kg/m ³	2589	2732	2346	2672	2049	2337
Módulo de finura		2.93	N/A	3.58	N/A	2.97	N/A
Tamaño máximo nominal	pulgadas	N/A	¾	N/A	¾	N/A	1
Absorción de agua	%	3.24	0.04	3.54	1.00	15.52	9.71
Humedad	%	0.05	0.003	0.58	0.005	4.4	3.144

Fuente: elaboración propia.

Como primera etapa, se define la relación agua/cemento a partir de las propiedades de los reciclados empleando las dosificaciones de Neville (2013). Primero se usó una A/C de 0.80 y se evaluaron nueve diseños de mezcla, después se seleccionó la A/C de 0.6, para reducir el porcentaje de agua en la mezcla y buscar los 15 MPa.

Como segunda etapa se definen los diseños de mezcla M1 caliza triturada total, M2, agregado de río total y M3 100 % RCD. En las mezclas de la M4 a la M9 se realizó sustitución del 50 % de arena o grava para relacionar la interoperabilidad de los agregados. Los agregados fueron humedecidos cinco minutos antes considerando el porcentaje de absorción de cada agregado. Los pesos empleados para cada mezcla se observan en la tabla 2. Las mezclas se emplearon para las pruebas a compresión y tensión.

Tabla 2. Dosificación de materiales por ACI

Material	M1 agregados triturados calizos		M2 Agregados de Río		M3 RCD	
	Kg/m³	Kg	Kg/m³	Kg	Kg/m³	Kg
Cemento	372	11.38	372	11.38	372	11.38
Arena	732	22.40	690	21.11	674	20.62
Grava	1023	31.30	971	29.71	768	23.50
Agua	205	6.27	205	6.27	205	6.27

Fuente: elaboración propia

En una tercera etapa se construyeron las probetas con las distintas dosificaciones y probetas testigos para comparar resultados. Las probetas se someten a ensayos a compresión y tensión y se utiliza acero de refuerzo convencional para valorar la adherencia de las probetas.

Para las pruebas de compresión simple, se colaron probetas cubicas de 100 mm conforme la norma NMX-C-083-ONNCCE-2014, las pruebas de compresión se ejecutaron a los 7, 14 y 28 días respectivamente, evaluando 5 piezas por cada día de prueba siendo un total de 15 piezas por cada diseño de mezcla.

Para determinar la adherencia entre las diferentes mezclas de concreto y el acero de refuerzo, se fabricaron probetas utilizando una varilla corrugada grado 42 de 1/2” de 750 mm de longitud, la cual en uno de sus extremos se colocó una probeta cilíndrica de concreto RCD y testigos de 100 mm de altura por 101 mm de diámetro. Las varillas se colocaron al centro de la probeta cilíndrica, para que no existiera variación en el recubrimiento, y se nivelaron para garantizar la verticalidad del acero de refuerzo. Las pruebas mecánicas se realizaron a los 7, 14 y 28 días al igual que las pruebas de compresión. En las pruebas de adherencia, se fabricaron 5 probetas por cada día de prueba, dando un total de 15 probetas por cada diseño de mezcla.

Después de evaluar los primeros nueve diseños de mezcla, fue necesario hacer un ajuste en la cantidad de agua, contemplando los porcentajes de absorción de los agregados pétreos, lo anterior resultó en una mayor cantidad de agua, como se reporta en la tabla 3. Se optó por trabajar con agregados previamente hidratados.

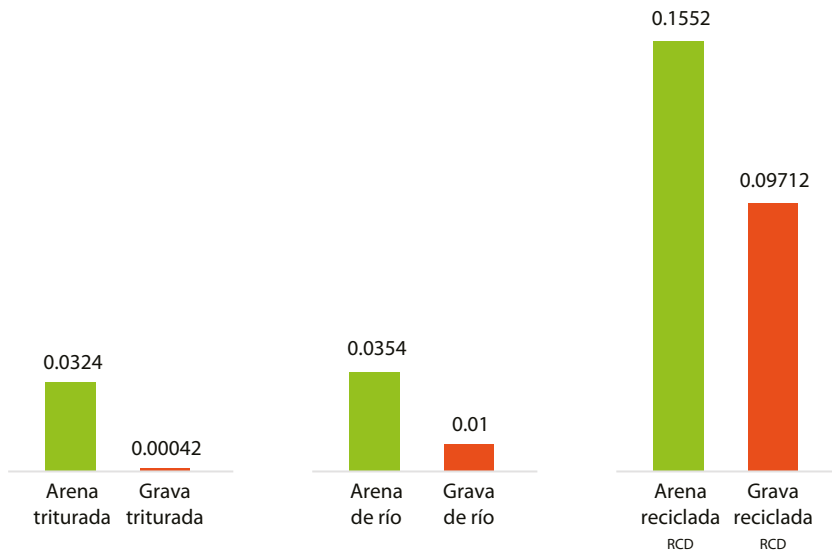
Resultados

Tabla 3. Dosificación de mezclas por ACI con ajuste de humedad

Material	Mezcla M-1	Mezcla M-2	Mezcla M-3
Cemento (kg)	372	372	372
Arena(kg)	732	690	674
Grava (kg)	1023	971	768
Agua (kg)	205	205	205
Ajuste de agua por absorción de los agregados (kg)	+1	+2	+10

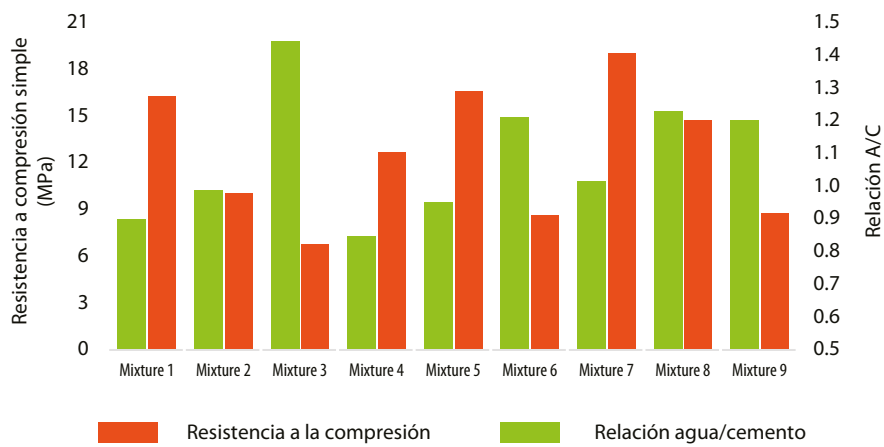
Fuente: elaboración propia.

Gráfica 1. Porcentaje de absorción de agua de los agregados analizados



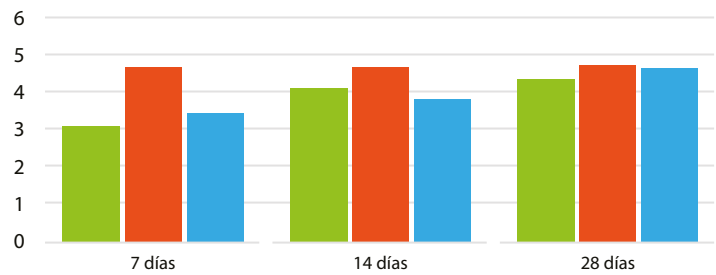
Fuente: elaboración propia.

Gráfica 2. *Correlación de la relación A/C con la resistencia a compresión 28 días*

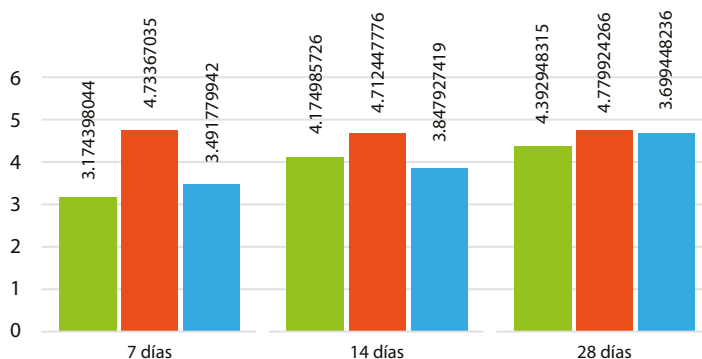


Fuente: elaboración propia.

Gráfico 3. *Resultados de F´c a compresión a 7, 14 y 28 días*



Fuente: elaboración propia.

Gráfica 4. *Análisis comparativo de resistencia para valorar adherencia*

Fuente: elaboración propia.

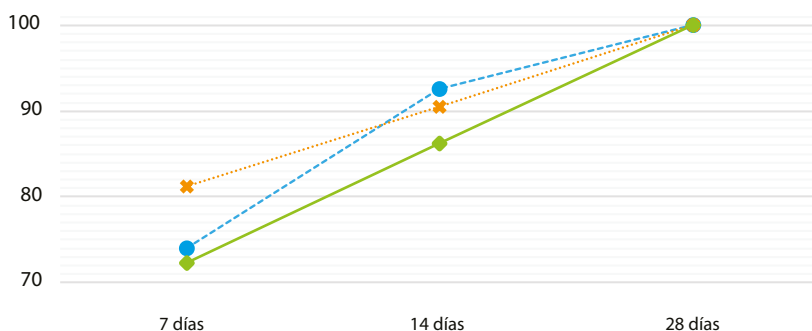
Discusión

La relación original A/C de 0.80 no se mantuvo para ningún diseño de mezcla, se realizó el ajuste para poder compensar el agua absorbida por los agregados, la cual es significativa en los AR (ver gráfica 1). La mezcla con mayor consumo de agua es la M3 que representa la sustitución al 100 % de AN por AR. En las mezclas de control M1, M2, M4 y M5 hubo menor consumo de agua y alcanzaron la resistencia de 15 MPa, porque son las que se emplearon AN. Y las mezclas M3, M6 M7 M8 y M9 incrementaron la relación de agua/cemento. La M8 fue la mezcla con sustitución del 50% de agregados gruesos reciclados en combinación con arena de río, que alcanzó y superó la resistencia esperada (15 MPa), aunque mantuvo el incremento de la relación agua/cemento. Las Mezclas M7 y M9 lograron alcanzar la resistencia esperada. La M3 y M6 no lograron obtener los 15 MPa (ver gráfico 2), por lo que se realizaron ajustes en la relación agua/cemento y se compenso en los AR la absorción de humedad.

Al comparar la resistencia mecánica que tuvieron las diferentes mezclas de concreto a los 28 días se puede apreciar que la mezcla M1 (triturados calizos) y M3 (RCD) obtuvieron resultados similares y la M2 (río) presentó

las resistencias más elevadas (ver gráfica 3). Aunque todas las mezclas tienen un comportamiento incremental a los 28 días (ver gráfica 5). En las mezclas con AN es posible utilizar agregados secos, y en la sustitución del 50 % de gravas recicladas empleando arena de río. Pero para usar AR en concretos se debe adicionar el agua necesaria conforme al ajuste por humedad y revisando que todas las mezclas tengan la misma trabajabilidad conforme a la prueba de revenimiento. Las mezclas presentaron un revenimiento de 20 cm $\pm$ 1 cm, indicando que nos encontramos dentro de los parámetros establecidos por la norma.

Gráfica 5. *Ganancia de resistencia en el tiempo*



Fuente: elaboración propia.

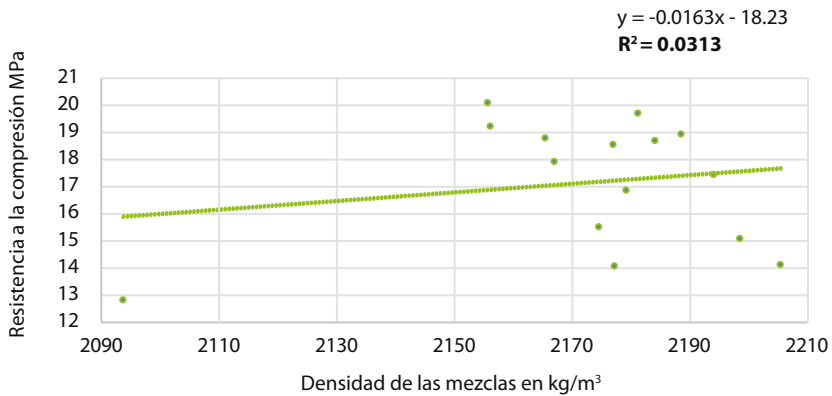
Los resultados arrojan que la mezcla M3 donde se realiza una sustitución total de agregados naturales por gravas y arenas RCD alcanzó una resistencia mecánica a la compresión simple superior a los 15 MPa. Al analizar la ganancia de la resistencia de estas mezclas se identifica que la mezcla con RCD presenta los valores más bajos respecto a las otras dos mezclas, pero sigue estando por encima de los valores establecidos por la literatura.

En la gráfica 4 se presentan los resultados de la prueba de adherencia donde se aprecia que la M3 (100 % RCD) mantienen una ganancia de resistencia y que a los 28 días supera a la M2 (triturados de caliza) y se aproxima a la M2 (río). Definiendo con los resultados obtenidos que un agregado

reciclado con sustitución del 100 % de gravas y arenas mantiene un desempeño similar a concretos testigos.

En la gráfica 6 se correlaciona los resultados de compresión con los de densidad de las mezclas M1 (triturado de caliza), M2 (de río) y M3 (RCD) y las mezclas M1 y M2 presentan una tendencia positiva, que se describe que a mayor densidad mayor resistencia y la M3 tiende a disminuir su resistencia cuando aumenta la densidad.

Gráfica 6. Correlación resistencia a compresión y densidad



Fuente: elaboración propia

Conclusión

El presente estudio evaluó la posibilidad de sustituir el 100 % de agregados finos y gruesos en una mezcla de concreto y alcanzar una resistencia de 15 MPa mediante el método del ACI. Las características de los agregados RCD en comparación con los agregados de caliza triturada y los provenientes de río, tuvieron menor peso específico tanto en finos como en gruesos, el módulo de finura de los RCD presenta similitud con los agregados finos de caliza triturada, pero son inferiores a las arenas de río. El porcentaje de absorción de los agregados RCD es superior a los naturales evaluados.

Al realizar nueve diferentes combinaciones empleando tres diferentes tipos de agregados, calizas trituradas, río y RCD, y combinando los RCD se pudo constatar que los agregados gruesos RCD operan de manera adecuada con los agregados finos de río (mezcla M8). Las mezclas M1, M2, M4 y M5 fueron con agregados naturales y las M3, M6, M7, M8 y M9 emplearon agregados reciclados. La M3 FUE la única con sustitución total de gravas y arenas para solo usar agregados reciclados, resistió más de 15 MPa con el ajuste de la relación A/C, permitiendo cumplir con el objetivo del estudio. La mezcla M3 se utilizó en pruebas de tracción para determinar la adherencia con el acero de refuerzo, al no encontrar en la literatura consultada un parámetro, se optó por comparar su desempeño con las mezclas M1 y M2 lo cual arrojó resultados satisfactorios al determinar que no existe un cambio significativo en la adherencia del acero por el uso de AR.

La densidad de los AR es menor a la de los AN y al ser incorporadas en las mezclas estas resultan en diseños menos densos. Por tanto, la menor densidad genera mayor porosidad y aumenta la capacidad de absorción de agua que presentan los agregados reciclados y se refleja en el incremento de la relación agua/cemento. Pero la cantidad de absorción se modifica cuando los agregados reciclados interactúan con los agregados naturales teniendo las combinaciones M6 (arena reciclada con grava caliza triturada), M7 (arena caliza triturada con grava reciclada), M8 (arena de río con grava reciclada) y M9 (arena reciclada con grava de río). La mejor interacción de AR con AN para una resistencia de 15 MPa y un revenimiento de 10 cm es en la M8 (arena de río con grava reciclada), pero existe poca trabajabilidad, siendo necesario realizar el ajuste por absorción de humedad del agregado y conseguir un revenimiento de 20 cm.

En esta primera etapa no se realizó la adición de aditivos o adiciones de fibras y tampoco se mejoró la condición inicial de los AR. El fin es comprobar que se puede lograr resistencias arriba de 15 MPa usando solamente agregados reciclados, lo que fue posible al diseñar mezclas con 100 % de sustitución de AN por AR con resistencias que superaron los 15 MPa, lo que permite cumplir con el objetivo del presente estudio.

Las probetas se ensayaron a 7, 14 y 28 días y se mantuvieron a temperatura ambiente sin ningún proceso de curado de los especímenes. Los ajustes por la absorción de agua al emplear agregados reciclados son necesarios

porque no es posible conseguir una mezcla trabajable con la relación A/C inicial. Las resistencias obtenidas con el 100 % de uso de agregados reciclados permite avanzar hacia la evaluación de la interoperabilidad de los agregados reciclados con procesos que mejoren su situación inicial y permita diseñar sistemas estructurales.

Se concluye que el empleo de los agregados reciclados de matriz cerámica resulta desconocido, por tanto, se requiere de caracterización y poder definir la relación agua/cemento según lo que determina el método ACI. Es necesario realizar mejoras físicas a los reciclados no solo para reducir la cantidad de cemento en la mezcla, también para evitar la aparición de fisuras a edades tempranas por exceso de agua en la mezcla debido a la alta porosidad de los agregados reciclados. Y aunque se determinó que es posible incluir mezclas con un 100 % de sustitución y conseguir resistencias de 15 MPa y más, se debe reconocer que siempre será necesario realizar la evaluación de los agregados reciclados y proponer estrategias para mejorar sus atributos originales y, de este modo, hacer posible su aplicación en mezclas de concreto para diseñar prototipos tecnológicos en envoltentes de vivienda.

Agradecimientos

Al proyecto ciencia de frontera CONAHCYT con número de registro CF-2023-I-208.

Referencias

- Alhawati, M. y Ashour, A. (2019). Bond strength between corroded steel reinforcement and recycled aggregate concrete. *Structures*, 16, 369-385. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2019.02.001>
- Amorós, D.J., Centurión, V.M. y Hoyos, S.M. (2017). Uso de material reciclado en la fabricación de concreto. *Caxamarca*, 16(2). Pág. 37-43 <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3098>
- Berredjem, L., Arabi, N. y Molez, L. (2020). Mechanical and durability properties of concrete based on recycled coarse and fine aggregates produced from demolished concrete. *Construction and Building Materials*, 246, 118421. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118421>

- Duan, Z., Singh, A., Xiao, J. y Hou, S. (2020). Combined use of recycled powder and recycled coarse aggregate derived from construction and demolition waste in self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 254, 119323. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119323>
- Erdem, S. y Blankson, M. (2014). Environmental performance and mechanical analysis of concrete containing recycled asphalt pavement (RAP) and waste precast concrete as aggregate. *Journal of hazardous materials*, 264, 403-10. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.11.040>
- Folino, P. y Xargay, H. (2014). Recycled aggregate concrete–Mechanical behavior under uniaxial and triaxial compression. *Construction and Building Materials*, 56, 21-31. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.073>
- Frazão, C., Díaz, B., Barros, J., Bogas, A. y Toptan, F. (2019). An experimental study on the corrosion susceptibility of Recycled Steel Fiber Reinforced Concrete. *Cement and Concrete Composites*, 96, 138-153. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2018.11.011>
- Gesoglu, M., Güneyisi, E., Öz, H. Ö., Taha, I. y Yasemin, M. T. (2015). Failure characteristics of self-compacting concretes made with recycled aggregates. *Construction and Building Materials*, 98, 334-344. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.036>
- Gonzalez, A. y Etxeberria, M. (2014). Experimental analysis of properties of high performance recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 52, 227-235. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2013.11.054>
- Kazmi, S., Munir, M., Wu, Y., Patnaikuni, I., Zhou, Y. y Xing, F. (2020). Effect of recycled aggregate treatment techniques on the durability of concrete: A comparative evaluation. *Construction and Building Materials*, 264, 120284. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120284>
- Mas, B., Cladera, A., del Olmo, T. y Pitarch, F. (2012). Influence of the amount of mixed recycled aggregates on the properties of concrete for non-structural use. *Construction and Building Materials* 27, 612-622 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.06.073>
- Metha, K. y P. Monteiro. (1998). *Concreto: estructuras, propiedades y materiales*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Neville, A., (2013). *Tecnología del concreto*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Padmini, A., Ramamurthy, K. y Mathews M. (2009). Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 23(2), 829-836. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.03.006>
- Pedro, D., de Brito, J. y Evangelista, L. (2017a). Mechanical characterization of high-performance concrete prepared with recycled aggregates and silica fume from pre-cast industry. *Journal of Cleaner Production*, 164, 939-949. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.06.249>
- Pedro, D., de Brito, J. y Evangelista, L. (2017b). Structural concrete with simultaneous incorporation of fine and coarse recycled concrete aggregates: Mechanical, durability and long-term properties. *Construction and Building Materials*, 154, 294-309. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.07.215>

- Pedro, D., de Brito, J. y Evangelista, L. (2018). Durability performance of high-performance concrete made with recycled aggregates, fly ash and densified silica fume. *Cement and Concrete Composites*, 93, 63-74. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2018.07.002>
- Pepe, M., Toledo Filho, R. D., Koenders, E. A. y Martinelli, E. (2014). Alternative processing procedures for recycled aggregates in structural concrete. *Construction and Building Materials*, 69, 124-132. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.084>
- Singh, A., Duan, Z., Xiao, J. y Liu, Q. (2020). Incorporating recycled aggregates in self-compacting concrete: a review. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, 9(3), 165 - 189. <https://doi.org/10.1080/21650373.2019.1706205>
- Thomas, C., Setién, J. y Polanco, J. (2016). Structural recycled aggregate concrete made with precast wastes. *Construction and Building Materials*, 114, 536-546. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2016.03.203>
- Wang, W., Wang, Y., Li, D., Liu, Y. y Li, Z. (2021). Bond-slip behavior between basalt fiber reinforced plastic bars and recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 302, 124360. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.124360>
- Xiao, J., Li, W., Sun, Z., Lange, D. A. y Shah, S. P. (2013). Properties of interfacial transition zones in recycled aggregate concrete tested by nanoindentation. *Cement and Concrete Composites*, 37, 276-292. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.01.006>