

# **INFLUENCIA DEL ORIGEN DEL AGREGADO FINO RECICLADO SOBRE LAS PROPIEDADES DE MORTEROS**

M.E. Sosa<sup>1</sup>, C.J. Zega<sup>1,2</sup>, A.A. Di Maio<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica (LEMIT)  
Calle 52 e/ 121 y 122 (1900) La Plata. Buenos Aires. Argentina. e-mail: hormigones@lemit.gov.ar

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina.

**Palabras clave:** agregado fino reciclado, arena de trituración, morteros reciclados.

## **RESUMEN**

El reciclaje de residuos es una de las temáticas más abordadas en la actualidad, debido a una creciente concientización sobre el cuidado del ambiente. En particular, se han llevado a cabo diversas investigaciones a fin de reutilizar los residuos de hormigón como reemplazo de los agregados naturales en la elaboración de nuevos hormigones, concluyendo en general que, dicha utilización es factible, proveyendo una alternativa satisfactoria, económica y más armónica con el medio ambiente frente a la utilización de materias primas no renovables. En este trabajo se estudian algunas características en estado fresco y endurecido de morteros elaborados con distintos porcentajes de agregado fino reciclado (AFR) proveniente de la trituración de hormigones de diversos orígenes, los cuales son comparados con morteros de similares características elaborados con arena de trituración granítica. De los resultados obtenidos surge que los morteros con AFR poseen mayor consistencia y absorción y menor densidad que los elaborados con arena natural de trituración, evidenciándose una merma de resistencia ante la falta de control durante la generación del AFR, especialmente para morteros con bajos niveles resistentes.

## **INTRODUCCIÓN**

La utilización de agregados reciclados (AR) provenientes de la trituración de hormigones que culminaron su vida en servicio, en la elaboración de nuevos hormigones, se presenta como una alternativa sustentable y económica frente a la utilización de agregados naturales. Diversos autores (1-2) concluyen que es factible la utilización de AR en distintos porcentajes sin detrimento de las características resistentes y durables respecto a las de hormigones convencionales de similares características. Este hecho ha conducido a que en países desarrollados, la utilización del agregado reciclado sea una práctica habitual contemplada en normativas y reglamentos. Sin embargo, la mayoría de ellos sólo permite la utilización de la fracción gruesa del AR, prohibiendo el uso de la fracción fina por considerar que su empleo trae aparejado una disminución en la trabajabilidad, aumento de la porosidad, contracción y creep del hormigón con ellos elaborado (3). En los trabajos que abordan la temática puede encontrarse, independientemente de la procedencia del AFR, que los mismos presentan frente al agregado fino natural (AFN), características distintivas

tales como que pueden estar compuestos de agregado natural y mortero en proporciones variables, presentan textura superficial más rugosa, menor densidad, mayor absorción y pérdida por ataque con sulfatos, debido al mortero adherido que poseen sus partículas (4).

A pesar de ello, y debido, quizás, a que en la generación del agregado grueso reciclado se produce entre 20 y 50% de agregado fino (5), son numerosos los estudios llevados a cabo sobre dicha fracción durante la última década, a fin de establecer la posibilidad de ser utilizado como agregado en el hormigón. Los resultados encontrados son contradictorios, no existiendo, en la actualidad, un consenso general sobre la influencia de estos agregados en las características mecánicas y durables de morteros y hormigones. Al respecto, algunos autores indican que la utilización del AFR en hasta un 30% no produce modificaciones en la resistencia a compresión (6-10); en contraposición, otros autores (11-12) encontraron que la resistencia a compresión y el comportamiento durable de hormigones elaborados con AFR disminuye significativamente en comparación con hormigones convencionales, aún en los porcentajes antes mencionados. Para otros autores, la utilización de aditivos y un buen diseño de las mezclas parecen ser suficientes para contrarrestar el efecto adverso de la mayor absorción de los AFR (13).

A partir de lo indicado, y con el fin de incrementar el conocimiento respecto a las posibilidades de uso del AFR, el objetivo de este trabajo consiste en evaluar la influencia que puede tener el origen del AFR sobre el estado fresco y endurecido de morteros elaborados empleando 20 y 40% de los mismos.

## **EXPERIENCIAS**

Para este estudio se seleccionaron una arena silícea natural, una arena de trituración granítica (G) y tres agregados finos reciclados (AFR) de distinta procedencia, con los cuales se conformaron ocho agregados finos constituidos por combinación de arena silícea con cada una de las arenas de trituración (AT), empleándolas en porcentajes 80-20 y 60-40 respectivamente. Se evaluaron distintas propiedades de los agregados finos mencionados y se elaboraron morteros de dos relaciones agua/cemento ( $a/c$ : 0,40 y 0,60), determinándose la fluidez en estado fresco mediante la mesa de caída libre, luego del mezclado y a los 20 minutos de poner en contacto el cemento con el agua, mientras que en estado endurecido se evaluó la densidad, absorción de agua y resistencia a compresión, esta última a edades de 7 y 28 días. Los resultados se comparan con los obtenidos en morteros elaborados con los mismos porcentajes de arena de trituración granítica (morteros patrones).

## **Materiales y mezclas**

Los agregados finos reciclados (AFR) fueron obtenidos a partir de la trituración y posterior tamizado (por la malla 4,75 mm) de hormigones de tres procedencias distintas, las cuales se indican a continuación:

L: hormigones de laboratorio de nivel resistente aproximado de 35 MPa.

P: hormigones de pavimentos, donde la trituración no tuvo control.

M: hormigones sobrantes de mixer, depositados en planta.

Como se indicó anteriormente, con cada uno de los AFR indicados se elaboraron combinaciones de arena silícea de río (AN) y dos porcentajes de agregado fino reciclado, determinándose la granulometría (IRAM 1505), densidad y absorción de agua (IRAM 1520) y material que pasa el tamiz IRAM 75  $\mu$ m (IRAM 1540). Dichas propiedades fueron comparadas con las obtenidas en combinaciones de agregados constituidas por arena silícea y arena de trituración granítica (G) en los mismos porcentajes que para los AFR. La

nomenclatura utilizada para definir cada combinación de agregado se compone de una letra, que indica el origen del agregado, y un número que indica el porcentaje en que el mismo ha sido utilizado. Previo a los ensayos de caracterización, se realizó la observación visual y mediante lupa binocular de los agregados de trituración en estudio (Figura 1), pudiéndose observar que los agregados M y L presentan mayor angulosidad que los agregados P y G. La textura superficial de los AFR es más rugosa que la del G, siendo más notorio en el caso del agregado P.

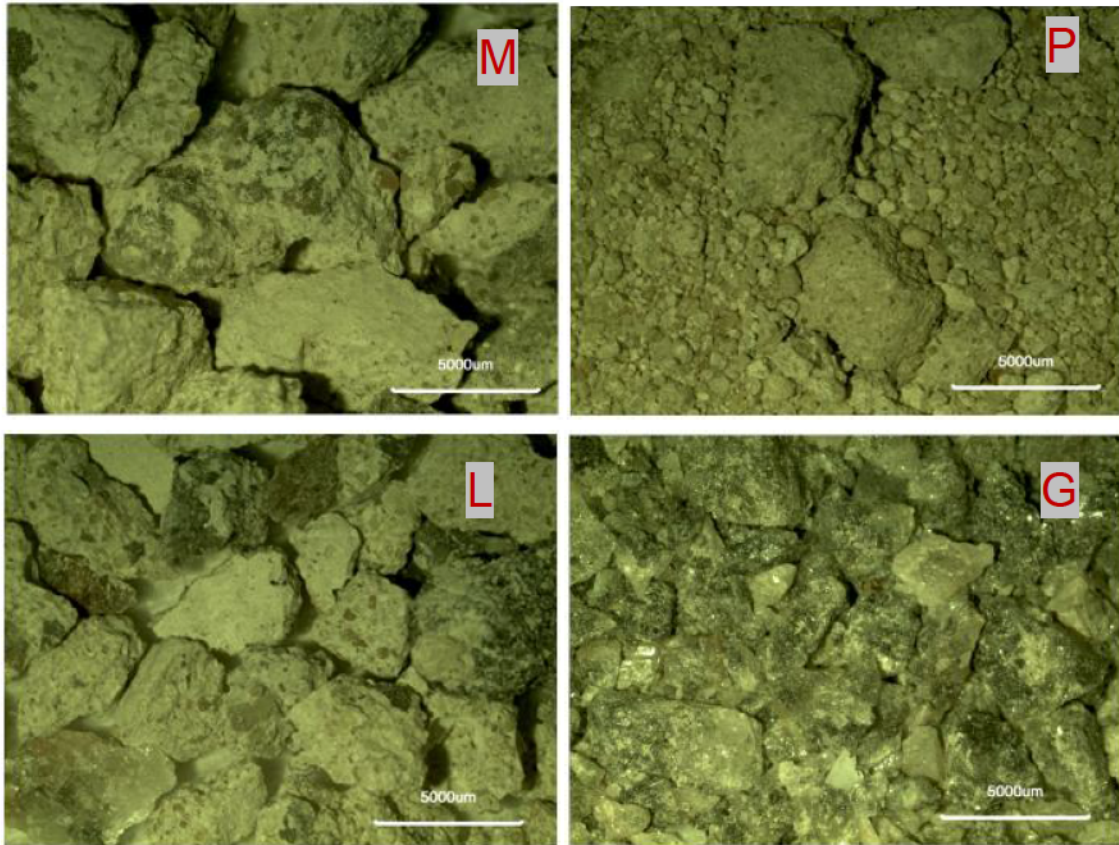


Figura 1: Observación de los distintos agregados de trituración.

Los resultados de las diferentes propiedades evaluadas a cada una de las combinaciones de agregados en estudio se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Propiedades de los agregados.

Agregado	Modulo de Finura	Densidad relativa	Absorción (%)	Pasa tamiz 75 µm (%)
AN	1.05	2.68	0.45	0.50
M-20	1.66	2.61	1.52	1.17
M-40	2.31	2.52	3.77	1.60
P-20	1.49	2.60	1.75	1.75
P-40	1.90	2.47	3.91	1.47
L-20	1.81	2.61	1.68	1.66
L-40	2.22	2.58	1.95	2.19
G-20	1.68	2.67	0.20	0.55
G-40	2.20	2.69	0.25	0.77

Puede observarse que el módulo de finura se incrementa conforme aumenta el contenido de AT, independientemente de la procedencia de éste. La absorción y material

que pasa el tamiz IRAM 75  $\mu\text{m}$  se incrementan con el porcentaje de AFR utilizado, respecto de las elaboradas con el agregado G, mientras que la densidad disminuye en igual sentido, independientemente de la procedencia del AFR. Este hecho se explica a partir del mortero adherido presente en dichos agregados, el cual posee menor densidad y mayor porosidad que el agregado natural.

En la Figura 2 se presentan las granulometrías correspondientes a las combinaciones realizadas, conjuntamente con las curvas límites establecidas en el Reglamento CIRSOC 201/05. Puede observarse que los agregados L y M resultan similares entre sí y algo más gruesos que los G, mientras que las combinaciones con el agregado P son levemente más finas. También puede observarse que al incrementarse el porcentaje de AFR, la granulometría se torna más gruesa, sin llegar a estar comprendida en su totalidad entre las curvas A y B del reglamento, debido fundamentalmente a la finura que presenta la arena de río utilizada (ver Tabla 1).

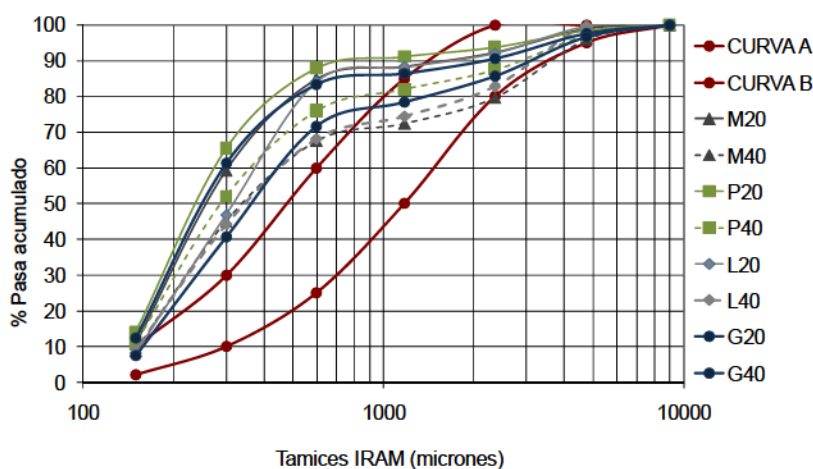


Figura 2: Curvas granulométricas.

Con las combinaciones de agregados anteriormente evaluadas se elaboraron morteros de dos relaciones agua/cemento ( $a/c$ : 0,40 y 0,60), para lo cual se empleó un cemento portland compuesto (CPC-40). A fin de cumplir el objetivo planteado, se mantuvieron constantes las proporciones de los distintos materiales utilizados. Debido a la absorción significativamente más alta del AFR, para mantener constante la relación  $a/c$  efectiva, se pre humidieron todas las AT con el 50 % del agua de absorción, debido a que este es, aproximadamente, el porcentaje de agua que absorbe el agregado en 10 minutos (14), tiempo a partir del cual, la disminución en la fluidez debida a la absorción de agua del agregado resulta muy pequeña (15). Las proporciones de los morteros se presentan en la Tabla 2.

El procedimiento de mezclado se adecua al indicado en la norma IRAM 1632. Con cada mortero se elaboraron 6 prismas de  $4 \times 4 \times 16$  cm y 3 cilindros de  $10 \times 10$  cm, las cuales fueron desmoldadas a las 24h y sumergidas en agua con cal hasta la edad de ensayo (7 y 28 días). La nomenclatura utilizada para los morteros sigue siendo la misma utilizada en los agregados junto con la correspondiente a la relación  $a/c$ . A modo de ejemplo, L4-40 se corresponde con un mortero de relación  $a/c$  0,40 elaborado con 40% de AFR proveniente de la trituración de hormigones de laboratorio (L).

Tabla 2: Proporciones de los morteros.

Mortero	Materiales (kg/m <sup>3</sup> )								
	Agua	Cemento	Arena Natural	AT				A1	A2
				M	P	L	G		
M4-20	263	663	1111	240	-	-	-	3,3	2,0
M4-40	263	663	834	480	-	-	-	3,3	2,0
P4-20	263	663	1111	-	248	-	-	3,3	2,0
P4-40	263	663	834	-	497	-	-	3,3	2,0
L4-20	263	663	1111	-	-	243	-	3,3	2,0
L4-40	263	663	834	-	-	490	-	3,3	2,0
G4-20	263	663	1111	-	-	-	289	3,3	2,0
G4-40	263	663	834	-	-	-	578	3,3	2,0
M6-20	263	437	1258	280	-	-	-	3,3	2,0
M6-40	263	437	949	548	-	-	-	3,3	2,0
P6-20	263	437	1248	-	290	-	-	3,3	2,0
P6-40	263	437	949	-	567	-	-	3,3	2,0
L6-20	263	437	1258	-	-	286	-	3,3	2,0
L6-40	263	437	949	-	-	560	-	3,3	2,0
G6-20	263	437	1258	-	-	-	337	3,3	2,0
G6-40	263	437	949	-	-	-	660	3,3	2,0

A1: Aditivo plastificante  
A2: Aditivo superplastificante

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

En la Figura 3.a) se presenta la fluidez de los morteros con AFR, relativas a las de los morteros patrones, obtenida luego del mezclado, mientras que en la Figura 3.b) se presenta la fluidez medida a los 20 minutos de puesto en contacto el agua con el cemento, relativa a la determinada luego del mezclado, a fin de evaluar posibles modificaciones en la consistencia de los morteros debido a la absorción de los agregados reciclados.

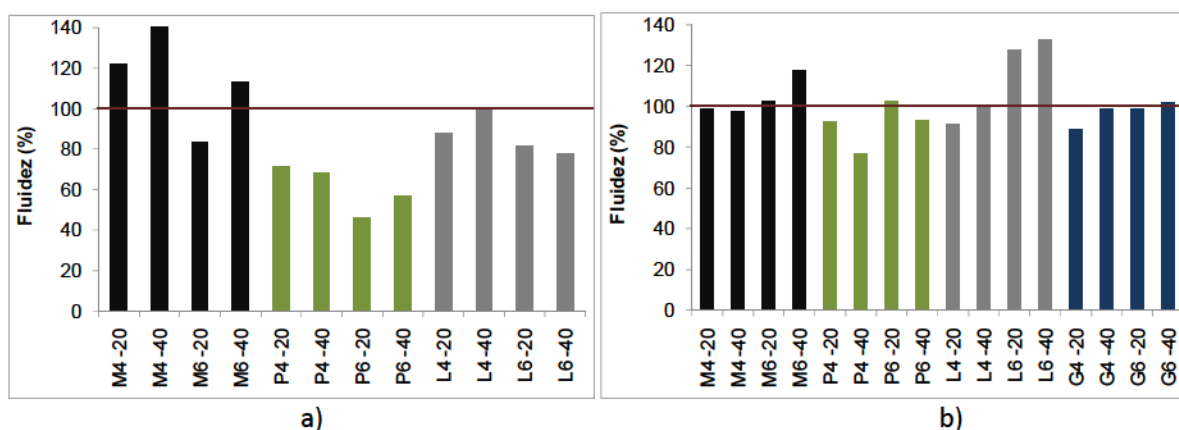


Figura 3: a) Fluidez inicial; b) Fluidez a 20 minutos.

En la Figura 3.a) puede observarse que con excepción de los morteros M4, la fluidez disminuye al utilizar AFR, lo cual se explica a través de la textura más rugosa que poseen

estos agregados (ver figura 1), respecto del G. También se observa que no existe una tendencia clara respecto al porcentaje en que el AFR es utilizado, lo cual puede deberse al mayor modulo de finura resultante para las mezclas con 40% de reciclado respecto a las de 20%, lo cual favorece la fluidez.

Respecto a la fluidez evaluada a los 20 minutos, se observa que para todos los casos es del mismo orden e incluso algo superior que la obtenida al evaluarla inmediatamente de finalizado el mezclado, lo que indica que no existe absorción de agua por parte de los agregados debido al pre humedecimiento de los mismos.

En la Figura 4 se presenta la densidad (a) y absorción de agua (b), donde cada valor corresponde al promedio de al menos 3 determinaciones. Se puede observar que la densidad disminuye al emplear mayor contenido de AFR, debido al mortero adherido. Este hecho se verifica para los tres AFR en estudio y las 2 relaciones a/c evaluadas. Por otro lado, cabe mencionar que la disminución de la densidad en comparación con su correspondiente mortero patrón es, a excepción de los P6-40, menor al 10% en todos los casos. En cuanto a la absorción de agua (Figura 4.b) tienen un comportamiento inverso al anteriormente mencionado, incrementándose conforme aumenta el contenido de AFR utilizado, hecho que al igual que en el caso de la densidad, se debe atribuir al mortero adherido que posee el AFR, el cual presenta una mayor porosidad que el agregado natural. Tanto en la densidad como en la absorción, se observa una influencia mayor de la relación a/c frente al porcentaje de incorporación de AFR.

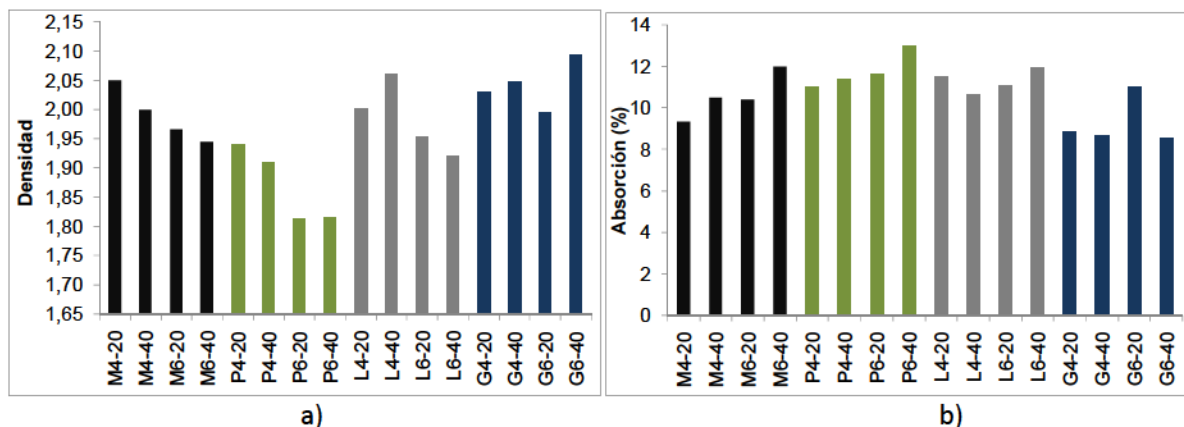


Figura 4: a) Densidad; b) Absorción.

La resistencia a compresión evaluada a las edades de 7 y 28 días se presenta en la Figura 5.a) y b), donde cada valor informado es el promedio de 6 determinaciones. En el caso de la resistencia a 7 días, para los morteros con relación a/c 0,40, se puede observar que los elaborados con los agregados M y L presentan similares niveles resistentes que los correspondientes morteros con el agregado G, mientras que los elaborados con el agregado P presentan resistencias de hasta un 18% inferiores. Similar comportamiento se observa en el caso de los morteros de relación a/c 0,60, con disminuciones del orden del 40% para los elaborados con el agregado P, con relación a los que contienen el agregado de trituración granítico. Se observa además que no hay una influencia clara respecto del porcentaje en el que se utilizó el AFR, siendo la resistencia a compresión del mismo orden independientemente del porcentaje de reemplazo utilizado.

En el caso de la resistencia a 28 días (Figura 5.b), puede observarse que los morteros con AFR de relación a/c 0,40 presentan resistencias del mismo orden que los elaborados con el agregado G, siendo 3 y 12% menores en el caso de los morteros elaborados con 20 y 40% del agregado P, respectivamente. En el caso de los morteros con AFR y relación a/c

0,60, se observa una menor resistencia de los mismos en comparación con los elaborados con el agregado G. Dichas disminuciones son del 20, 50 y 30% para los que contienen 20% de AFR y del 25, 50 y 35% para los elaborados con 40% de los agregados M, P y L, respectivamente en cada caso.

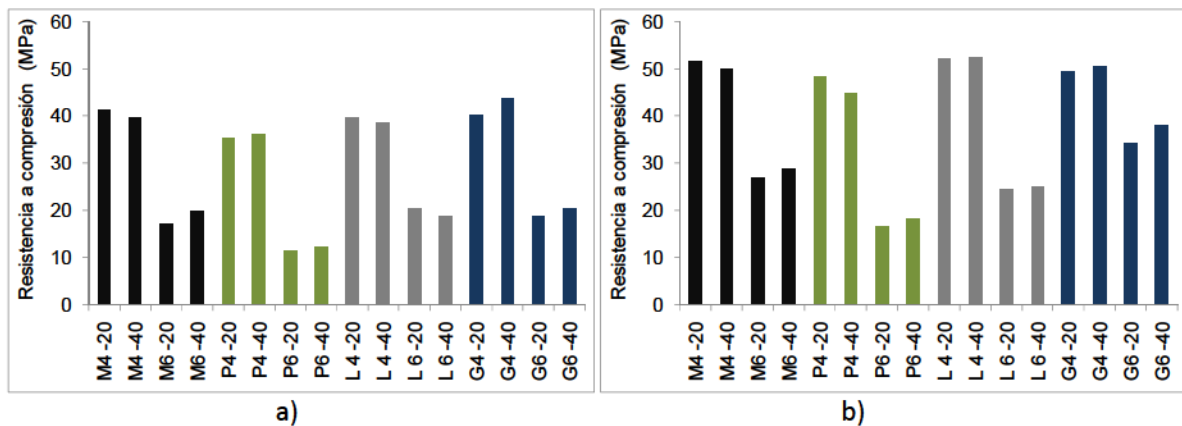


Figura 5. Resistencia a compresión: a) 7 días; b) 28 días.

Del análisis de la Figura 5, surge que la relación agua/cemento tiene una mayor influencia por sobre el uso de AFR, independientemente del porcentaje en que éste sea utilizado. Además, la menor resistencia de los morteros que contienen el agregado reciclado P, frente a los otros AFR utilizados, puede asociarse con la metodología utilizada en el proceso del reciclaje, puesto que no se tuvo un control riguroso respecto al procedimiento de recuperación de dichos hormigones.

## CONCLUSIONES

A partir de las distintas propiedades evaluadas a los agregados finos compuestos por diferentes porcentajes de arena silícea y agregado fino reciclado, proveniente de la trituración de hormigones de distinta procedencias, y a los morteros con ellos elaborados, surge que:

- Las combinaciones con AFR, independientemente de su procedencia, presentan menor densidad y mayor absorción, módulo de finura y pasa tamiz  $75\mu\text{m}$  en comparación con las combinaciones elaboradas con los mismos porcentajes de arena de trituración granítica (G), acentuándose dichas diferencias cuanto mayor es el porcentaje de AFR utilizado.
- La fluidez de los morteros con AFR disminuye en comparación con la de los morteros elaborados con G, hecho atribuido a las diferencias en la forma y textura de los AFR respecto del agregado G. Esta disminución en la fluidez, al comparar los dos porcentajes de reemplazo, es de menor magnitud al utilizar 40% de AFR, debido a un mayor módulo de finura de la curva resultante.
- La densidad de los morteros disminuye, mientras que la absorción aumenta al utilizar AFR, incrementándose las diferencias al aumentar el contenido de AFR, hechos relacionados con la mayor porosidad del mortero adherido al agregado reciclado.
- La resistencia a compresión de los morteros con AFR, en el caso de los agregados M y L, es del mismo orden que la obtenida en los morteros con G, independientemente del porcentaje utilizado, mientras que se observó una disminución sustancial en el

caso del agregado P, lo cual es atribuido a una menor calidad de éste debido al proceso de reciclaje utilizado.

- Al analizar los diferentes tipos de AFR utilizados en este trabajo, se observó un comportamiento similar en cuanto a sus características físicas, mientras que al utilizarlos en morteros, las propiedades de estos últimos presentaron diferencias apreciables al considerar el origen del AFR, por lo cual resulta evidente que cuando se prevea utilizar AFR, se torna necesario la realización de estudios previos en morteros, ya que la mera determinación de sus propiedades no refleja el comportamiento de las mezclas con ellos elaborados.

## REFERENCIAS

- (1) Hansen T.C., Narud H. "Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregates". *Concrete International - Design and Construction*, 5 (1), (1983), pp. 79-83.
- (2) Zega C.J. "Propiedades físico-mecánicas y durables de hormigones reciclados". Tesis doctoral. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, (2010), 158p.
- (3) Hansen T.C. "Recycled aggregate and recycled aggregate concrete. Second state-of-the-art. Report developments". *Materials and Structures*, 19 (3), (1986), pp. 1845-1985.
- (4) Zega C.J., Sosa M.E., Di Maio A.A. "Propiedades de los agregados finos reciclados procedentes de hormigones elaborados con distintos tipos de agregados gruesos naturales", *Memorias 18º Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón*, (2010), pp. 33-38.
- (5) Martins I., Müller A., Di Maio A., Forth J., Kropp J., Angulo S., John V. "Use of Fine Fraction". *Progress of Recycling in the Built Environment. RILEM State of the Art-Report*. (2013), pp. 195-227.
- (6) Zega C.J., Di Maio A.A. "Comportamiento de hormigones elaborados con agregado fino reciclado". *Memorias 16º Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón*, (2006), pp. 47-54.
- (7) Dhir R.K., Limbachiya M.C., Leelawat T. "Suitability of recycled concrete aggregate for use in BS 5328 Designated mixes". *Proceedings of the ICE - Structures and Buildings*, 134 (3), (1999), pp. 257-274.
- (8) Evangelista L.R., de Brito J. "Criteria for the use of fine recycled concrete aggregates in concrete production". *Proceedings of the International RILEM Conference on the Use of Recycled Materials in Building Structures*, (2004). Barcelona.
- (9) Sosa M.E., Zega C.J., Di Maio A.A., Peralta J.P. "Evaluación de morteros con agregado fino reciclado en reemplazo de arena natural de trituración". *Memorias 19º Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón*, (2012), pp. 415-422.
- (10) Zega C.J., Di Maio A.A. "Use of recycled fine aggregate in concretes with durable requirements", *Waste Management*, 31, (2011), pp. 2336-2340.
- (11) Masood A., Ahmad T., Arif M., Mahdi F. "Waste management strategies for concrete", *Environmental Engineering and Policy*, 3, (2002), pp. 15-18.
- (12) de Brito J., Pereira A.S., Correia J.R. "Mechanical behaviour of non-structural concrete made with recycled ceramic aggregates". *Cement and Concrete Composites*, 27 (4), (2005), pp. 429-433.
- (13) Pereira P., Evangelista L., de Brito J. "The effect of superplasticizers on the workability and compressive strength of concrete made with fine recycled aggregates". *Construction and Building Materials*, 28, (2012), pp. 722-729.
- (14) Leite M.B. "Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição". Tesis Doctoral. Escuela de Ingeniería. Universidad Federal de Rio Grande Do Sul, (2001), Brasil.
- (15) Neville A.M. "Tecnología del Concreto". Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C (1975), México.
- (16) Cabrera O.A., Traversa L.P., Ortega N.F. "Fluidez de Morteros Cementíceos con Arenas Machacadas". *Materiales de Construcción*, 60 (30), (2010), pp. 115-130.