

AGREGADOS FINOS RECICLADOS DE DIVERSOS ORIGENES Y SU UTILIZACIÓN EN MORTEROS

María Eva Sosa¹, Claudio Javier Zega^{1,2}, Gabriela Coelho Dos Santos¹, Ángel Antonio Di Maio^{1,2}

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

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

Palabras clave: agregados, reciclado, pavimento, absorción, morteros

RESUMEN

El empleo de agregados reciclados (AR) provenientes de la trituración de hormigones que culminaron su vida en servicio, para la elaboración de nuevos hormigones, se ha establecido como una temática fuertemente abordada en las últimas décadas, debido a la escasez de arenas de río aptas para tal fin. En tal sentido, en muchos países existen reglamentaciones que permiten su utilización, aunque en general sólo se refieren a la fracción gruesa de dicho residuo, por considerar que la fracción fina puede ocasionar mermas en la resistencia y durabilidad del hormigón con ellos elaborado. Sin embargo, dado que en la generación del AR se obtiene hasta un 50% de agregado fino reciclado (AFR), y debido a que su disposición final resulta de mayor dificultad, son numerosos los estudios que en la actualidad están abordando esta temática.

En este trabajo se analizan las características y propiedades de AFR provenientes de la trituración de hormigones de diferentes orígenes. Además, se evalúan propiedades en estado fresco y endurecido de morteros elaborados con 20 y 40% de AFR, comparativamente con las determinadas en morteros conteniendo arena de trituración granítica en idénticos porcentajes. De los resultados obtenidos surge que los AFR presentan menor densidad y durabilidad frente al ataque por sulfatos y mayor absorción y material que pasa el tamiz IRAM 75 µm que el agregado de trituración granítico. A pesar de ello, las propiedades de los morteros elaborados con AFR resultan similares a las de los morteros con agregado granítico.

INTRODUCCIÓN

La utilización de arenas de río aptas para la elaboración de hormigones estructurales es una problemática recurrente en muchos países, debido a su elevada finura y al agotamiento de los yacimientos existentes. Frente a ello, el empleo de arenas de trituración se ha constituido en una práctica casi ineludible en la industria del hormigón elaborado.

Por otra parte, el empleo de agregados reciclados (AR) provenientes de la trituración de hormigones que culminaron su vida en servicio, como alternativa frente a los agregados naturales, se ha establecido como una de las temáticas más abordadas en la última década. Debido a ello en diversos países se han elaborado recomendaciones, normativas y reglamentos que permiten su utilización. No obstante, la mayoría de ellos se refiere sólo a la fracción gruesa, descartando en un principio el uso de la fracción fina por considerar que la misma puede ocasionar mermas en las propiedades mecánicas y en la durabilidad del hormigón con ellos elaborado (Hansen, 1986).

Debido a que la disposición final del AFR es más compleja que la de la fracción gruesa, y considerando además que en la trituración del hormigón se produce hasta un 50% de dicha fracción, son diversos los estudios que en la actualidad abordan esta temática. En los mismos se

puede encontrar que los AFR poseen características similares a las de una arena de trituración en cuanto a forma y textura de sus partículas, presentando como característica distintiva frente al agregado natural, que en su composición puede encontrarse agregado natural y mortero en proporciones variables. El mortero adherido es el responsable de la menor densidad y mayor absorción que presentan en comparación con una arena de trituración natural (Zega et al., 2010). Pese al consenso general respecto de las propiedades del AFR, las conclusiones obtenidas al evaluar morteros y/o hormigones con distintos contenidos de los mismos son contradictorias, encontrándose por ejemplo que para algunos autores (Zega y Di Maio, 2006; Dhir et al., 1999; Evangelista y de Brito, 2004; Sosa et al., 2012; Zega y Di Maio, 2011) la utilización del AFR en hasta un 30% no produce modificaciones en la resistencia a compresión, mientras que otros concluyen que la resistencia a compresión y el comportamiento durable de hormigones elaborados con AFR disminuye significativamente en comparación con hormigones convencionales, aún en porcentajes menores al 30% (Masood et al., 2002; de Brito et al., 2005). Las diferencias encontradas podrían deberse a la calidad del AFR utilizado en cada estudio. El objetivo del presente trabajo es incrementar los conocimientos alcanzados respecto a las propiedades de los AFR y de las mezclas con ellos elaboradas, particularmente cuando dichos agregados provienen de hormigones de desecho de distintos orígenes. Se consideran tres AFR de diferente procedencia empleándolos en 20 y 40% en la elaboración de morteros.

EXPERIENCIAS

Para este trabajo se utilizaron cuatro arenas de trituración, tres de ellas recicladas (AFR) y una natural de origen granítico (G), junto con una arena silíceo natural de río (AN). Las arenas de trituración fueron utilizadas en porcentajes de 20 y 40%, siendo el complemento arena silíceo. Se evaluaron distintas propiedades de los agregados finos mencionados y se elaboraron morteros de relación agua/cemento (a/c) 0,50, determinándose en estado fresco la fluidez, mediante la mesa de caída libre, en tanto 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 (abertura de malla de 4,75 mm) de hormigones de tres procedencias distintas, las cuales se indican a continuación. Mientras que el agregado granítico fue adquirido en cantera:

- 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.
- G: Agregado de trituración de piedra granítica.

Previo a los ensayos de caracterización, se realizó la observación visual y mediante lupa binocular (Olympus SZ61 con aumento de hasta X50) de los agregados de trituración en estudio, indicándose en las fotos de la derecha la escala utilizada para todas las tomas (Figura 1).

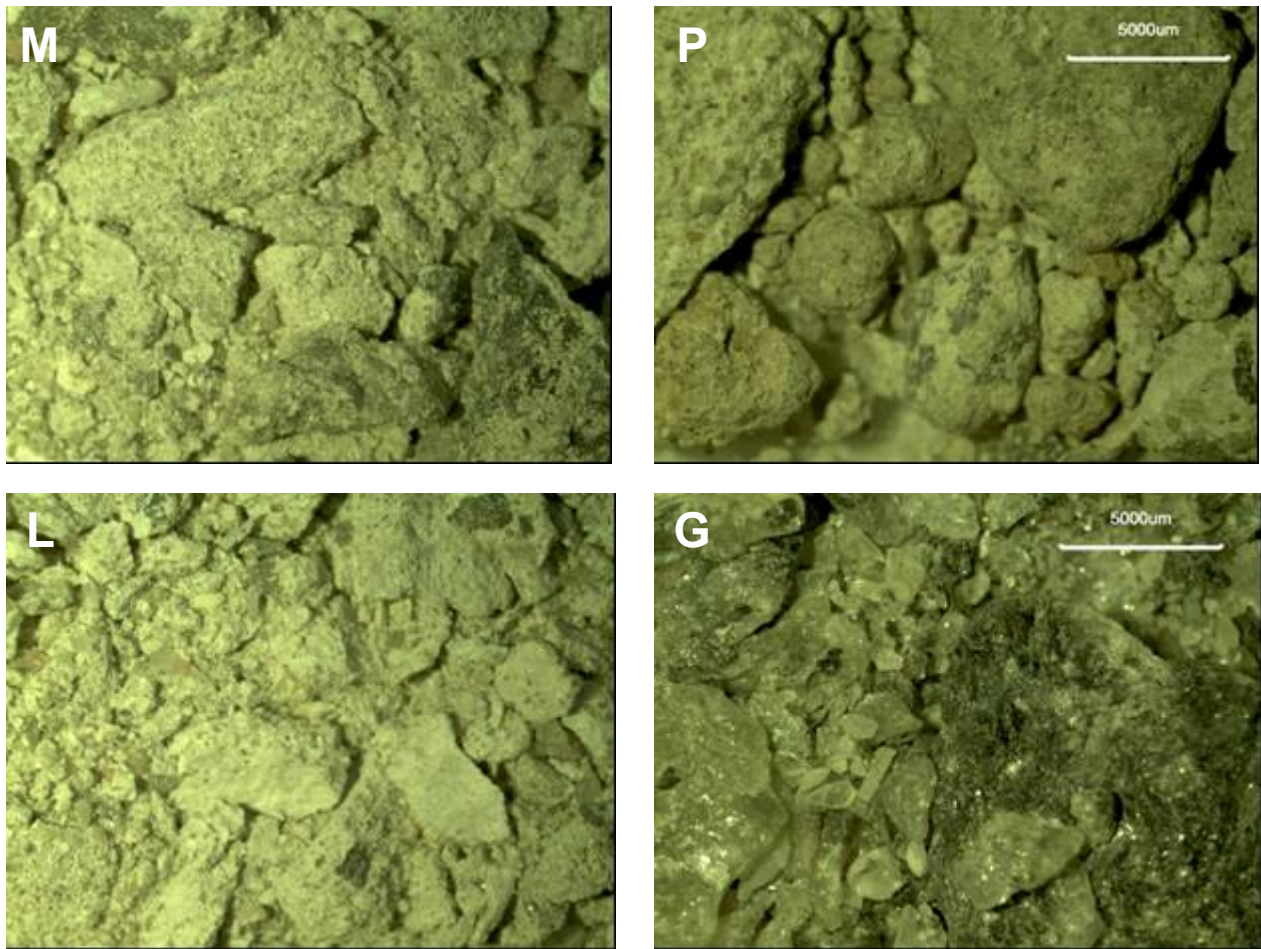


Figura 1: Observación de los distintos agregados de trituración.

Del análisis cualitativo realizado mediante inspección visual y lupa binocular se indican a continuación las características más relevantes observadas.

M: Las partículas constituyentes son subangulosas y angulosas, libres de polvo superficial. La mayoría de ellas, aproximadamente un 80%, están representadas por fragmentos de mortero formado por arena natural silíceas y pasta de cemento en buen estado. En menor proporción se encuentran fragmentos constituidos por trozos de agregado granítico de trituración, sólo o con mortero adherido, angulosos, con buen estado de preservación.

L: Al igual que en el agregado M, las partículas son subangulosas y angulosas. Se observa de escasa a moderada presencia de partículas de polvo libre o partículas muy finas. Las partículas conformadas sólo por mortero (~ 60%) presentan algo de polvo adherido a su superficie. Dicho mortero está constituido por arena natural silíceas y pasta de cemento con abundantes poros de pequeño tamaño. Las que están conformadas por trozos de agregado granítico y mortero son más abundantes que en la muestra anterior.

P: Las partículas son subredondeadas y de aspecto terroso. Se observa una abundante cantidad de partículas de tamaño inferior a 1 mm. Las partículas formadas sólo por mortero constituyen la mayor parte del agregado, presentando sus bordes redondeados. Se aprecia una pasta de mala calidad.

G: Las partículas son angulosas y las más pequeñas conservan un hábito cristalino bien desarrollado. Está constituido por cuarzo, feldespato y minerales oscuros (micas y anfíboles). Las partículas mayores son típicamente de aspecto granudo. La muestra se observa limpia, libre de alteración e impurezas.

Como se indicó anteriormente, a cada arena de trituración en estudio se le determinó granulometría (IRAM 1505), densidad y absorción de agua (IRAM 1520), material que pasa el tamiz IRAM 75 μm (IRAM 1540) y pérdida de peso por ataque con sulfato de sodio (IRAM 1525). Los resultados de las diferentes propiedades evaluadas se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Propiedades de los agregados.

Agregado	Modulo de Finura	Densidad relativa	Absorción (%)	Pasa tamiz 75 μm (%)	Pérdida por ataque con sulfatos (%)
M	3,57	2,30	10,4	1,3	11,2
P	3,06	2,38	10,0	3,8	37,9
L	3,34	2,33	8,5	4,0	14,5
G	3,60	2,77	0,6	2,8	2,1

Puede observarse que el módulo de finura del agregado G es similar al del agregado M, siendo un 17 y 7% mayor frente a los agregados P y L respectivamente. Respecto del material que pasa el tamiz IRAM 75 μm , para los agregados L y P es del orden del 40 y 35% mayor, mientras que para el agregado M es del orden de la mitad que el del agregado G. Estos hechos podrían deberse al proceso de trituración al cual fueron sometidos los distintos agregados, así como también a la diferencia en las calidades del hormigón de origen cuando se trata de AFR.

La densidad es similar para los tres AFR evaluados y del orden de un 15% menor que la del agregado G, mientras que la absorción y la pérdida por ataque con sulfatos son sustancialmente mayores en los AFR respecto del G. Estos hechos se explican a partir del mortero adherido presente en los AFR, el cual posee menor densidad y mayor porosidad que el agregado natural, por lo que al ser atacado por el sulfato se produce el desprendimiento de la pasta que forma parte del AFR. Sin embargo, esta situación no necesariamente ocurrirá cuando el agregado sea empleado en morteros u hormigones.

En la Figura 2 se presentan las granulometrías correspondientes a las combinaciones realizadas con los porcentajes anteriormente indicados de arena de trituración y arena silícea, conjuntamente con las curvas límites establecidas en el Reglamento CIRSOC 201:2005. 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 se puede observar que al incrementarse el porcentaje de AFR, la granulometría del agregado 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 (MF=1,05).

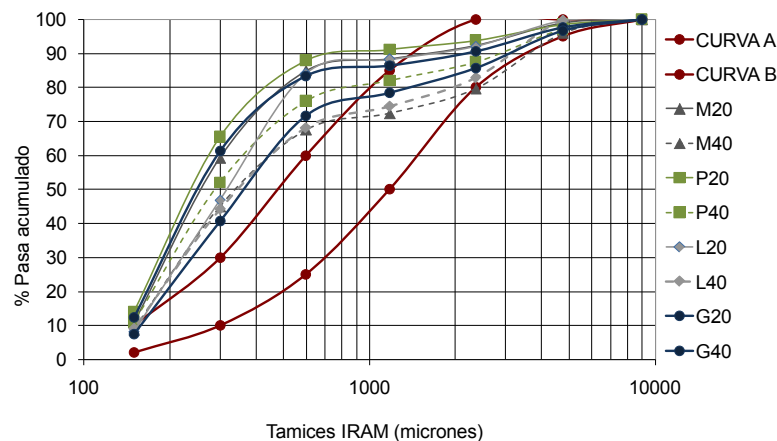


Figura 2: Curvas granulométricas

Con los agregados anteriormente evaluados, utilizándolos en porcentajes de 20 y 40% en peso, en combinación con 80 y 60% de AN respectivamente, se elaboraron morteros de relación a/c 0,50, para lo cual se empleó un cemento portland compuesto (CPC-40). Además, considerando la alta absorción de los AFR y para mantener constante la relación a/c efectiva, se pre-humedecieron todas las AT con el 50% del agua de absorción, debido a que éste es, aproximadamente, el porcentaje de agua que absorbe el agregado en 10 minutos (Leite, 2001), tiempo a partir del cual, la disminución en la fluidez debida a la absorción de agua del agregado resulta muy pequeña (Neville, 1975). Las proporciones en volumen se mantuvieron constantes para los diferentes agregados, utilizándose una relación arena-cemento de 3,30 y un contenido de agua de 263 lts/m³.

Para la elaboración de los morteros se siguieron los lineamientos de la norma IRAM 1622. Por cada mortero se moldearon 3 cilindros de 10cm de diámetro x 10cm de altura para determinación de la densidad y absorción de agua y 6 prismas de 4cm x 4cm x 16 cm para la evaluación de la resistencia a compresión a las edades de 7 y 28 días.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

En la Figura 3 se presenta la fluidez de los morteros evaluada mediante la mesa de caída libre (ASTM C 1437). Puede observarse que la fluidez de los morteros con AFR es, en todos los casos, menor a la obtenida con el agregado G. Para los morteros con 20% de AFR, dicha disminución es del 1, 7 y 6%, mientras que en los elaborados con 40% de AFR es del 22, 50 y 30%, para los agregados M, P y L respectivamente en cada caso. Estos comportamientos pueden explicarse a partir de la influencia relativa de distintos factores tales como el modulo de finura, el contenido de polvo, la porosidad del mortero adherido a las partículas de AFR y a la forma de las mismas.

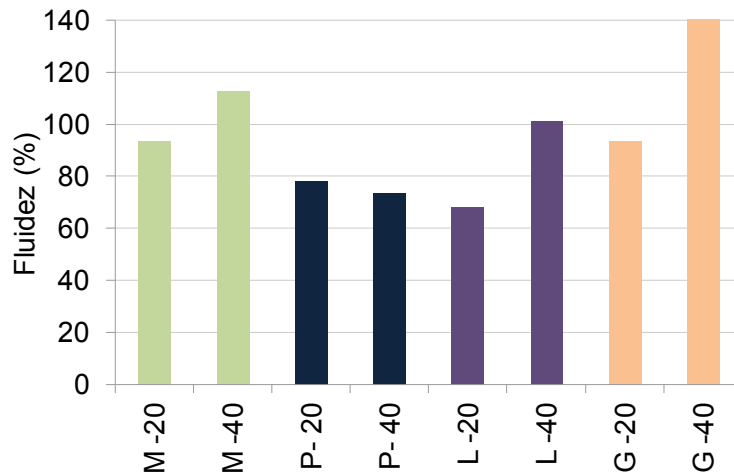


Figura 3. Fluidez inicial

En la Figura 4 se presenta la absorción de agua (a) y densidad (b), donde cada valor corresponde al promedio de 3 determinaciones. Se puede observar que, en contraposición a lo que ocurre al emplear el agregado G, en los morteros con AFR la absorción aumenta al emplear mayor contenido del mismo. En cuanto a la densidad (Figura 4.b) se evidencia un comportamiento inverso al anteriormente mencionado, disminuyendo la misma en los morteros con AFR al emplear mayor contenido del mismo. Este hecho se verifica para los tres AFR en estudio. Por otro lado, cabe mencionar que la disminución de la densidad en comparación con su correspondiente mortero patrón es, a excepción de los P-40, menor al 10%. Este hecho, al igual que en el caso de la absorción, se debe atribuir al mortero adherido que posee el AFR, el cual presenta una mayor porosidad que el agregado natural.

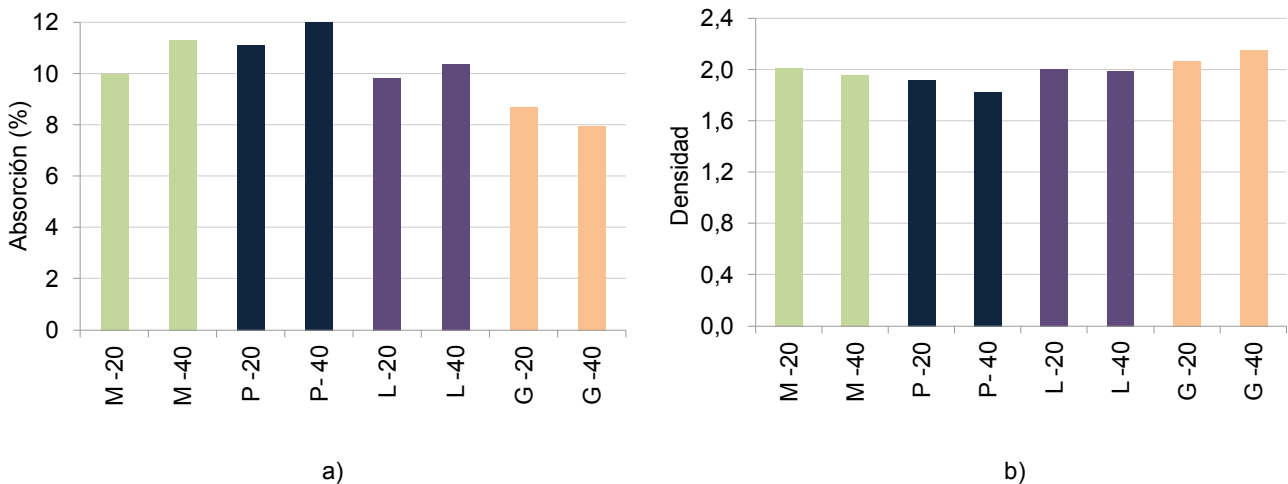


Figura 4: a) Densidad; b) Absorción.

La resistencia a compresión evaluada a las edades de 7 y 28 días se presenta en la Figura 5 (a) y (b), respectivamente, donde cada valor informado es el promedio de 6 determinaciones. En el caso de la resistencia a 7 días, se puede observar que los morteros 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 30% inferiores. Se observa además que no hay una influencia definida respecto del porcentaje en el que se utilizó el agregado de trituración, sea este natural o reciclado, siendo la resistencia a compresión del mismo orden para cada agregado.

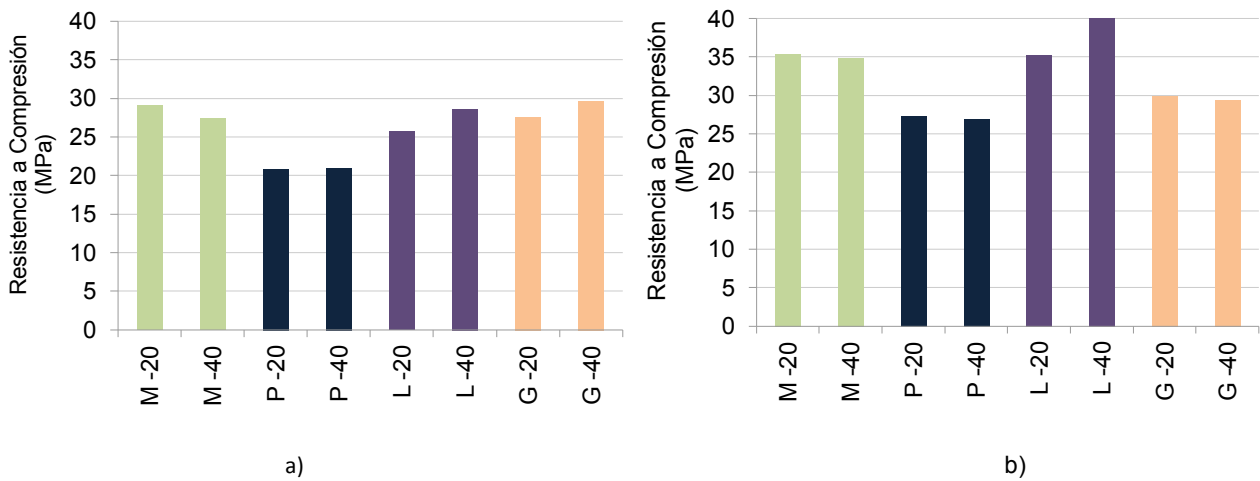


Figura 4. Resistencia a compresión: a) 7 días; b) 28 días.

En el caso de la resistencia a 28 días (Figura 5 (b)), puede observarse que los morteros con los agregados M y L-20 presentan resistencias del orden del 18% mayor, y los morteros L-40 del orden del 36% mayor, en comparación con los morteros con el agregado G. En el caso de los morteros elaborados con el agregado P, se observa una disminución del 10% respecto de su correspondiente mortero patrón. El comportamiento observado puede ser atribuido a las diferencias observadas en la calidad de la pasta de cemento en el AFR (Figura 1), siendo más notorio en el caso del agregado P. Por otra parte, en la Figura 5 se puede observar también que la evolución de la resistencia en los morteros con AFR es mayor que la obtenida en los morteros elaborados con arena de trituración granítica, lo cual podría atribuirse a un efecto de auto curado del agregado reciclado, el cual, al poseer una alta absorción y haber sido empleado pre-humedecido, podría liberar agua favoreciendo la hidratación del cemento y mejorando la interfaz agregado-pasta.

CONCLUSIONES

A partir de las distintas propiedades evaluadas a tres agregados finos reciclados (AFR) provenientes de la trituración de hormigones de distinta procedencias (M: mixer; L: laboratorio; P: pavimento), y a los morteros con ellos elaborados, empleándolos en 20 y 40%, en comparación con los elaborados con arena de trituración granítica (G), se puede indicar que:

- Los AFR, independientemente de su procedencia, presentan menor densidad y mayor absorción y pérdida de peso por ataque con sulfatos respecto al agregado G. Ello se debe atribuir a la presencia de mortero adherido en las partículas de los AFR.
- La fluidez de los morteros con AFR disminuye con relación a la de los morteros patrones elaborados con el agregado G. Este hecho es atribuido a las diferencias en la forma y textura de los AFR respecto del agregado G.
- 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 e incluso superior que la obtenida en los morteros con el agregado G, independientemente del porcentaje utilizado, mientras que se observó una disminución en el caso del agregado P. Estos hechos fueron atribuidos en el primer caso, a un efecto de auto curado por parte del AFR, mientras que la menor resistencia de los morteros con el agregado P se atribuyen a la falta de control en la trituración del hormigón de origen como así también a la mala calidad del mortero adherido.
- Al analizar los diferentes tipos de AFR utilizados en este trabajo, se observó un comportamiento similar en cuanto a sus características físicas, a excepción de la durabilidad frente al ataque por sulfatos del agregado P, mientras que al utilizarlos en morteros, las propiedades de éstos presentaron diferencias apreciables al considerar el origen del AFR, sin que se pueda establecer una relación directa entre las propiedades del agregado y su ulterior desempeño en morteros.

BIBLIOGRAFÍA CITADA EN EL TEXTO

de Brito J., Pereira A.S. y Correia J.R. 2005. Mechanical behaviour of non-structural concrete made with recycled ceramic aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 27 (4): 429-433.

ASTM C 1437:2007. Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar. American Society for Testing and Materials. USA.

CIRSOC 201:2005. Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón. Instituto ARgentino de Normalización y Certificación. Argentina

Dhir R.K., Limbachiya M.C. y Leelawat T. 1999. Suitability of recycled concrete aggregate for use in BS 5328 Designated mixes. *Proceedings of the ICE - Structures and Buildings*, 134 (3): 257-274.

Evangelista L.R. y de Brito J. 2004. 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*, Barcelona, 397-401.

Hansen T.C. 1986. Recycled aggregate and recycled aggregate concrete. Second state-of-the-art. Report developments. *Materials and Structures*, 19 (3): 1845-1985.

Leite M.B. 2001. 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, Brasil, 130 p.

Masood A., Ahmad T., Arif M. y Mahdi, F. 2002. Waste management strategies for concrete, *Environmental Engineering and Policy*, 3: 15-18.

Neville A.M. 1975. Tecnología del Concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. México. Capitulo 3, 119-207.

Norma IRAM1505:2005. Agregados. Análisis granulométrico. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Argentina.

Norma IRAM 1520:2002. Agregados finos. Método de laboratorio para la determinación de la densidad relativa real, de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Argentina.

Norma IRAM 1525:1985. Agregados. Método de ensayo de durabilidad por ataque con sulfato de sodio. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Argentina.

Norma IRAM 1540:2004. Agregados. Método de ensayo del material fino que pasa por el tamiz IRAM 75µm, por lavado. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Argentina.

Norma IRAM 1622:2002. Cemento pórtland. Determinación de resistencias mecánicas. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Argentina.

Sosa M.E., Zega C.J., Di Maio A.A. y Peralta J.P. 2012. Evaluación de morteros con agregado fino reciclado en reemplazo de arena natural de trituración. Memorias 19° Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón: 415-422.

Zega C.J. y Di Maio A.A. 2006. Comportamiento de hormigones elaborados con agregado fino reciclado. Memorias 16° Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón: 47-54.

Zega C.J., Sosa M.E. y Di Maio A.A. 2010. Propiedades de los agregados finos reciclados procedentes de hormigones elaborados con distintos tipos de agregados gruesos naturales, Memorias 18° Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón: 33-38.

Zega C.J. y Di Maio A.A. 2011. Use of recycled fine aggregate in concretes with durable requirements, Waste Management, 31: 2336-2340.