

MORTEROS ELABORADOS CON AGREGADO FINO RECICLADO CON DIFERENTES CONDICIONES DE HUMEDAD

MORTARS MADE WITH RECYCLED FINE AGGREGATE IN DIFFERENT STATE OF MOISTURE

M.E. Sosa¹, C.J. Zega^{1,2}, Á.A. Di Maio³

1.- CIC - LEMIT. ingmesosa@gmail.com

2.- Investigador Adjunto CONICET-LEMIT. hormigones@lemit.gov.ar

3.- Investigador Independiente CONICET-LEMIT

RESUMEN

La escasez de arenas naturales aptas para la elaboración de hormigones es una problemática que se presenta habitualmente en la provincia de Buenos Aires poniendo de manifiesto la necesidad de utilizar arenas de trituración. Como agravante a esta situación, en dicha provincia rige la Ley 14126 que prohíbe la apertura de nuevas canteras y establece el cese de explotación de las existentes en el partido de Tandil. Frente a estos hechos, la utilización de agregados reciclados provenientes de la trituración de hormigones que culminaron su vida en servicio se presenta como una alternativa sustentable y económica. Los agregados reciclados presentan como característica distintiva, frente a los agregados naturales, que pueden estar constituidos por agregado natural y mortero en proporciones variables. Como consecuencia de este hecho, poseen mayor absorción y menor densidad, siendo su textura superficial más porosa. En este trabajo se estudia en estado fresco fluidez, evaluada al finalizar el mezclado y a los 20 minutos de culminado el mismo y aire ocluido en estado endurecido densidad, absorción de agua y resistencia a compresión, de morteros de diferentes relaciones agua/cemento (0,40, 0,50 y 0,60) elaborados con distintos porcentajes (20 y 40% en volumen) de agregado fino reciclado (AFR) proveniente de la trituración de hormigones de desecho. El AFR fue empleado en dos condiciones de humedad. Los resultados obtenidos en los morteros con AFR son comparados con los determinados en morteros elaborados con arena de trituración granítica (AG) en idénticos porcentajes. De los resultados obtenidos surge que los morteros elaborados con AFR poseen mayor consistencia y absorción y menor densidad, presentando similares niveles resistentes, independientemente del contenido de humedad del AFR.

Palabras clave: *agregado fino reciclado, arena de trituración, absorción, resistencia.*

ABSTRACT

The scarcity of natural sands, suitable for the production of concrete, is a usual problem in the Buenos Aires province, highlighting the need for use of crushing sand. Exacerbating this situation, the provincial law 14126 prohibits the opening of new quarries and establishes the cessation of operation for those existing in the zone of Tandil. In these circumstances, the use of recycled aggregates from crushing concretes which completed their service life is presented as a sustainable economic alternative. Recycled aggregates have as a distinctive feature compared to natural aggregates, the possibility of being constituted by natural aggregate and mortar in varying proportions. As a consequence, they have higher absorption and lower density, and its surface texture is more porous. In this work fluidity is studied in fresh state, evaluated at the end of mixing and 20 minutes after mixing completion, and entrained air, and in hardened state density, water absorption and compressive strength of mortars of different water / cement ratios (0.40 0.50 and 0.60) prepared with different percentages (20 and 40% by volume) of recycled fine aggregates (RFA) from the waste concrete crushing. The RFA was applied under two different moisture conditions. The results obtained in mortars with RFA are compared with those determined in mortars made with granitic sand grinding (GSG) in identical percentages. From the results obtained it is possible to conclude that the mortars made with RFA possess more consistency and absorption and lower density, presenting similar resistant levels, independently of the moisture content of the RFA.

Keyword: *recycled fine aggregate, crushing sand, absorption, strength.*

INTRODUCCIÓN

La escasez de arenas naturales aptas para la elaboración de hormigones es una problemática que comparten varios países a nivel mundial. En este contexto es habitual incorporar arenas de trituración (AT) para complementar con los requisitos granulométricos establecidos en los reglamentos.

Por otra parte, la necesidad de un tratamiento más integral de los residuos de construcción y demolición, evitando la masificación de vertederos y contribuyendo a la disminución de materias primas, hicieron que la utilización de éstos como agregados para la elaboración de hormigones sea una realidad en países con políticas ambientales claras y eficientes.

En particular, la utilización de agregados gruesos reciclados (AGR) provenientes de la trituración de hormigones que culminaron su vida en servicio ha sido abordada desde diferentes enfoques durante las últimas décadas, concluyendo en general que es posible la utilización del AGR en distintos

porcentajes, sin detrimento de las características mecánicas y durables de los hormigones con ellos elaborados, lo cual ha posibilitado que en distintos países se dictaran normativas y/o recomendaciones para el uso de este residuo.

La utilización del AFR fue en un principio descartada, por considerar que su mayor absorción puede traer aparejado una merma en la trabajabilidad, mayor contracción y creep, y menor durabilidad del hormigón. Sin embargo, dado que durante la producción del AGR se genera de un 20 a 50% de AFR, cuyo control y disposición es más complejo, son diversos los estudios que se están llevando a cabo para evaluar su viabilidad. En ellos se puede encontrar que los AFR presentan partículas que pueden estar compuestas de mortero y agregado natural en proporciones variables, presentando forma irregular, textura superficial rugosa, menor densidad y mayor absorción de agua, pérdida por ataque con sulfatos frente a las arenas naturales de trituración.

Respecto al empleo del AFR en morteros y hormigones, en la bibliografía existente resulta contradictoria su influencia, pudiendo encontrarse que la utilización en distintos porcentajes no produce modificaciones significativas en la resistencia del hormigón y el módulo de elasticidad, ni pone en peligro las características durables del mismo. Otros autores por su parte, encontraron que la resistencia, módulo de elasticidad, contracción y distintas propiedades durables se ven comprometidas seriamente al utilizar AFR, aún en porcentajes menores al 30%.

El objetivo de este trabajo es evaluar las modificaciones que pudieran ocurrir en diferentes propiedades en el estado fresco y endurecido de morteros debido al empleo de AFR en distintas condiciones de humedad. Para ello se evalúa la fluidez a través del ensayo de extendido en estado fresco y el contenido de aire teórico, y en estado endurecido densidad, absorción y resistencia a compresión, comparándose los resultados con los obtenidos en idénticos morteros elaborados con AG.

EXPERIENCIAS

Materiales y mezclas

Se seleccionó un agregado fino reciclado (AFR) proveniente de la trituración de hormigones de desecho y una arena de trituración granítica (AG). Previa determinación de las propiedades, se procedió a la observación visual y mediante lupa binocular de los agregados de trituración (Figura 1), en donde se puede observar que ambas arenas presentan forma angular y textura superficial rugosa, siendo el AFR mucho más poroso que el agregado granítico

Se elaboraron mezclas de arena silíceo de río con 20 y 40% en peso de AFR a las cuales se le determinó granulometría (IRAM 1505), densidad y absorción de agua (IRAM 1520), material que pasa el tamiz 75 μm (IRAM 1540) y durabilidad por ataque con sulfato de sodio (IRAM 1525).

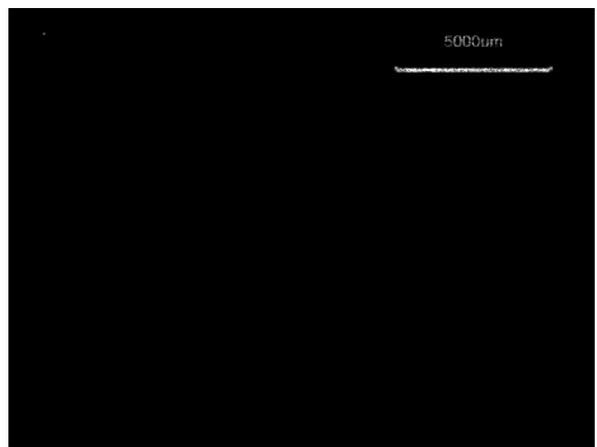


Figura 1. Imágenes tomadas mediante lupa binocular. (Arriba AG; Abajo. AFR)

Los resultados obtenidos se compararon con los determinados en mezclas elaboradas de manera análoga con 20 y 40% de la AG. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 1, y las curvas granulométricas de cada combinación junto con los límites establecidos en el CIRSOC 201-2005, en la Figura 2.

Para la elaboración de los morteros se utilizó cemento Portland compuesto y aditivos plastificante y superplastificante. Los AFR se incorporaron en dos condiciones de humedad, secos y con el 50% del agua de absorción, puesto que es aproximadamente el porcentaje que los mismos absorben a 10 min.

Tabla 1. Propiedades de los agregados.

Agregado	Módulo de finura	Pasa tamiz 75 µm (%)	Densidad relativa	Absorción (%)	Pérdida por ataque con sulfato (%)
AG 20	1,68	0,55	2,67	0,20	2,43
AG 40	2,20	0,77	2,69	0,25	2,30
AFR 20	1,81	1,66	2,61	1,68	4,87
AFR 40	2,22	2,19	2,58	1,95	7,33

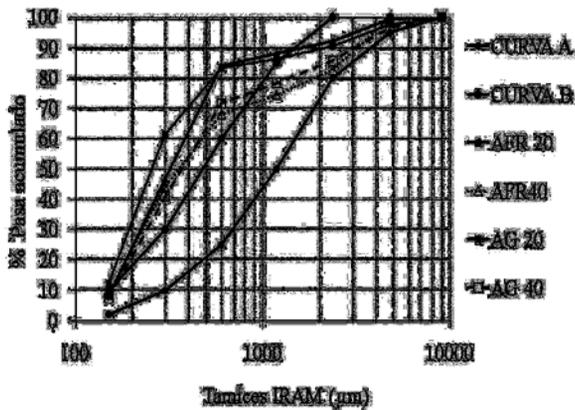


Figura 2. Granulometrías de los agregados.

En la Tabla 2 se presentan las dosificaciones de los morteros elaborados. La nomenclatura corresponde a la relación agua/cemento (a/c) utilizada (4, 5 y 6 para 0,40, 0,50 y 0,60 respectivamente) seguida de la letra G o R, según el tipo de agregado de trituración, finalizando con el porcentaje de reemplazo utilizado (20 o 40%). En las figuras, los morteros en los cuales se incorporó el agua de absorción se indican con la letra A (ej.: M4 RA40).

Se evaluó en estado fresco, la fluidez inicial, al concluir el mezclado, y a los 20 minutos de finalizado el mismo, a fin de establecer la influencia del estado de humedad de los agregados. Se moldearon probetas de 4x4x16 cm, las cuales fueron curadas en agua con cal hasta la edad de ensayo. En estado endurecido se evaluó densidad y absorción de agua, y resistencia a compresión, siendo cada valor informado, el promedio de al menos 3 determinaciones.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados de extendido se presentan en la Figura 3. Puede observarse que los morteros con AFR presentan menor extendido que los elaborados con AG, aún cuando se incorpora el agua de absorción, lo que puede atribuirse a la mayor rugosidad superficial que poseen los AFR frente a la AG utilizada. También es evidente que al incorporar el agua de absorción los morteros con AFR y AG presentan un comportamiento similar, por cuanto los que poseen 40% de AT, ya sea natural o reciclada, presentan para una

Tabla 2. Proporción de los materiales (Kg/m³).

Materiales	M4 N20	M4 N40	M5 N20	M5 N40	M6 N20	M6 N40	M4 R20	M4 R40	M5 R20	M5 R40	M6 R20	M6 R40
Agua	263	263	263	263	263	263	263	263	263	263	263	263
Cemento	663	663	528	528	437	437	663	663	528	528	437	437
Arena de río	1111	834	1203	903	1258	949	1111	834	1203	903	1258	949
AG	289	578	313	623	337	660	289	578	313	623	337	660
AFR	245	490	266	531	286	560	245	490	266	531	286	560
Plastificante	3,3	3,3	2,9	2,9	2,6	2,6	3,3	3,3	2,9	2,9	2,6	2,6
Superplastificante	2,0	2,0	1,6	1,6	1,3	1,3	2,0	2,0	1,6	1,6	1,3	1,3

misma relación a/c mayor extendido, hecho que podría atribuirse a un mayor módulo de finura de la granulometría resultante (ver Figura 1). En los morteros con AFR en los que no se incorporó el agua de absorción, en las tres relaciones a/c evaluadas los morteros con 20% presentan un extendido mayor en comparación a los que tienen 40% de AFR, hecho que puede atribuirse a la mayor absorción del agregado.

agregado AG, presentan para el 40% de reemplazo un contenido de aire significativamente menor que al utilizar 20% de arena de trituración, mientras que al incorporar el agua de absorción este comportamiento no es tan evidente. Este hecho podría deberse al menor contenido de partículas entre los tamices IRAM N°30 y 100, las cuales son las responsables de la inclusión de aire. [Bascoy, 1992].

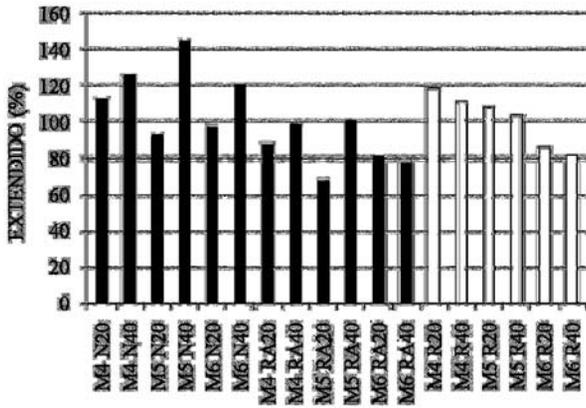


Figura 3. Extendido.

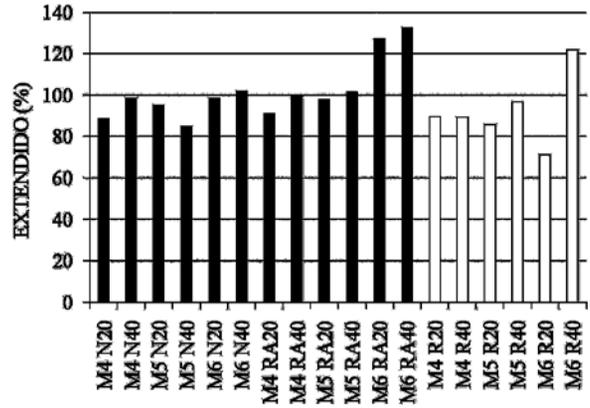


Figura 4. Extendido a 20 minutos del mezclado.

En la Figura 4 se presenta el extendido de los morteros a los 20 minutos de finalizado el mezclado, respecto del medido inicialmente. Se observa que los morteros con AFR en los que no se le incorporó el agua de absorción presentan una pérdida significativa de la fluidez, con excepción de los morteros M6R40. Este comportamiento puede atribuirse a la elevada absorción que presentan los AFR, que se manifiesta en absorción del agua de la pasta disminuyendo su fluidez. En los morteros elaborados con AG y AFR en los que se incorporó el agua de absorción, la fluidez resultó del mismo orden que la inicial, incluso para la relación a/c 0,60 la misma se incrementa en un 25%.

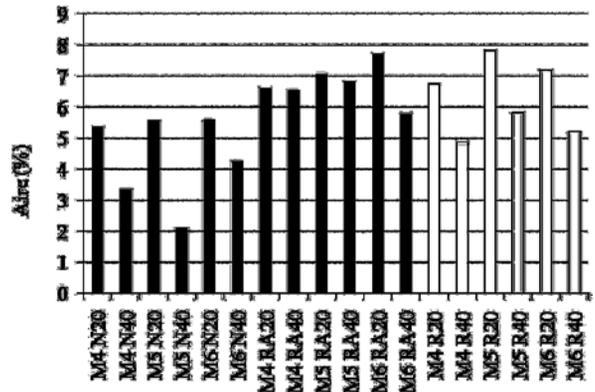


Figura 5. Aire ocluido.

El contenido de aire evaluado en forma teórica se presenta en la Figura 5. De ella surge que los morteros elaborados con AFR contienen más aire que los elaborados con AG. También se observa que los morteros en los que no se incorporó el agua de absorción, al igual que los elaborados con el

La densidad de los morteros se presenta en la Figura 6. En ella es evidente que al comparar una misma relación a/c y un mismo porcentaje de arena de trituración, los morteros elaborados con AFR poseen menor densidad que sus correspondientes con AG, siendo la densidad para los morteros elaborados con AFR, en ambas condiciones de humedad, del mismo orden de magnitud. Por otra

parte, los morteros elaborados con 40% de AFR poseen menor densidad en comparación con los que tienen 20%, lo cual puede ser atribuido a la menor densidad que presenta el AFR respecto de la arena silícea utilizada.

Los resultados obtenidos al evaluar la absorción de agua de cada uno de los morteros en estudio, se presentan en la Figura 7. Puede observarse que los morteros con AFR presentan para todos los casos mayor absorción que los elaborados con AG. Al comparar los morteros con AFR a los que se adicionó el agua de absorción respecto a los que no, se observa que la absorción resulta algo superior en los primeros, con excepción de la razón a/c 0,60. Lo expuesto podría atribuirse a una posible disminución de la relación a/c efectiva producto de la absorción del AFR.

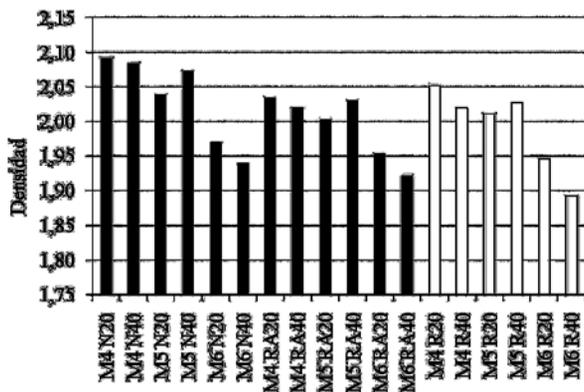


Figura 6. Densidad de los morteros.

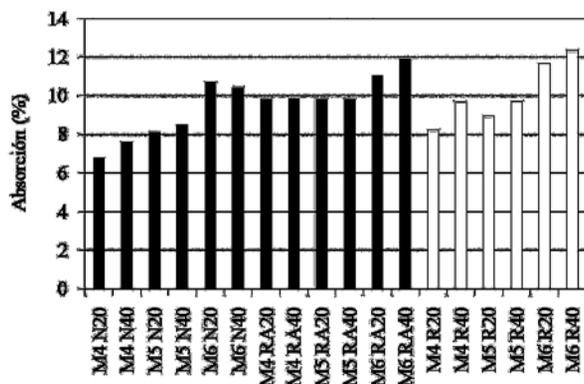


Figura 7. Absorción de agua de los morteros.

En la Figura 8 se presentan los resultados de la resistencia a compresión a 7 días. Al comparar los morteros con AFR respecto de los elaborados con AG, puede observarse que los mismos presentan resistencias del orden del 5 al 10% menor que los morteros con AG, para una misma relación a/c y porcentaje de incorporación de AT. Por otro lado, no se observa una tendencia definida respecto del porcentaje de utilización de AFR, siendo la resistencia a compresión similar para ambos porcentajes de incorporación (20 y 40%), como así tampoco respecto al estado de humedad de los AFR.

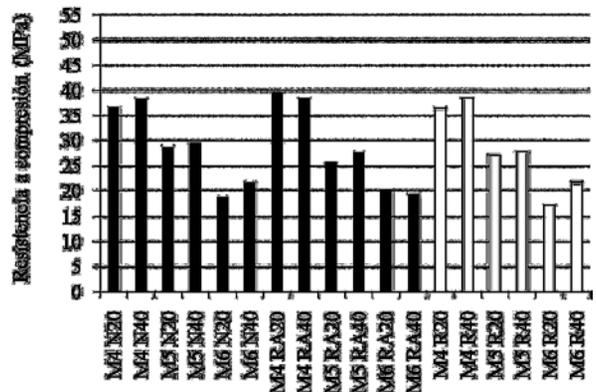


Figura 8. Resistencia a compresión a 7 días.

En la Figura 9 se presentan los resultados obtenidos al evaluar la resistencia a compresión a 28 días. En las misma puede observarse que la resistencia de los morteros con AFR son mayores que las obtenidas en los morteros con AG, especialmente para la relación a/c 0,40 donde el incremento es de aproximadamente el 15%. Este hecho puede atribuirse a una mejora en la calidad de la interface pasta-agregado como consecuencia de la mayor absorción por parte de los AFR, a pesar de haberse incorporado parte del agua de absorción. Al igual que a la edad de 7 días, no se observan diferencias significativas en la resistencia al comparar los porcentajes de utilización para los morteros con AG y con AFR en los que se incorporó el agua de absorción, mientras que sí la hubo para los morteros en los que ésta no fue considerada, siendo este incremento del orden del 8, 16 y 24%

para las a/c 0,40, 0,50 y 0,60 respectivamente, para los morteros con 40% respecto de los que contienen 20%. Este hecho refuerza la hipótesis de una mejora en la interface pasta-agregado.

En la Figura 10 se presenta el incremento en porcentaje de la resistencia a 28 días, respecto de la obtenida a 7 días de edad. Puede observarse que en ambos estados de humedad el incremento en la resistencia es mayor para los morteros con AFR, y en los porcentajes de 40%, respecto de los de 20%, lo cual podría deberse a una mejora en la interfaz mortero agregado producto de la posible absorción de los mismos, lo cual disminuiría la relación agua-cemento en la cercanía de estos, hecho reforzado por los mayores incrementos en los morteros en los que no se incorporó el agua de absorción.

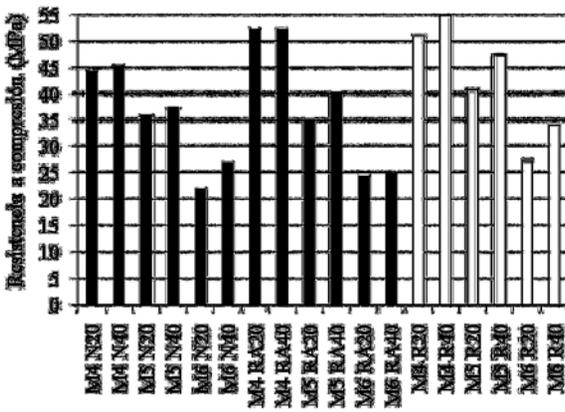


Figura 9. Resistencia a compresión a 28 días.

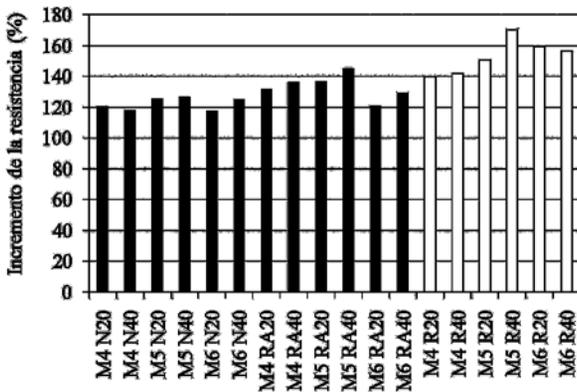


Figura 10. Incremento de la resistencia.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos al evaluar distintas propiedades en estado fresco y endurecido de morteros elaborados con 20 y 40% de arena de trituración granítica (AG) y agregado fino reciclado (AFR) en dos condiciones de humedad (secos y con el 50% del agua de absorción a 24 h) puede concluirse que:

- Los morteros con AFR poseen menor fluidez que los elaborados con AG, producto de su textura superficial más rugosa. A su vez los morteros con AFR y AG, a los cuales se les incorporó el agua de absorción, presentan mayor fluidez cuando el porcentaje de reemplazo fue de 40% respecto del 20%. Este comportamiento fue contrario al observado en los morteros con AFR en el que el agregado se utilizó seco. También para estos últimos morteros se observó una pérdida de fluidez a los 20 minutos de finalizado el mezclado, hechos que se atribuyen a la absorción del AFR.

- Los morteros con AFR poseen mayor cantidad de aire ocluido que sus correspondientes patrones. Respecto al porcentaje de aire incorporado pudo observarse que al utilizar 40% de arena de trituración, ya sea natural o reciclada, se obtuvo una importante reducción del contenido de aire, respecto al utilizar 20%, debido a la menor cantidad de partículas entre los tamices N°30 y 100.

- Respecto de la densidad y la absorción de agua, se observó una disminución de la densidad en los morteros con AFR, respecto de los elaborados con AG, debido a la mayor porosidad de los agregados reciclados. Este mismo hecho es responsable de la mayor absorción que presentan los morteros elaborados con AFR, lo cual también se ve reflejado al comparar los morteros con y sin agua de absorción, presentando estos últimos menor absorción.

- La resistencia a compresión a 7 días es entre el 5 y 10% menor en los morteros con AFR, respecto de los elaborados con AG, no existiendo una tendencia

definida respecto del porcentaje de utilización de la arena de trituración, sea ésta natural o reciclada. A 28 días se observa una resistencia entre el 8 y 24% superior en los morteros con AFR, lo que se atribuye a una mejora de la interface pasta-agregado producto de la mayor absorción que los mismos poseen.

- Los morteros con AFR tuvieron una evolución de resistencia mayor que los elaborados con la arena de trituración granítica. Hecho atribuido a la mejora en la interfaz producto de la absorción de estos agregados.

BIBLIOGRAFÍA

Bascoy, D. (1992). "Tecnología del hormigón fresco". Ed. AATH.

Cabrera, O. A.; Traversa, L.P. y Ortega, N.F. (2011). "Estado fresco de morteros y hormigones con arenas de machaqueo". *Materiales de Construcción*. 61, (303), pp. 401-416.

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), pp. 429-433.

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), pp. 257-274.

Dominguez, J. F. y Mantegna, D.H. (2010). "Uso a gran escala de hormigón reciclado". 19° Reunión técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. pp.463-470.

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.

Hansen, T. C. y Narud, H. (1983). "Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregates." *Concrete International - Design and Construction*, 5 (1), pp. 79-83.

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

Martins, I.; Müller, A.; Di Maio, A.; Forth, J.; Kropp, J.; Angulo, S y John, V. (2013). "Use of Fine Fraction". *Progress of Recycling in the Built Environmental. RILEM State of the Art- Art Report*. pp. 195-227.

Masood, A.; Ahmad, T.; Arif, M. y Madhi, F. (2002). "Waste management strategies for concrete." *Environmental Engineering Policy*, 3 (1-2), 15-18.

Sosa, M.E.; Zaga, 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". 19° Reunión técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. pp.415-422.

Ulcen, C.; Kahn, H; Hawlitschek, E.A.; Angulo, S.C. y John, V. (2013). "Production of Recycled sand from construction and demolition waste". *Construction and Building Materials*. 40. pp. 1168-1173.

Zega, C.J. (2010). "Propiedades físico-mecánicas y durables de hormigones reciclados". Tesis doctoral. Facultad de Ingeniera Universidad Nacional de La Plata. 158p.

Zega, C.J.; Sosa, M.A. y Di Maio, A.A. (2010). "Propiedades de los agregados finos reciclados procedentes de hormigones elaborados con diferentes tipos de agregados gruesos naturales". *Memorias 18° Reunión técnica. Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón*. pp 33-38.

Zega, C.J. y Di Maio, A.A. (2011). "Comportamiento de hormigones elaborados con agregados finos reciclados" *16° Reunión técnica de La Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón*. pp. 47-54.