

PROPIEDADES DE TRANSPORTE EN HORMIGONES ELABORADOS CON AGREGADO RECICLADO DE PAVIMENTO

TRANSPORT PROPERTIES OF CONCRETES MADE WITH RECYCLED AGGREGATE OBTAINED FROM PAVEMENT

C. Zega¹, M. Casuccio², G. Giaccio³, R. Zerbino⁴

1.- Investigador Asistente CONICET-LEMIT. claudio.zega@gmail.com

2.- Becaria CONICET-LEMIT-UNLP

3.- Investigadora Independiente CIC-LEMIT-UNLP

4.- Investigador Independiente CONICET-UNLP-LEMIT

RESUMEN

El ciclo de vida ideal para los residuos de hormigón es lograr su empleo en la elaboración de nuevos hormigones. Esto presupone ahorro de energía, menor extracción de materiales naturales no renovables y menor cantidad de desechos. La principal diferencia de un agregado reciclado de hormigón respecto a un agregado natural radica en que sus partículas contienen mortero, lo cual le confiere mayor absorción, menor densidad y menor resistencia. Si bien en Argentina se han realizado varios estudios sobre las propiedades de los hormigones reciclados, las aplicaciones en obra son realmente escasas. En este trabajo se presenta un estudio comparativo de las propiedades de transporte evaluadas en hormigones de laboratorio y en testigos extraídos de losas de pavimentos; incluye hormigones convencionales (con agregados naturales) y hormigones que incorporan 50 y 100% de agregado grueso reciclado (AGR) proveniente de la trituración de losas de pavimento. El hormigón con 50% de AGR presentó un comportamiento durable semejante al observado en hormigones convencionales en las evaluaciones realizadas sobre probetas de laboratorio, mientras que en muestras donde se incorporó también agregado fino reciclado se evidenció un incremento en las propiedades de transporte.

Palabras clave: *losas de pavimento, agregado reciclado, hormigón reciclado, propiedades de transporte.*

ABSTRACT

The use of waste concrete for the production of new concrete constitute the ideal life cycle of concrete. This assumes energy savings, lower extraction of non-renewable natural materials and less waste. The main difference between recycled concrete aggregate and natural aggregate is that the particles contain mortar, which gives greater absorption, lower density and lower strength. While in Argentina there have been several studies on the properties of recycled concrete, built applications are negligible. In this paper, a comparative study of the transport properties evaluated in laboratory concretes and concrete cores obtained from pavement slabs are presented, including conventional concrete (with natural aggregate) and concrete incorporating 50 and 100% recycled coarse aggregate (RCA) obtained from crushing pavement slabs. In the evaluations conducted on laboratory specimens, concrete with 50% of RCA presented a durable behaviour similar to that observed in conventional concrete, while when recycled fine aggregate was also incorporated an increase in the transport properties was noted.

Keywords: *pavement slabs, recycled aggregate, recycled concrete, transport properties.*

INTRODUCCIÓN

El impacto ambiental que genera el depósito indiscriminado de los residuos de construcción y demolición (RCD), ha llevado a replantear la situación y evaluar diferentes perspectivas para su empleo. Las posibilidades de uso estarán relacionadas con el tratamiento previo de los residuos como así también con la clasificación final que se realice de los mismos, pudiendo dividirlos en dos grandes grupos: residuos de mampostería y residuos de hormigón.

En el caso particular de los residuos de hormigón, mediante un adecuado proceso de trituración y clasificación, su empleo como sustituto de los agregados naturales en la elaboración de nuevos hormigones constituye el ciclo de vida perfecto del material. Este hecho posibilita además reducir la extracción de agregados naturales no renovables, permitiendo adaptarse a las nuevas tendencias del desarrollo sostenible.

En el ámbito internacional son variados los estudios realizados a fin de evaluar las características que presentan los agregados reciclados como así también los hormigones con ellos elaborados. En los mismos se puede apreciar desde la evaluación de diferentes propiedades de los agregados gruesos reciclados y la variabilidad

de las mismas [1-3] hasta la valoración de distintos aspectos de los hormigones que los incorporan que incluyen propiedades mecánicas y durables [4-9]. Los resultados alcanzados en dichos estudios permitieron tomar conocimiento de las grandes posibilidades de uso que tienen los agregados reciclados, hecho que ha conducido en las últimas décadas a la redacción de recomendaciones para su empleo en hormigones estructurales [10-15].

Al comparar los agregados reciclados (AR) con los agregados naturales, la primera diferencia que puede observarse a simple vista es la presencia de mortero, proveniente del hormigón de origen, ya sea adherido a las partículas de roca o conformando partículas por sí solo, hecho que origina una mayor porosidad en los agregados reciclados y por consiguiente una mayor capacidad de absorción de agua, menor densidad y menor resistencia. Al emplear AR en reemplazo del agregado natural, las características y propiedades de los hormigones reciclados podrán variar en mayor o menor medida conforme las propiedades y contenido de AR utilizado si se lo compara con un hormigón de similares características elaborado con agregado natural.

En nuestro país, el LEMIT constituye el

único centro de investigación que, de manera ininterrumpida desde hace más de 12 años viene realizando diferentes estudios sobre esta temática, a fin de poder emplear los agregados gruesos reciclados (AGR) provenientes de la trituración de hormigones de desecho en la elaboración de nuevos hormigones [16-22]. Sin embargo, la inexistencia de leyes que regulen el depósito incontrolado de estos desechos, sumada a la disponibilidad de fuentes de agregados naturales, hacen que el empleo de los hormigones reciclados no haya alcanzado el impulso deseado, el cual seguramente se vería favorecido si las ecuaciones económicas permitieran una reducción en los costos. También resulta un impedimento la escasa experiencia en estudios a escala real que se tiene con este nuevo material en el país.

En concordancia con lo mencionado, en el año 2005, en conjunto con la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires (DVBA), se realizó una prueba piloto de aplicación de hormigón reciclado en el acceso al Puerto de Necochea. La misma consistió en la ejecución de losas de hormigón convencional y de hormigón reciclado, empleando en este último caso el material obtenido de la trituración de las losas del viejo pavimento en reemplazo del 50 y 100% del agregado natural, pero en este caso por cuestiones meramente operativas de la citada obra, también se incorporó fracción fina de agregado reciclado. Los hormigones reciclados presentaron un comportamiento aceptable, con niveles de resistencia del orden del 15% inferior al registrado en el hormigón convencional [23]. Una evaluación posterior de testigos extraídos de dichas losas de pavimento y también del pavimento existente que dio lugar al AR (se trataba de un hormigón que incorporaba cuarcita como agregado grueso), verificó un buen comportamiento de los hormigones reciclados, en este caso con resistencias a compresión entre 20 y 30% inferiores a la del hormigón convencional. Sin embargo los parámetros determinados que se relacionan con las propiedades de transporte indicaron menor durabilidad en los hormigones reciclados [24]; el uso de la fracción fina del

agregado reciclado fue considerado como la causa de la inferior calidad percibida en los hormigones reciclados.

A partir de lo indicado anteriormente, se planteó la ejecución de este estudio cuyo objetivo es evaluar el comportamiento durable de hormigones elaborados en laboratorio que incorporan los mismos materiales empleados en dicha obra, pero empleando solo el agregado grueso reciclado (AGR). Cabe comentar que el descarte de la fracción fina del AR, es decir aquella que pasa el tamiz de abertura de malla 4,75 mm, y su disposición para otros fines constituye una técnica recomendada y era lo que estaba previsto en un principio para la obra. Como propiedades de transporte se evaluaron la absorción de agua (inmersión 24h), los parámetros de succión capilar (velocidad y capacidad) y la penetración de agua a presión. Los resultados obtenidos sobre estos hormigones serán también comparados con los obtenidos en los testigos anteriormente mencionados.

EXPERIENCIAS

En este estudio se evalúan diferentes propiedades de transporte en hormigones convencionales y reciclados elaborados en laboratorio, considerando también los resultados obtenidos previamente en testigos extraídos de losas de pavimentos.

A tal fin, se consideraron las losas elaboradas en experiencias anteriores empleando un hormigón convencional de granito (G) y hormigones reciclados (R50 y R100), como así también losas del pavimento existente (Q) [23]. En dichas experiencias se empleó cemento Portland normal, desconociéndose las características del hormigón Q.

Los materiales empleados en los hormigones de laboratorio como así también las proporciones de las mezclas evaluadas se presentan a continuación.

Materiales y mezclas

Se elaboraron hormigones convencionales de razón a/c 0,45 empleando dos agregados gruesos naturales (piedras partidas de granito y cuarcita), y dos hormigones reciclados en los cuales el agregado granítico fue reemplazado por 50 y 100% de AGR manteniendo constante las proporciones de los demás materiales.

Se utilizaron cemento Portland normal y arena silícea natural como agregado fino (MF: 2,62; densidad: 2,60) y un aditivo reductor de agua de rango medio. Las piedras partidas granítica y cuarcítica poseían un tamaño máximo de 25,4mm; el agregado grueso reciclado se obtuvo de la trituración de las losas de pavimento existentes, presentando igual tamaño máximo. El agregado cuarcítico seleccionado para estas experiencias era similar al del hormigón del pavimento existente.

En la Tabla 1 se presentan algunas propiedades de los agregados gruesos empleados, tales como módulo de finura, absorción de agua y densidad. La menor densidad y mayor absorción de agua del AGR se deben al mortero que presenta adherido a sus partículas. Considerando el estudio de las propiedades de transporte se destaca que además de poseer el mismo tamaño máximo los valores prácticamente similares del módulo de finura dan cuenta de una granulometría similar en los agregados empleados. Comparados con otros estudios donde el AR se obtenía a partir de hormigones preparados con piedra granítica [22], pueden observarse diferencias importantes en los parámetros determinados, principalmente mayor absorción, esto se debe a la influencia del agregado natural del hormigón de origen, en este caso piedra cuarcítica.

Los hormigones convencionales que emplean como agregado grueso las piedras partidas granítica y cuarcítica se identifican como G y Q, y los dos hormigones reciclados preparados con 50 y 100% de AGR como reemplazo del agregado granítico se identifican como R50 y R100. En todos los casos se mantuvieron constantes la razón a/c y el contenido de agregado grueso, efectuando los reemplazos en volumen. Todos los agregados gruesos fueron empleados en condición de saturado a superficie seca para evitar pérdidas de asentamiento, principalmente en los hormigones reciclados debido a la elevada absorción que presenta el agregado reciclado.

En la Tabla 2 se presentan las proporciones de los hormigones, como así también los valores de asentamiento (cono de Abrams), contenido de aire incorporado y resistencia a compresión ($f'c$) a la edad de 28 días.

Con cada uno de los hormigones se moldearon probetas para la realización de los diferentes ensayos, las cuales fueron desmoldadas a las 24 h y mantenidas en cámara húmeda (T: $23\pm 2^\circ\text{C}$; HR: 95%) hasta la edad de 28 días.

Procedimientos de ensayo

Los procedimientos de ensayo corresponden a los indicados en las normas respectivas. La determinación de la absorción de agua por inmersión a 24 h se realizó de acuerdo con lo establecido en ASTM C 642 [25], empleando tres muestras por cada hormigón.

El ensayo de succión capilar se realizó siguiendo el procedimiento descrito en IRAM 1871 [26], aunque se emplearon muestras prismáticas de

Tabla 1. Propiedades de los agregados gruesos.

Agregado	Módulo de finura	Absorción (%)	Densidad
Grueso reciclado	6,93	6,67	2,35
Piedra granítica	6,94	0,30	2,74
Piedra cuarcítica	6,93	2,14	2,49

Tabla 2. Proporciones de los materiales (kg/m³).

Materiales	G	Q	R50	R100
Agua	153	156	156	156
Cemento	346	346	347	347
Agregado fino	840	840	840	840
Piedra partida granítica	1040	-	525	-
Piedra partida cuarcítica	-	940	-	-
Agregado grueso reciclado	-	-	450	900
Aditivo	0,9	1,0	1,0	1,0
Propiedades	G	Q	R50	R100
Asentamiento (mm)	115	75	65	80
Aire (%)	3,3	3,2	2,8	3,0
f _c a 28 días (MPa)	33,4	37,1	35,8	32,1

50x100 mm de sección en lugar de las cilíndricas de 100 mm que establece dicha norma. El cambio en el tipo de probeta se debió al insuficiente volumen de material reciclado disponible, y considerando la elevada variabilidad del ensayo, ello permitió testear un mayor número de probetas por hormigón. El ensayo consiste en registrar la ganancia de masa, en intervalos de tiempo prefijados, de las probetas en contacto con agua por su cara inferior. En este caso en particular, la cara en contacto con agua correspondía a la cara de moldeo de las probetas. A partir de este ensayo se obtuvieron los parámetros de velocidad y capacidad de succión capilar, reflejando el primero de ellos el incremento de masa por unidad de área en el tiempo, y el segundo representa la máxima capacidad de absorción por capilaridad determinada por la igualdad de peso en intervalos sucesivos cada 24 h.

En lo que respecta a la penetración de agua a presión, cuyo procedimiento de ensayo se encuentra especificado en IRAM 1554 [27], se llevó a cabo sobre probetas prismáticas de 200x200x150mm, las cuales fueron sometidas a una presión de agua variable en el tiempo sobre la cara de moldeo (48 h a 1 kg/cm², 24 h a 3 kg/cm² y 24 h a 7 kg/cm²). Luego, las probetas fueron fraccionadas

por compresión diametral posibilitando la demarcación del perfil de penetración de agua sobre cada una de las mitades. Como resultado del ensayo se obtiene la profundidad media de penetración de agua a presión a partir del relevamiento del perfil anteriormente indicado.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los diferentes parámetros determinados involucran distintos mecanismos de transporte, tales como absorción, capilaridad y permeabilidad. Los valores registrados para cada uno de los parámetros evaluados sobre las probetas elaboradas en laboratorio (absorción de agua por inmersión, velocidad y capacidad de succión capilar y profundidad de penetración de agua a presión) son comparados con los obtenidos en testigos extraídos de las losas de pavimento [24].

En la Figura 1 se presenta la absorción de agua determinada en los hormigones convencionales y reciclados en estudio, de manera comparativa con las obtenidas sobre los testigos extraídos de las losas de pavimento.

Puede observarse, en cada caso (G, Q, R50, R100), que los testigos evidencian mayores valores de

absorción respecto a los determinados en las probetas elaboradas en laboratorio. Asimismo, las diferencias resultan más importantes para los hormigones reciclados, tanto mayor cuanto más elevado es el porcentaje de AR empleado. Este hecho puede atribuirse a las diferentes condiciones de colocación, compactación y curado existentes en obra con respecto al laboratorio, sumadas, en el caso de los hormigones reciclados, a la presencia de la fracción fina reciclada como se mencionó anteriormente.

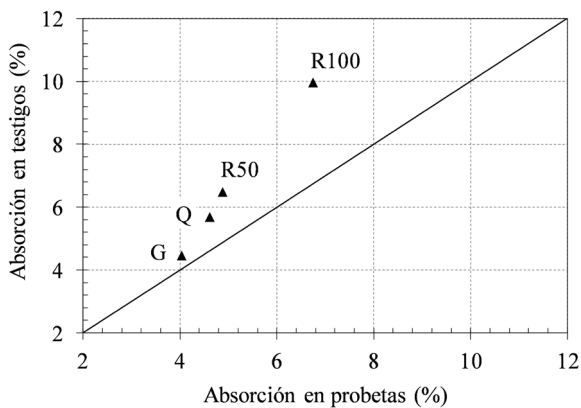


Figura 1. Absorción de agua en probetas y en testigos.

Se puede observar también que el hormigón R50 presenta similar valor de absorción en probetas que el hormigón Q, debido a la elevada absorción del agregado natural cuarcítico y a que el hormigón R50 contiene 50% de piedra granítica cuya absorción es muy inferior en comparación con los demás agregados gruesos. La absorción del R50 determinada en testigos resulta 14%

superior a la del hormigón Q, debido en gran parte al empleo de la fracción fina reciclada. En el caso del hormigón R100, se puede inferir que presenta una mayor vulnerabilidad al ingreso de sustancias por absorción, siendo las absorciones en probetas 46 y 67% mayores a la de los hormigones Q y G, respectivamente.

Si bien el ensayo de absorción por inmersión parece no ser el más confiable o determinante al momento de evaluar la durabilidad del hormigón [28], debido a su menor sensibilidad y a que no tiene en cuenta los diferentes mecanismos de transporte por medio de los cuales pueden ingresar los agentes agresivos, de los resultados obtenidos puede evidenciarse claramente el efecto negativo que genera el empleo del AR sin acondicionamiento previo, en particular la utilización de la fracción fina reciclada.

Los valores de velocidad y capacidad de succión capilar, determinados sobre los hormigones elaborados en laboratorio, junto con los correspondientes a los obtenidos en los testigos del pavimento, se presentan en la Tabla 3. Cada valor corresponde al promedio de ocho muestras en el caso de las probetas y de tres para los testigos. Debe recordarse que, según la metodología de cálculo indicada en IRAM 1871 [26], el valor medio de los parámetros se calcula con las muestras que no se apartan en $\pm 15\%$ del comportamiento medio del hormigón en cuestión.

Puede observarse que, para la determinación sobre probetas, tanto la velocidad como la

Tabla 3. Parámetros de succión capilar.

Hormigones	Probetas		Testigos	
	Velocidad (g/m ² *s ^{1/2})	Capacidad (g/m ²)	Velocidad (g/m ² *s ^{1/2})	Capacidad (g/m ²)
G	2,95	1325	2,79	1540
Q	3,04	1446	0,70	260
R50	2,83	1385	2,92	1495
R100	3,76	1800	4,58	2445

capacidad de succión capilar resultan similares en los hormigones G, Q y R50, mientras que en el R100 dichos parámetros son superiores, 27 y 36% respectivamente en comparación con el hormigón G.

En el caso de los testigos se observa la misma tendencia descrita para las probetas a excepción del hormigón Q, el cual presentó bajos valores de velocidad y capacidad, hecho que puede estar ocasionado por la colmatación de los poros del hormigón como consecuencia de su avanzada edad. El hormigón R100 presentó valores de velocidad y capacidad del orden de 64 y 60% superiores a los registrados en el hormigón G.

En la Figura 2 se presentan las curvas medias de succión capilar en función del tiempo obtenidas para cada uno de los hormigones elaborados en laboratorio, pudiéndose observar claramente el similar comportamiento que presenta el hormigón elaborado con 50% de agregado reciclado (R50) respecto a ambos hormigones G y Q. Se aprecia también una notoria influencia de la utilización del agregado reciclado en el desempeño del hormigón R100.

En la Figura 3 se comparan los valores de penetración media de agua a presión determinados en las probetas con relación a los obtenidos sobre los testigos. Cada valor informado corresponde al promedio de tres ensayos.

Puede observarse un comportamiento diferenciado según se trate de la evaluación de probetas o de testigos extraídos del pavimento, obteniéndose mayores valores de penetración en estos últimos debido a las condiciones de trabajo mencionadas. Las determinaciones sobre probetas muestran un importante incremento en la penetración de agua en el caso del hormigón R100, duplicándose prácticamente con relación a la obtenida en los demás hormigones, mientras que el R50 muestra un comportamiento semejante al de los hormigones con agregados naturales.

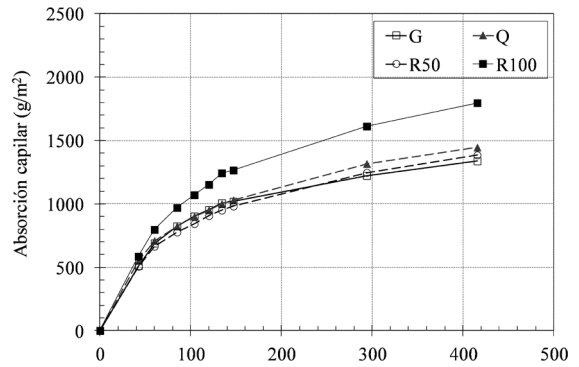


Figura 2. Curvas de succión capilar en función del tiempo.

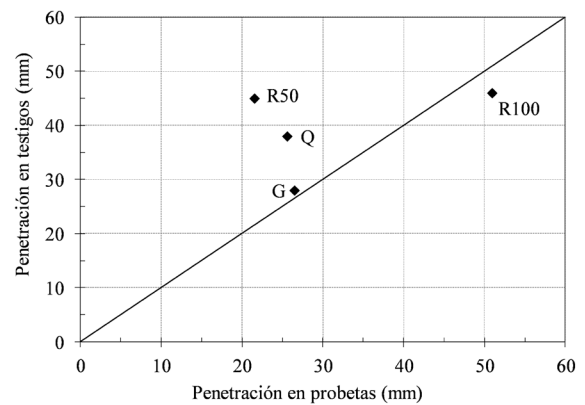


Figura 3. Penetración de agua a presión.

Debe mencionarse que los valores de penetración media obtenidos en las probetas correspondientes a los hormigones G, Q y R50 se ubican por debajo del límite establecido en el reglamento CIRSOC 201 [29], el cual es de 30 mm, mientras que el hormigón R100 no cumple con dicha condición. Este comportamiento debe ser atribuido a la razón a/c utilizada en los hormigones en estudio, la cual fue efectiva para el R50 pero resultó insuficiente para lograr que el hormigón R100 se ajuste a los límites del mencionado reglamento.

A fin de analizar la influencia del contenido de agregado grueso reciclado sobre las propiedades de transporte evaluadas, en la Figura 4 se relacionan los diferentes parámetros determinados sobre probetas y sobre testigos, para cada hormigón en

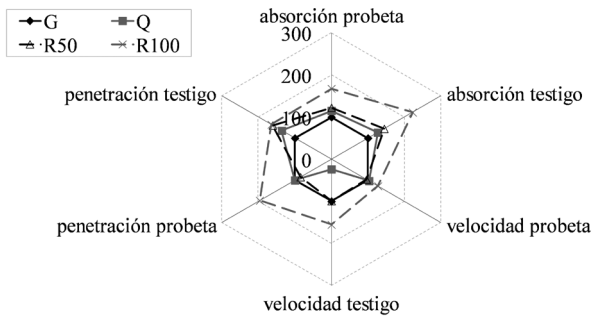


Figura 4. Parámetros de transporte (valores relativos a los medidos en el hormigón G).

estudio. Los resultados se expresan en valores relativos a los del hormigón convencional G.

Se puede observar que, tanto en el caso de las determinaciones sobre testigos como en las probetas, los hormigones R50 y Q presentan un comportamiento similar en cuanto a absorción de agua y penetración, resultando iguales o superiores a los del hormigón G. Con respecto a la velocidad de succión en testigo, el hormigón Q presenta un valor notoriamente inferior, hecho que fue mencionado anteriormente. Para el hormigón R100, los valores obtenidos para los distintos parámetros evaluados resultan en todos los casos superiores al resto de los hormigones, siendo dicha diferencia en algunos casos superior al 100%, debido al mayor contenido de mortero que poseen los hormigones reciclados.

En la Figura 5 se puede observar la variación de las distintas propiedades evaluadas en los hormigones en función de la absorción del agregado grueso que contiene cada uno de ellos, expresados en valores relativos a los del hormigón convencional G. En el caso de las determinaciones sobre probetas, se observa que hasta absorciones del agregado del orden del 4% no hay incrementos significativos de los parámetros evaluados, mientras que en el caso de las determinaciones sobre los testigos se observa un crecimiento en los valores conforme se incrementa la absorción del agregado, hecho que se potencia en el caso de los hormigones con AR.

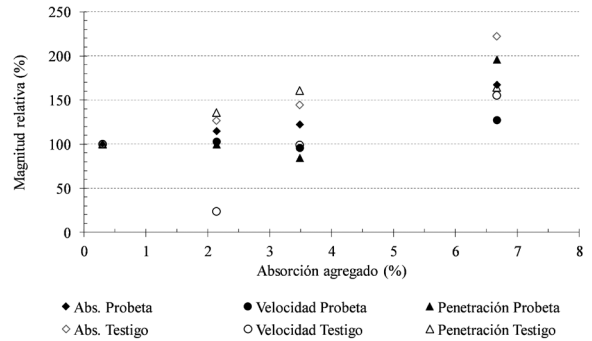


Figura 5. Variación de los parámetros en relación a la absorción del agregado grueso.

CONSIDERACIONES FINALES

Se evaluaron diferentes propiedades de transporte de hormigones reciclados que incorporan 50 y 100% de agregado grueso reciclado obtenido a partir de la trituración de losas de pavimento. El comportamiento de dichos hormigones fue comparado con el de hormigones convencionales elaborados con diferentes agregados gruesos naturales, piedra granítica y piedra cuarcítica, manteniendo constante el tamaño máximo, la distribución, granulométrica y el volumen de agregado grueso. Complementariamente los resultados fueron contrastados con los obtenidos en experiencias anteriores realizadas sobre testigos extraídos de pavimentos elaborados con agregados gruesos similares. Las conclusiones obtenidas se presentan a continuación.

En las evaluaciones realizadas sobre probetas preparadas en laboratorio, los hormigones con 50% de agregado grueso reciclado presentan propiedades de transporte similares a la de los hormigones con agregados naturales. El hormigón con 100% de agregado grueso reciclado presentó propiedades de transporte más desfavorables desde el punto de vista durable si se lo compara con el resto de los hormigones.

En los valores correspondientes a los testigos se evidencia una mayor porosidad en el hormigón reciclado, hecho que debe ser atribuido

fundamentalmente a que en este caso también se incorporó la fracción fina del agregado reciclado.

Las propiedades de transporte determinadas sobre probetas elaboradas en laboratorio no muestran incrementos significativos cuando los hormigones

incorporan agregados gruesos con absorción que no superan el 4%, esto no ocurrió en los testigos de pavimentos donde las mismas propiedades presentan un aumento consistente con la absorción del agregado utilizado.

REFERENCIAS

- 1.- Hansen, T.C., Narud, H., 1983. Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. *Concrete International*, Vol. 5, N° 1, pp. 79-83.
- 2.- Gómez, J.M., Agulló, L. y Vázquez, E. 2001. Cualidades físicas y mecánicas de los agregados reciclados de concreto. *Construcción y Tecnología*, Vol. XIII, N° 157, Junio 2001, pp. 10-20.
- 3.- Sánchez de Juan, M. y Alaejos Gutiérrez, P. 2009. Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate. *Construction and Building Materials*, Vol. 23, N° 2, pp. 872-877.
- 4.- Tavakoli, M. y Soroushian, P. 1996. Strengths of recycled aggregate concrete made using field-demolished concrete as aggregate. *Materials Journal*, ACI, March-April 1996, pp. 182-190.
- 5.- Ajdukiewicz, A. y Kliszczewicz, A. 2002. Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC. *Cement & Concrete Composites*, Vol. 24, N° 2, 2002, pp. 269-279.
- 6.- Tabsh, S.W. y Abdelfatah, A.S. 2009. Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete. *Construction and Building Materials*, Vol. 23, N° X, pp. 1163-1167.
- 7.- Padmini, A.K., Ramamurthy, K. y Mathews, M.S. 2009. Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, Vol. 23, N° 2, pp. 829-836.
- 8.- Gonçalves, A., Esteves, A., Vieira, M., 2004. Influence of recycled concrete aggregates on concrete durability. *International RILEM Conference on The use of recycled materials in building and structures*, Barcelona, Spain. Ed. E. Vázquez, Ch.F. Hendriks y G.M.T. Janssen, RILEM, pp. 554-562.
- 9.- Otsuki, N., Miyazato, S., Yodsudjai, W., 2003. Influence of recycled aggregate on interfacial transition zone, strength, chloride penetration and carbonation of concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, Vol. 15, N° 5, pp. 443-451.
- 10.- ACI Committee 555R-01. 2002. Removal and reuse of hardened concrete. *Materials Journal*, ACI, N° 99-M31, May-June 2002, pp. 300-323.
- 11.- Anejo 19. 2006. Recomendaciones para la utilización de hormigones reciclados. Comisión Permanente del Hormigón, España. (Disponible en www.fomento.es)
- 12.- Grübl, P. y Rühl, M. 1998. German Committee for Reinforced Concrete (DafStb) – Code: Concrete with Recycled Aggregates. *Proc. Int. Symposium Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregates*. University of Dundee, London. (Available in www.b-i-m.de)
- 13.- RILEM Recommendation 121-DRG. 1994. Guidance for demolition and reuse of concrete and masonry. Specifications for concrete with recycled aggregates. *Materials and Structures*, Vol. 27, 1994, pp. 557-559.
- 14.- Sagoe-Crentsil, K. y Brown, T. 1998. Guide for Specification of Recycled Concrete Aggregates (RCA) for Concrete Production - Final Report. CSIRO, Building, Construction and Engineering, PO Box 56, Highett Road, Victoria. 3190.
- 15.- Balázs, G.L., Kausay, T. y Simon, T.K. 2008. Technical Guideline for Recycled Aggregate Concrete in Hungary. *Concrete Structures, Annual Technical Journal*, Vol. 9, pp. 45-55.

- 16.- Di Maio, A.A., Gutiérrez, F. y Traversa, L.P. 2001. Comportamiento físico mecánico de hormigones elaborados con agregados reciclados. Memorias 14° Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, AATH, Octubre 2001, Olavarría, Argentina, pp. 37-44.
- 17.- Di Maio, A.A., Zega, C.J. y Traversa, L.P. 2005. Estimation of Compressive Strength of Recycled Concretes with the Ultrasonic Method. Journal of ASTM International (JAI), ASTM, Vol. 2, N° 5. Disponible en: www.astm.org
- 18.- Zega, C., Fornasier, G., Ponce, M. y Di Maio, A.A. 2005. Hormigones reciclados expuestos a ciclos rápidos de congelación y deshielo. Hormigón N° 41, AATH, pp. 53-61.
- 19.- Zega, C.J. y Di Maio, A.A. 2007. Efecto del Agregado Grueso Reciclado sobre las Propiedades del Hormigón. Boletín Técnico (IMME), Univ. Central de Venezuela, Vol. 45, N° 2, pp. 1-11. Disponible en: www.revele.com.ve
- 20.- Casuccio, M., Torrijos, M.C., Giaccio, G., Zerbino, R., 2008. Failure mechanism of recycled aggregate concrete, Construction and Building Materials, Vol. 22, N° 7, pp. 1500-1506.
- 21.- Villagrán Z., Y.A., Zega, C.J., Di Maio, A.A., 2008. Chloride Penetration and Binding in Recycled Concrete. Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, Vol. 20, N° 6, pp. 449-455.
- 22.- Zega, C.J., Villagrán-Zaccardi, Y.A., Di Maio, A.A., 2010. Effect of natural coarse aggregate type on the physical and mechanical properties of recycled coarse aggregates. Materials and Structures, RILEM, Vol. 43, N° 1-2, pp. 195-202.
- 23.- Zerbino, R., Giaccio, G., Casuccio, M., Zega, C., Martín, R., Perera, E., Hector, S., 2006. Empleo de Hormigón Reciclado para la Construcción de Losas de Pavimento Urbano. Memorias 16° Reunión Técnica de la AATH, Mendoza, pp. 63-70.
- 24.- Zega, C.J., Casuccio, M.L., 2006. Evaluación de Testigos de Pavimento Elaborado con Hormigón Reciclado. Ciencia y Tecnología del Hormigón, LEMIT, N° 13, pp. 45-50.
- 25.- ASTM C 642:1990. Standard Test Method for Specific Gravity, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02, ASTM International, West Conshonocken, PA.
- 26.- IRAM 1871:2004. Hormigón. Método de ensayo para determinar la capacidad y la velocidad de succión capilar de agua del hormigón endurecido. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Argentina.
- 27.- IRAM 1554:1983. Hormigón de cemento Portland. Método de determinación de la penetración de agua a presión en el hormigón endurecido. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Argentina.
- 28.- De Schutter, G. y Audenaert, K. 2004. Evaluation of water absorption of concrete as a measure for resistance against carbonation and chloride migration. Materials and Structures, Vol. 37, N° 11, November 2004, pp. 591-596.
- 29.- CIRSOC 201:2005. Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón. Instituto Nacional de Tecnología Industrial.