



PAVIMENTOS DE HORMIGÓN, EL BUEN CAMINO

La conectividad terrestre es de vital importancia para el desarrollo del país y la larga vida útil de los caminos realizados con este material redunda en beneficios múltiples, incluyendo la minimización del impacto ambiental de las obras. En esta edición, los beneficios, las dudas frecuentes y las obras del Metrobus donde los pavimentos de hormigón son protagonistas.





Sumario

- 01 **Editorial**
- 04 **Nota de tapa**
 - » Pavimentos de hormigón: una opción sostenible
- 10 **Nota técnica**
 - » Pavimentos de hormigón: algunas preguntas frecuentes
 - » Consideraciones sobre el hormigón en ambiente marino sumergido
 - » Caracterización de agregados finos reciclados de distintas procedencias
 - » ¿Qué precauciones deben adoptarse al trabajar con *grouts* epoxídicos?
 - » Más economía, menos contaminación
 - » Conformidad y aceptación del hormigón fresco en obra
- 42 **Informe especial**
 - » Arte en hormigón
- 44 **Socios**
- 48 **Institucionales**
- 56 **Internacionales**
- 62 **Jornadas, cursos y conferencias**
- 72 **Actualidad**
- 78 **RSE**
 - » La prevención a la hora de la descarga del hormigón y los trabajos nocturnos
- 84 **Reportaje**
 - » "El desafío más importante y difícil de conseguir es avanzar en temas vinculados con la sostenibilidad"
- 92 **Obras**
 - » El Metrobus circulará sobre la eficiencia de los pavimentos de hormigón
 - » Sobre médanos costeros
 - » Juegos olímpicos sustentables
 - » Los túneles gigantes que atraviesan los cimientos de Manhattan
 - » Detrás de los muros de hormigón
- 110 **Humor**

Caracterización de agregados finos reciclados de distintas procedencias



↗ Arena de trituración granítica



↗ Arena de trituración reciclada

M. Sosa, A. Di MAio, J. Zega

Introducción

La escasez de arenas de río aptas para la elaboración de hormigones es una problemática en crecimiento, debido a que muchos de los yacimientos existentes se encuentran en franco agotamiento, a lo que debe sumarse que su utilización en la elaboración de hormigones resulta dificultosa por la gran finura que presentan. Estos hechos han conducido a que comiencen a emplearse agregados finos provenientes de la trituración de rocas, lo que provocó una serie de inconvenientes derivados, principalmente, de su explotación, debido a la contaminación sonora y ambiental que se produce. Esta problemática ha llevado a que, en distintos municipios de la provincia de Buenos Aires, no esté permitida dicha actividad y a que se sancione en el año 2010 la Ley 14126, que no sólo prohíbe toda nueva actividad minera en el partido de Tandil, sino que además pone plazo de cese a la explotación de las canteras existentes.

Por otra parte, en los últimos años las políticas ecologistas y la creciente conciencia ciudadana han puesto de manifiesto la necesidad de reutilizar los residuos de la construcción y demolición, con el propósito de disminuir la deposición de este tipo de residuos en vertederos legales e ilegales, generando de esta forma un nuevo recurso »

y mitigando el impacto ambiental de la explotación de canteras. En particular, el uso de agregados reciclados (AR) en la elaboración de hormigones –fundamentalmente los que provienen de la trituración de hormigones de desecho– se ha transformado en una práctica habitual en países con políticas ambientales claras y eficientes, en donde incluso existen normativas o recomendaciones al respecto. Sin embargo, hasta el presente, se ha utilizado solamente la fracción gruesa de éstos, dejando como remanente la fracción fina cuyo control y disposición son más complejos y su contaminación, más factible. Debido a que el volumen generado de agregados finos es del orden de 20% al 50% del total de la trituración, esta situación debe ser revertida asegurando un tratamiento integral de estos residuos, hecho que permitirá disminuir la necesidad de vertederos.

En las fotografías 1 y 2 se pueden observar los procedimientos utilizados habitualmente para la obtención de agregados reciclados.

Respecto a las propiedades que poseen los agregados finos reciclados (AFR), es conocido que éstos presentan, al igual que los agregados gruesos reciclados (AGR), menor densidad y mayor absorción que los agregados naturales, debido al mortero adherido que poseen sus partículas (6-9). Si bien en la bibliografía específica se considera importante conocer las características del hormigón de origen, debe tenerse en cuenta que, por distintos motivos, pueden diferir de las que éste presentaba (en el caso de pavimento, puede contaminarse con la base o sub base del camino en la etapa de trituración; en hormigones de “corte” depositados en planta elaboradora, al no ser curado y compactado, las características pueden diferir de las que posee el material en servicio, etc.). Por lo tanto, y dado que muchas veces se desconoce la procedencia del hormigón a triturar para la obtención de los AR, o bien resultan de diversos hormigones con distintas características, antes que conocer la calidad del hormigón de origen resulta más importante realizar una buena caracterización de los agregados y/o las combinaciones de éstos que se utilizarán en obra.

El objetivo de este trabajo consiste en evaluar el comportamiento que presentan mezclas de arena silícea de río con 20% y 40% de agregado fino reciclado de distintas procedencias. Se evalúan propiedades tales como granulometría, densidad, absorción de agua, material que pasa el tamiz IRAM 75 μm y durabilidad por ataque con sulfato de sodio, aplicando en todos los casos los



➤ Pretrituración con martillo neumático (Gentileza: Ing. José María Casas SA)

➤ Trituradora de ciclo cerrado (Gentileza: Ing. José María Casas SA)

lineamientos indicados en las respectivas normas IRAM, habitualmente utilizadas en la evaluación de agregados finos naturales.

Experiencias Materiales y mezclas

Los agregados finos reciclados que fueron evaluados surgieron de la trituración de hormigones de tres procedencias distintas, todos ellos elaborados con agregado grueso granítico. La denominación y el origen de cada uno de los hormigones triturados se indican a continuación:

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

S: hormigón utilizado en pavimento que culminó su vida en servicio.

C: hormigones sobrantes de mixer, depositados en planta y luego triturados.

Con cada uno de los agregados indicados, se elaboraron combinaciones de arena silíceo de río (AA) y dos porcentajes de agregado fino reciclado (20% y 40% en peso). En la presentación de resultados, se utiliza una letra que indica el origen del hormigón, de dónde proviene el AFR y un número en correspondencia con el porcentaje utilizado de éste, siendo su complementario AA. Así, a modo de ejemplo, L-40 corresponde a la combinación de agregado proveniente de la trituración de hormigón de laboratorio en 40% y AA, en un 60%. A cada combinación 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).

En la Figura 1 se presentan las granulometrías correspondientes a cada uno de los AFR evaluados y las combinaciones realizadas, juntamente con las curvas límites establecidas en el Reglamento CIRSOC 201/05. Puede observarse que las curvas de los agregados L y C resultan similares, mientras que la del agregado S es levemente más fina. Este mismo comportamiento se mantiene en las combinaciones realizadas. También puede observarse que al incrementar el porcentaje de AFR, la curva se torna más gruesa, sin llegar a estar comprendida en su totalidad entre las curvas A y B del mencionado reglamento, debido fundamentalmente al bajo módulo de finura que presenta la arena de río utilizada (1,06).

Los resultados de las diferentes propiedades evaluadas para cada agregado utilizado, juntamente con las de las combinaciones con 20% y 40% de AFR, se presentan en la Tabla 1.

Puede observarse que el módulo de finura se incrementa respecto al de la AA, conforme aumenta el porcentaje de AFR, debido al mayor módulo que presentan éstos. En cuanto al material que pasa el tamiz IRAM 75 μm , también se incrementa conforme aumenta el porcentaje utilizado, siendo del mismo orden para todas las combinaciones con igual porcentaje de AFR, independientemente de la procedencia de éste.

La densidad de los AFR resulta significativamente menor que la de la AA, en tanto que para todos los AFR, como para las combinaciones con un mismo porcentaje, se observa que la densidad es del mismo orden. Puede notarse también que la disminución de la densidad respecto a la AA es mayor conforme aumenta el porcentaje de AFR utilizado, debido a la menor densidad que presenta el mortero adherido. Los tres AFR presentan una elevada absorción de agua en

Figura 1 | Curvas Granulométricas

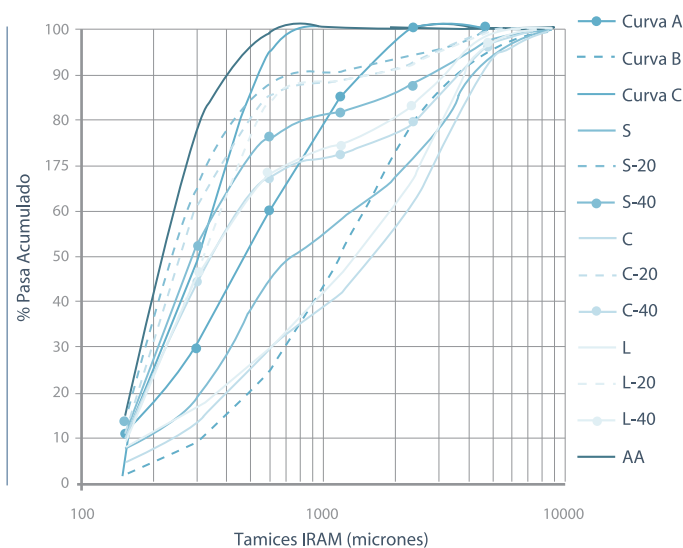


Tabla 1 | Propiedades de los Agregados Finos y combinaciones evaluadas

Agregado	Módulo de finura	Pasa Tamiz N°200 x lavado (%)	Densidad rel. (g/m ³)	Absorción (%)	Pérdida por ataque con SO ₄ Na ₂ (%)
AA	1,06	0,5	2,68	0,4	5,0
C	3,57	1,3	2,29	10,4	11,2
C-20	1,66	1,2	2,61	1,5	No se evaluó
C-40	2,31	1,6	2,52	3,8	No se evaluó
S	3,06	3,8	2,38	9,9	38,0
S-20	1,49	1,8	2,60	1,8	No se evaluó
S-40	1,90	1,5	2,47	3,9	No se evaluó
L	3,61	4,0	2,33	8,5	14,5
L 20	1,81	1,7	2,61	1,7	4,9
L40	2,20	2,2	2,58	1,9	7,4
Limites CIRSOC	2,00-3,00	5,0	2,00-3,00	No establece	10,0

comparación con la AA, hecho que también debe ser atribuido a la mayor porosidad del mortero adherido, notándose que ésta disminuye cuando se combina el AFR con el agregado natural.

La pérdida por ataque con sulfato de sodio se evaluó en cada uno de los AFR, y sólo en las combinaciones correspondientes al agregado proveniente de laboratorio. Es necesario hacer notar que dicho ensayo está ideado para agregados naturales, provocando en el caso de agregados reciclados que la solución de sulfato de sodio ataque la interfaz agregado-mortero, separando el mortero adherido de las partículas de agregado, lo que no representa necesariamente las condiciones »

a las que estará expuesto al ser utilizado en hormigones durante su vida en servicio. No obstante puede observarse que, si bien la pérdida en cada uno de los AFR es mayor a la establecida en el reglamento CIRSOC 201/05, en las combinaciones evaluadas resulta menor al límite establecido.

Conclusiones

De los resultados obtenidos en este estudio sobre diferentes propiedades de combinaciones de arena silícea con distintos porcentajes de AFR (20% y 40%) de diversas procedencias, se puede concluir que tanto los AFR como las combinaciones, para un mismo porcentaje evaluado, presentan curvas granulométricas similares. El módulo de finura se incrementa con el porcentaje de AFR utilizado, debido a que es sustancialmente mayor que el de la arena silícea. Para todas las combinaciones evaluadas, las densidades disminuyen al incrementarse el porcentaje de AFR utilizado, debido al mortero adherido que presentan sus partículas, siendo similares para un mismo porcentaje evaluado. Otras propiedades, como la absorción de agua y el material que pasa el tamiz IRAM 75 μm , resultan similares entre las combinaciones, incrementándose conforme lo hace el contenido de AFR, debido a la mayor porosidad y, por ende, mayor degradabilidad del mortero adherido que éstos presentan. Es de notar que, no obstante el incremento de estas propiedades, todas las combinaciones evaluadas cumplen con los límites establecidos en el reglamento CIRSOC 201/05.

En cuanto a la pérdida por ataque con sulfato de sodio, si bien los agregados reciclados superan con amplitud el límite establecido en el mencionado reglamento, no necesariamente sucede esto cuando se utilizan en combinación con arena silícea, tal el caso del agregado L, que en sendos porcentajes evaluados cumple con lo establecido en el reglamento CIRSOC 201/05.

Por lo indicado anteriormente, puede concluirse que el empleo de hasta un 40% de AFR en combinación con un agregado natural como el utilizado en este estudio, además de cumplir con los diferentes requisitos establecidos en la normativa nacional, resultaría ventajoso a la hora de elaborar hormigones, ya que se estaría haciendo uso de un material que habitualmente es desechado, obteniéndose beneficios tanto desde el punto de vista económico como ambiental. «



▲ Ing. María Eva Sosa en el laboratorio del LEMIT

Bibliografía

- (1) RILEM (International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures): "Specifications for concrete with Recycled Aggregates", *Materials and Structures*. 27, 557-559. Estados Unidos, 1994.
- (2) BSG: "Use of industrial by-products and waste materials in building engineering", *British Standard Guide*. 6543:1985, Reino Unido.
- (3) *Proposed Recommended Practice for Design and Construction of concrete Structures made using Recycled Aggregates*. Japón, 1998.
- (4) *Guía australiana para la utilización de árido reciclado (RCA) en hormigón*. Australia, 1998.
- (5) Martins, I.; Müller, A.; Di Maio, A.; Forth, J.; Kropp, J.; Ángulo, S.; Vanderley, J.: "Use of fine Fraction", *Rilem State of the ART Report*. 8, 195-227, 2013.
- (6) Zega, C.J.; Sosa, M.E.; Di Maio, A.: "Propiedades de los agregados finos reciclados procedentes de hormigones elaborados con distintos tipos de agregados gruesos naturales", I Congreso Hormigón Premezclado de las Américas 2010. XII Congreso Iberoamericano del Hormigón Premezclado y IV Congreso Internacional de Tecnología del Hormigón, 2010, Mar del Plata, Argentina, pp. 33-38.
- (7) Sánchez de Juan, M.: "Estudio sobre la utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural", Tesis doctoral Escuela Técnica Superior de Caminos Canales y Puertos, España, 2005, p. 514.
- (8) Rodríguez Tovar, G.: "Estudio de morteros de agregado fino reciclado en matrices con cemento Portland y en matrices de escoria de horno alto activada alcalinamente", Tesis de magister, Universidad Politécnica de Cataluña, España, 2011, p. 75.
- (9) Zega, C.J.: "Propiedades físico-mecánicas y durables de hormigones reciclados", Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata, Argentina, 2010, p. 166.