



Por I. Eduardo de J.
Vidaud Quintana

Ingeniero Civil
Maestría en Ingeniería

Su correo electrónico es:
evidaud@mail.imcyc.com

Ingrid N. Vidaud
Quintana

Ingeniero Civil
Doctorado en Ciencias

Su correo electrónico es:
ingrid@fco.uo.edu.cu

Propiedades físico-mecánicas de los concretos reciclados

Una tendencia mundial en la industria de la construcción es la preservación y protección del medioambiente mediante un desarrollo sustentable. Al ser el concreto el material más usado en la industria de la construcción, es evidente que la idea de reciclarlo resulta una importante alternativa para la necesaria viabilidad ecológica.

El empleo de agregados reciclados (Foto 1) para la fabricación de concreto tiene su origen en los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial en Alemania; período en que los escombros provenientes de los bombardeos, se encontraban disponibles en grandes volúmenes en muchas partes de Europa.

Diversos estudios se desarrollan desde distintas geografías en torno a los llamados concretos reciclados; refiriéndose a aquellos constituidos por agregados de materiales reciclados (en sustitución parcial o total de los naturales); es decir, agregados procedentes de residuos o demoliciones constructivas que se someten a procesos de cribado,



Foto 1

Agregado reciclado



triturado y tratamiento para formar parte del nuevo concreto. Estos concretos tienen entonces su principal fuente de recursos en los residuos de construcción y demolición (denominados como RCD en la literatura especializada), procedentes fundamentalmente de demoliciones de edificios y residuos excedentes de materiales de construcción en plantas.

La disponibilidad de estos escombros suele ser considerable. Aunque los datos a nivel global resultan imprecisos; diversas fuentes afirman que hay países (principalmente en Europa) en que estos volúmenes superan anualmente los varios cientos de millones de toneladas. La gestión del reciclado de los agregados en nuevos concretos se ubica entonces como una práctica creciente a nivel mundial, y tiene su principal motivación en la reducción del impacto medioambiental que genera la deposición de estos escombros en los vertederos.

Entre los principales beneficios de esta práctica, no solo se encuentra la solución a la problemática originada por la eliminación de estos subproductos de desecho; sino también que mediante el aprovechamiento de estos residuos se obtiene una nueva materia prima, con lo que además se reduce la cantidad de recursos naturales primarios a extraer. Los agregados reciclados (AR) se manejan en la literatura especializada según su origen en: procedentes de concreto, cerámicos y mixtos. Muchas normativas hoy no permiten el uso de estos dos últimos tipos en concreto estructural, otras admiten el empleo de los cerámicos solo en concretos no estructurales, y otras restringen este uso solo con agregados procedentes de concretos. Si bien es cierto que hoy resultan muy interesantes las expectativas de crecimiento del empleo de estos AR para la fabricación de concreto; también lo es que se han dejado abiertas muchas brechas para el estudio y la investigación acerca del comportamiento de estos concretos sustentables. El origen de los AR, la cantidad de mortero adherido, las características de las plantas de reciclado; así como los procesos de tratamiento que estos agregados reciben son elementos claves en el estudio del desempeño de estos concretos.

En principio, debe tenerse en cuenta que el empleo del AR en la elaboración de concreto; afecta tanto las propiedades mecánicas del material, como aquellas relacionadas con la deformación elástica (módulo de elasticidad) y diferida (retracción y fluencia). En este sentido debe considerarse además la importancia del tamaño máximo del agregado reciclado utilizado; pues diversas investigaciones refieren a que las fracciones más finas son las que más inciden en la reducción de la calidad del concreto. Tampoco debe olvidarse que los desechos de concreto con que se fabrican los AR, se encuentran contaminados con otros materiales que pueden afectar su comportamiento;

✓ Figura 1

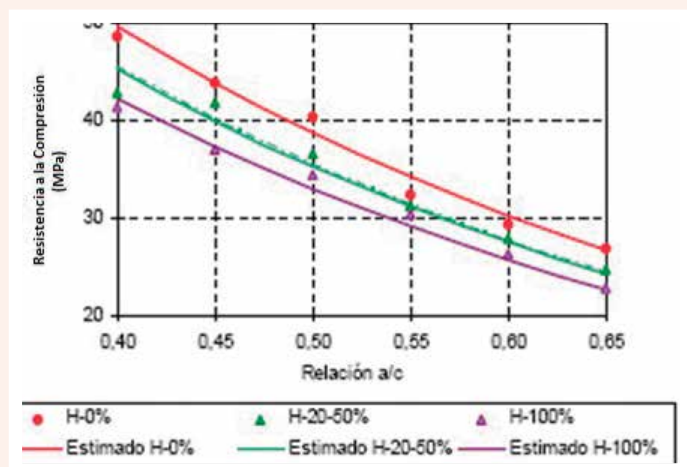


Gráfico que muestra la relación resistencia media a compresión y relación a/c total, según curva de Abrams en concreto reciclado respecto al convencional.

considerando además la cantidad relevante de mortero adherido que tienen las partículas de AR y que igualmente van en detrimento de un adecuado desempeño del material. A partir de los aspectos antes señalados puede entenderse la significación que tiene el estudio del empleo de AR en la fabricación de concreto; razón que motiva este escrito, en el que se hará especial énfasis en la incidencia del AR en el comportamiento mecánico (resistencia a la compresión) y la deformación elástica (módulo de elasticidad) del concreto reciclado.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO RECICLADO

Los especialistas coinciden en sentido general en que se manifiesta una reducción de la resistencia a compresión en concretos en los que el agregado natural (AN) ha sido sustituido por AR, para la misma relación agua/cemento (a/c) y en comparación con los concretos convencionales.

Se explica en la literatura que los valores de resistencia a la compresión disminuyen; en la misma medida en que se aumenta el porcentaje de sustitución de AN por AR (Fig.1); hecho que se presenta mucho más acentuado si se utiliza arena reciclada; o sea, si se emplea agregado fino también reciclado en la mezcla.

Diversas investigaciones en este campo, han evidenciado que debido a las considerables pérdidas de propiedades mecánicas que provoca la sustitución del agregado fino natural por fino reciclado; el empleo de concretos reciclados debe considerarse solo a partir de la sustitución del agregado grueso. Por otra parte otros estudios han demostrado que la presencia de finos menores que $63 \mu\text{m}$, inducen al aumento de la demanda de agua, lo que se refleja en una moderada caída de la resistencia; también se constata un aumento en la compacidad de las mezclas y una consecuente disminución en la absorción de agua por parte del concreto ya endurecido. En estas mezclas se aprecia además que la compacidad y la porosidad conectadas disminuyen con la presencia de finos, lo que podría compensar de alguna manera la caída de resistencia.

En general estudios consultados coinciden en que las pérdidas de resistencia, cuando se sustituye el 100% del agregado grueso, suelen encontrarse en el orden del 20%, pudiendo llegar a alcanzar en ocasiones el 30%. Asimismo, cuando la sustitución es menor al 50%, las pérdidas de resistencia se sitúan entre 2-15%; llegando a exhibirse pérdidas de resistencia inferiores al 5%, cuando la sustitución de AN por AR se limita entre 20 y 30%. Las causas que provocan esta disminución de resistencia son debido a la menor resistencia mecánica del AR, a la mayor absorción y porosidad, y al aumento de zonas débiles en el concreto.

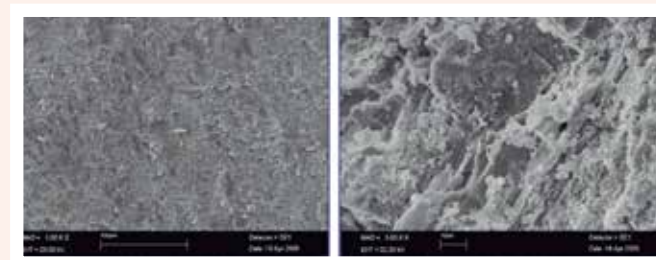


Foto 2

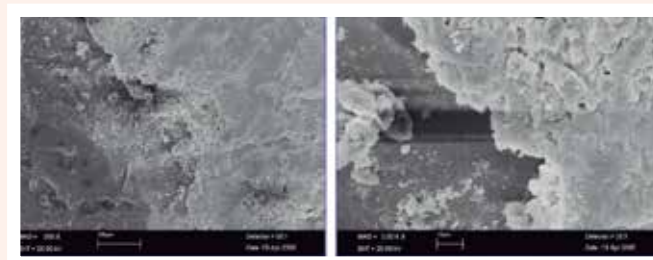


Foto 3

ITZ entre agregado grueso granítico y pasta cementicia.



Fuente: Kou S. (2006).



Fuente: Kou S. (2006).

CON INNOVACIONES TECNOLÓGICAS PARA
OPTIMIZAR CALIDAD Y COSTOS
CONSTRUIMOS CONFIANZA



Línea Sika® ViscoFlow®

Súper-plastificantes de alto desempeño para concreto.

Prolongan y controlan la trabajabilidad de la mezcla por varias horas sin retardo adicional.

Aseguran la consistencia y colocación óptimas aún en climas cálidos y tiempos largos de transporte.

Retienen el revenimiento sin afectar el desarrollo de resistencias iniciales y finales.

 Sika Mexicana  @Sika_Mexicana

01 800 123 74 52
www.sika.com.mx

CONSTRUYENDO CONFIANZA



Como bien es conocido, además de la unión pasta-agregado que presenta el AR, aparece otra zona de contacto estudiada a nivel microscópico entre la pasta del AR y la pasta nueva (ITZ, Interfacial Transition Zone).

Varios investigadores han demostrado que la ITZ (Foto 2 y 3) influye de forma significativa en las propiedades del concreto, al tratarse de la zona más débil del conjunto y precisamente la que determina la resistencia del material. En estudios del concreto elaborado con AR, se ha demostrado que hay una fuerte relación entre la ITZ y la a/c. Con una elevada a/c, la nueva ITZ será más débil que la antigua (del concreto original), y la resistencia del AR será igual que la del AN. En cambio, con una baja a/c, la nueva ITZ será más resistente que la antigua, y eso hace que la resistencia del AR sea significativamente más baja que la del AN.

La afirmación de que la resistencia de los concretos convencionales aumenta con la disminución de la a/c, no podría ser aplicada "a priori" en el caso de los concretos reciclados. En estos la resistencia también depende de la calidad del AR utilizado. Siguiendo esta idea, a partir de un AR de baja calidad (concreto que de origen fue de baja resistencia) se obtendrá un concreto reciclado con un nivel de resistencia que no podrá ser superado aunque se disminuya la a/c; sin embargo, si el AR es de alta calidad (concreto de origen de buena resistencia y buen estado), los concretos reciclados resultantes pueden alcanzar resistencias cuya correspondencia con la a/c es similar a la de los concretos convencionales.

Igualmente se ha demostrado que en el caso de los concretos con una relación a/c baja, la presaturación de los agregados (previa al mezclado) es beneficiosa para el aumento de la resistencia a compresión. Este efecto se torna más significativo cuanto mayor sea el porcentaje de sustitución de AR. La relación a/c efectiva real disminuye a medida que se aumenta el por ciento

de AR, porque estos absorben más cantidad de agua; de la misma manera en que al disminuir el porcentaje de AN también disminuye la cantidad de agua superficial, lo que a la larga mejora las prestaciones del concreto. Algunos investigadores refieren al hecho de que el efecto perjudicial de la baja calidad del AR respecto al AN se puede ver compensado con el efecto favorable de la menor relación a/c efectiva que provoca la mayor absorción del AR.

MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO RECICLADO

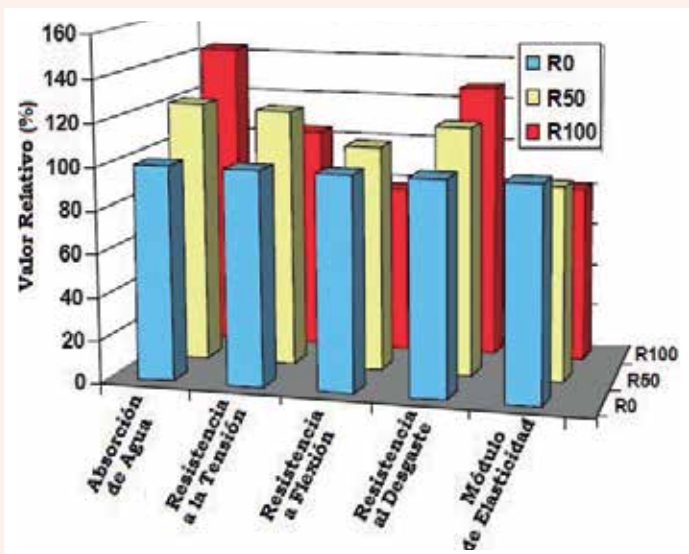
Por otra parte, el módulo de elasticidad es una de las propiedades del concreto reciclado que en mayor medida se ve afectada. Investigaciones desarrolladas previamente han demostrado que debido al mortero adherido (cuyo módulo de elasticidad es menor), el módulo de elasticidad de los concretos reciclados es inferior al correspondiente a los concretos elaborados íntegramente con agregados naturales. Muchas de estas investigaciones coinciden en que sustituciones de hasta el 20% tienen poca influencia sobre el desarrollo del módulo de elasticidad; a diferencia de cuando se realizan sustituciones del 25%, en las que el módulo se ve reducido en un 15% aproximadamente, con



Figura 2

Gráfico que muestra la variación relativa del concreto elaborado sin agregado reciclado (R0), con una combinación de agregados naturales y reciclados (R50) y sin agregados naturales (R100).

Fuente: Adaptado de Malešev M., et al. (2010).



respecto a lo que se tendría en un concreto convencional con la misma dosificación.

Para sustituciones del 50 y 100%, los descensos se sitúan en torno al 20 y el 40%, respectivamente. Es válido considerar que cuando se sustituyen también las fracciones finas, las disminuciones del módulo son muy superiores; pudiendo alcanzar hasta el 80%. En la figura 2 puede apreciarse la tendencia relativa de desarrollo de algunas propiedades en el concreto, cuando se consideran diferentes porcentajes de sustitución del AN por AR. Tal y como se aprecia en la figura, a medida que la sustitución es mayor, menor será la magnitud del módulo de elasticidad; como una consecuencia del menor módulo de elasticidad del AR, respecto a la de los AN.

Es importante aclarar, en lo que respecta a la resistencia a la tensión y a la flexión, que es aplicable también el comentario emitido anteriormente, de que la calidad del agregado grueso original que se tiene en el AR, es muy influyente en la magnitud que pueda tener el concreto elaborado con AR; o sea, que si se trata de un AR compuesto por AN de mala calidad, entonces se tendrán magnitudes de resistencia a tensión y a la flexión más bajas, que si se hubieran tenido originalmente AN de buena calidad.

Respecto a la resistencia al desgaste del concreto, refieren investigaciones previas, que ésta disminuye con el aumento del contenido de AR; debido a la mayor cantidad de pasta de cemento endurecida, que en condiciones normales, tiende a proteger mejor las partículas de AN que componen la mezcla. En general y a partir de disímiles estudios que se han realizado, se han establecido algunas limitaciones al campo de aplicación de los concretos reciclados. Algunas de estas limitaciones están asociadas a niveles de resistencia a la compresión limitados, a la proscripción del empleo de AR provenientes de concretos especiales (ligeros, con fibras, con cemento aluminoso), a la limitación en la calidad del concreto original del que se extrae el AR, al tamaño mínimo de la fracción gruesa mayor a 4.0 mm, a la sustitución del AN por AR no mayor a 20%, y a los controles sistemáticos y rigurosos para el caso de concretos que se someterán a ambientes agresivos.

Todas estas limitaciones están encaminadas en general a la garantía de que el concreto reciclado utilizado, no difiera sustancialmente de las propiedades del concreto convencional; dejando muy poco margen de error a la aplicación exitosa de este material; que por nada dejaría de ser otra alternativa sustentable para la industria de la construcción actual. **C**

REFERENCIAS:

- Alaejos P., "Recomendaciones para la utilización de áridos reciclados en concreto estructural", CEDEX, España.
- <http://www1.camino.upm.es/estructuras/files/estructuras/articulo%20hormigon%20reciclado.pdf>
- Alaejos P., Sánchez M., Dapena E., Vázquez E., Barra M, Etxeberria M., Mari A., Agullo L., Marínez F., Fonteboá B., Polanco A., Francisco G., Aleza F., Parra J., Buron M., "Draft of Spanish regulations for the use of recycled aggregate in the production of structural concrete", International RILEM Conference on the use of recycled materials in buildings and structures, Barcelona, pp. 511-525, 2004.
- Gupta Arundeb, Mandal Saroj, Ghosh Somnath, "Direct compressive strength and Elastic modulus of recycled aggregate concrete", International Journal of Civil and Structural Engineering, Volume 2, No 1, 2011.
- Hanoun Robas A. (----), "Influencia de la variación de las propiedades del árido reciclado en el hormigón endurecido".
- <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/8508/00.pdf?sequence=1>
- Kou S., "Reusing Recycled Aggregates in Structural Concrete", PhD Thesis, Polytechnic Hong Kong, 2006.
- Malešev M., Radonjanin V and Marinković S. "Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production", Sustainability 2010, 2(5), 1204-1225. ISSN 2071-1050.
- Nobuaki Otsuki, "Influence of Recycled Aggregate on Interfacial Transition Zone, Strength, Chloride Penetration and Carbonation of Concrete", Journal of materials in civil engineering, 10.1061/ASCE 0899-1561, 15:5 443-451, 2003.
- Pérez Benedicto J. A., del Río Merino M., Peralta Canudo J. M., de la Rosa La Mata M., "Características mecánicas de concretos con áridos reciclados procedentes de los rechazos en prefabricación", Materiales de Construcción, Vol. 62, No. 305, pág. 25-37, 2012. ISSN: 0465-2746.
- Sánchez de Juan M., "Áridos reciclados para aplicaciones de hormigón no estructural", CEDEX, España, 2010.