

## HORMIGONES RECICLADOS: EVALUACION MEDIANTE METODOS VIBRACIONALES

Zega, Claudio J.<sup>1</sup>

### RESUMEN

En este trabajo se hace referencia al comportamiento que presentan los hormigones reciclados, obtenidos mediante el reemplazo de parte del agregado grueso natural por agregado producto de la trituración de hormigones, frente a dos ensayos no destructivos como el ultrasonido y el de frecuencia de resonancia. Se estudiaron hormigones de diferentes niveles de resistencia en los que se utilizó un 75% en volumen de agregado reciclado, los que fueron evaluados comparativamente con hormigones elaborados con agregados naturales de similares características tecnológicas.

### INTRODUCCION

Los desechos producto de la construcción, reparación y/o demolición de estructuras civiles constituyen un amplio porcentaje del total de los residuos generados y, sin embargo, han sido siempre considerados de menor importancia frente a otros como los domiciliarios, quizás por ser inertes y, por lo tanto, fácilmente eliminables al no requerir de un tratamiento previo (1).

La industria de la construcción puede contribuir en gran medida a la conservación y mantenimiento del medio ambiente y al desarrollo sostenible a través de la reutilización de los desechos que ella misma genera, tal como lo ha hecho en sus comienzos, donde los restos de anteriores construcciones, siempre que reunieran los requisitos mínimos acorde con la utilización que se le pretendía dar, eran incorporados en las nuevas obras.

La construcción y demolición forman parte de un mismo ciclo que debe tender a cerrarse, reduciendo al mínimo los impactos ambiental, energético, económico y social. La disminución de las materias primas para uso como agregados, el descenso en el consumo energético, asociado a los procesos de producción y eliminación de los residuos de demolición, y la atenuación de los impactos ambientales que producen los sitios de depósito, son todos factores que se encuentran interrelacionados. Por ello, la toma de decisiones tendientes a reducir los efectos de uno de ellos, deben conducir también a la disminución de los demás factores (2).

En los países desarrollados, el incremento en los costos de deposición y la escasez de recursos naturales para la obtención de agregados han conducido a que el uso de los desechos de construcción, como una fuente de agregados para la producción de nuevos hormigones, se convirtiera en algo usual durante los últimos años (3).

---

<sup>1</sup> Becario CIC-LEMIT.  
Director: A. A. Di Maio – (Investigador CONICET-LEMIT)

claudiozega@hotmail.com

En países menos desarrollados, al no existir un control sobre la disposición de los mencionados desechos y la disponibilidad de recursos naturales, hacen que el interés por el empleo de material reciclado sea mínimo. A pesar de ello, esta situación está cambiando poco a poco debido a que se está promoviendo el reciclaje de escombros por motivos más bien económicos (1).

Por lo antes expuesto es que, el reciclado de desechos de construcción y demolición adquiere una doble atracción, presentando por un lado ventajas medioambientales al preservar los recursos naturales y disminuir las cantidades que se depositan, y por otro beneficios económicos al disminuir los costos de obtención y transporte, ya que la energía requerida para su trituración es menor.

Desde hace unas décadas, en Europa, Japón y Norteamérica se vienen realizando estudios e investigaciones sobre el reciclado de los desechos de construcción para su implementación como agregados gruesos en la elaboración de nuevos hormigones, existiendo actualmente, en algunos países como Alemania, Países Bajos y Dinamarca entre otros, reglamentaciones que establecen la utilización de dicho material reciclado como reemplazo de un determinado porcentaje del agregado grueso natural en la elaboración de nuevos hormigones.

Según la normativa alemana, en principio y como condición necesaria, los hormigones elaborados con agregados reciclados procedentes de la trituración de hormigones, deberán cumplir con los mismos requisitos que se exigen a un hormigón convencional, elaborado con agregados naturales de densidad normal (4).

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en evaluaciones realizadas mediante ensayos no destructivos (END) como el método ultrasónico y el de frecuencia de resonancia, sobre hormigones en los que se reemplazó un 75% del volumen del agregado grueso natural por agregado grueso reciclado, los que se comparan con hormigones elaborados con agregados naturales de similares características.

## EXPERIENCIAS

Se estudiaron hormigones de tres niveles resistentes diferentes (razones agua-cemento: 0.40, 0.50 y 0.60). Se elaboraron un total de 20 hormigones en los cuales se reemplazó un 75% en volumen del agregado grueso natural por agregado grueso reciclado (HR-75) y 6 hormigones elaborados con agregados naturales (HN), con el fin de comparar distintas propiedades de los mismos mediante END.

El porcentaje de reemplazo del agregado grueso natural por el reciclado resultó como conclusión de trabajos previos (5), en el cual se encontró que para porcentajes de reemplazo iguales o inferiores al 75%, los hormigones elaborados con agregados reciclados tenían idéntico comportamiento que los hormigones en los cuales se empleó solamente agregado natural, pudiéndose considerar que el porcentaje adoptado resulta el máximo para el cual los hormigones de agregados reciclados se comportan de forma similar a los hormigones elaborados con agregado natural.

En todos los hormigones se empleó como agregado grueso natural piedra partida granítica de dos fracciones (6 – 20 mm y 10 - 30 mm) de manera de mantener la misma

distribución granulométrica obtenida en los agregados reciclados. Por consiguiente, la diferencia más relevante entre los hormigones elaborados radica en el empleo de agregado grueso reciclado en reemplazo de un determinado porcentaje de agregado grueso natural. El tamaño máximo empleado en ambos casos fue de 25.4 mm. Además, se utilizó una arena silícea natural y un cemento Pórtland compuesto. Las proporciones de los materiales se mantuvo invariable en todos los hormigones elaborados.

Los agregados reciclados se obtuvieron mediante la trituración de hormigones de desecho de diferentes características tecnológicas. A pesar de ello, las granulometrías de dichos agregados se mantuvieron prácticamente constantes (6).

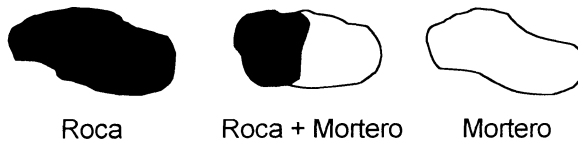


Figura 1. Características visuales de los agregados reciclados.

Como puede observarse en la Fig. 1, el material reciclado está compuesto por tres tipologías diferentes de partículas: las constituidas enteramente por roca original, otras en las cuales el agregado natural lleva adherido parte del mortero del hormigón original, y finalmente partículas formadas totalmente de ese viejo mortero, presentando cada una de estas fases (roca y mortero) distintas propiedades que hacen del agregado reciclado un material heterogéneo, donde la porosidad constituye su principal característica, hecho que produce variaciones en otras propiedades como la densidad, la capacidad de absorción de agua, la resistencia, la dureza, el módulo de elasticidad y la durabilidad (2).

En la Tabla 1 se indican algunas propiedades de los agregados gruesos naturales y reciclados utilizados como la densidad en estado saturado y superficie seca (D<sub>ss</sub>), absorción de agua en 24 horas (Ab), tamaño máximo (TM) y desgaste "Los Angeles" (DLA). Se debe mencionar que los valores del agregado reciclado corresponden al promedio de 12 determinaciones, indicándose también los valores máximos y mínimos hallados.

Las diferencias observadas en las propiedades de los agregados reciclados respecto a los agregados naturales se deben fundamentalmente a las características propias de las partículas que forman parte de los primeros.

Tabla 1. Propiedades de los agregados gruesos.

Propiedades	Agregado grueso reciclado (máx / mín)	Agregado grueso natural	
		6-20	10-30
D <sub>ss</sub> (kg/dm <sup>3</sup> )	2.46 (2.48 / 2.43)	2.65	2.70
Ab. 24 hs (%)	4.6 (5.5 / 3.9)	0.4	0.3
TM (mm)	25.4	19.0	25.4
DLA (%)	38.2 (40.5 / 34.8)	28.0	25.0

## Hormigones

### Estado fresco

Para la elaboración de los hormigones HN y HR-75, los agregados gruesos (reciclados y naturales) fueron saturados durante 24 horas antes de su empleo. Este hecho condujo a que fundamentalmente los agregados reciclados no produjeran modificaciones en la demanda de agua, lo cual llevó a que los valores de asentamiento medidos con el cono de Abrams resultaran similares en todos los hormigones.

El peso de la unidad de volumen (PUV) determinado en estado fresco en los hormigones HR-75 fue del orden del 3% menor que el de los hormigones HN. Esto se atribuye a que los agregados reciclados presentan mortero adherido a las partículas de roca natural, lo cual lleva a que su densidad sea menor que la de los agregados naturales.

Con los hormigones elaborados se moldearon probetas cilíndricas (150 x 300 mm) sobre las que se determinó la resistencia a compresión, el tiempo de pasaje de la onda ultrasónica y la frecuencia de resonancia a la edad de 28 días, tiempo durante el cual se mantuvieron en cámara húmeda (T:  $20 \pm 2$  °C; HR: 95%).

### Estado endurecido

En la Fig. 2 se presentan los resultados promedio de las resistencias a compresión ( $f_c$ ) de los hormigones en estudio. Como puede observarse, para las distintas razones agua-cemento evaluadas, los hormigones HR-75 presentan niveles resistentes similares a los hormigones HN.

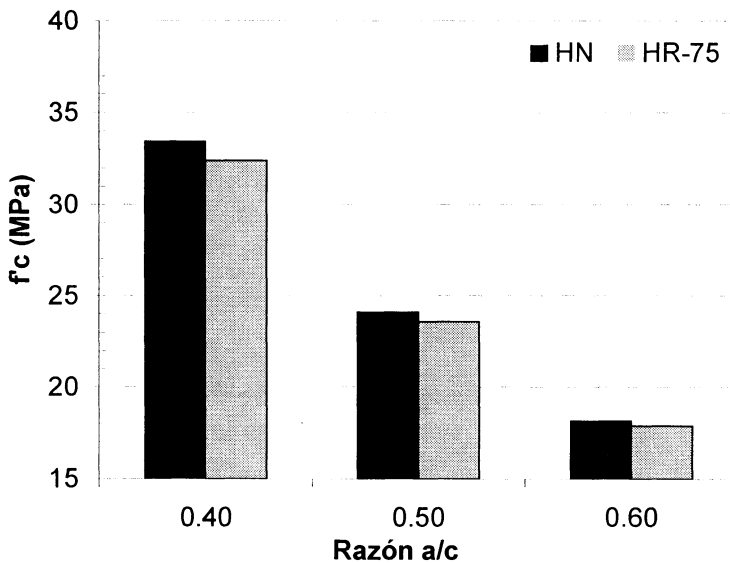


Figura 2. Relación entre la razón a/c y la resistencia a compresión.

La determinación del tiempo de pasaje de la onda ultrasónica se realizó mediante el empleo de un equipo ultrasónico digital portátil con una frecuencia de 54 kHz y una precisión de lectura de 0.1  $\mu$ s.

En la Fig. 3 se presentan las velocidades ultrasónicas promedio correspondientes a ambos tipos de hormigones, pudiéndose observar que, para las distintas razones agua-cemento evaluadas, las velocidades ultrasónicas en los hormigones HN son superiores a la de los HR-75, lo cual está directamente relacionado con la menor densidad que presentan estos últimos, hecho que se hace más notorio con el aumento de la razón agua-cemento.

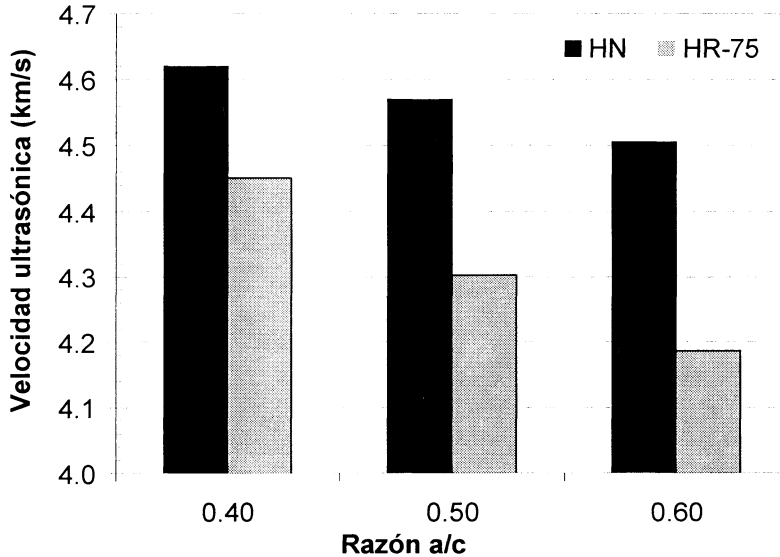


Figura 3. Relación entre la razón a/c y la velocidad ultrasónica.

En la Fig. 4 se presentan los resultados promedio de los módulos de elasticidad dinámico obtenidos mediante el método de frecuencia de resonancia, en donde se utilizó un equipo electrónico con un rango de frecuencia que oscila entre 10 kHz y 100 kHz. Se puede observar que, del mismo modo que lo que sucede con la velocidad ultrasónica, el módulo de elasticidad dinámico es menor en el hormigón HR-75 que en el hormigón HN, hecho que también debe ser atribuido a la menor densidad de los agregados reciclados, aunque en este caso las diferencias son menores.

En la Fig. 5 se indican las correlaciones determinadas, considerando los valores promedios, entre la resistencia a compresión y la velocidad ultrasónica correspondientes a los hormigones evaluados. Como puede notarse, existe una marcada diferencia entre ambos tipos de hormigones, hecho que está directamente relacionado con las diferencias de velocidades existentes entre los mismos para similares valores de resistencia a compresión.

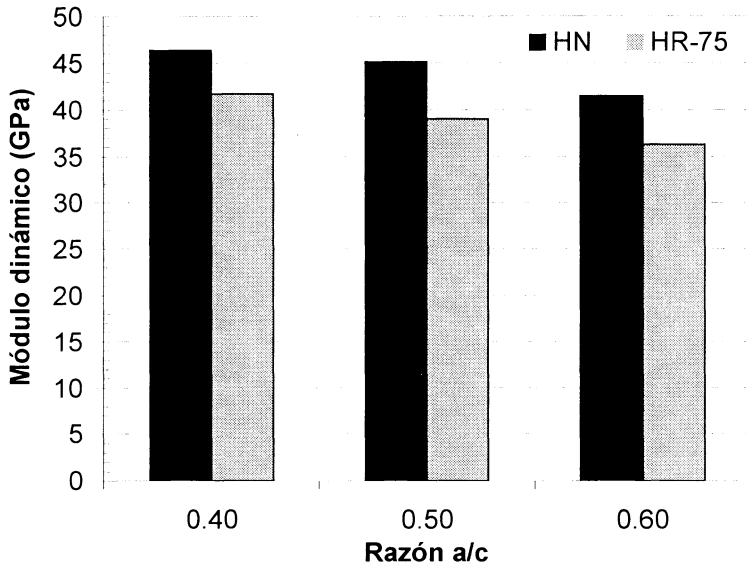


Figura 4. Relación entre la razón a/c y el módulo de elasticidad dinámico.

Esta diferencia de comportamiento entre ambos tipos de hormigones es cada vez mayor a medida que el porcentaje de material reciclado empleado aumenta (5), con lo cual, si se pretende estimar mediante el método ultrasónico la resistencia a compresión de un hormigón elaborado con agregados reciclados, se deberá conocer previamente la cantidad de material reciclado que contiene y las características del mismo.

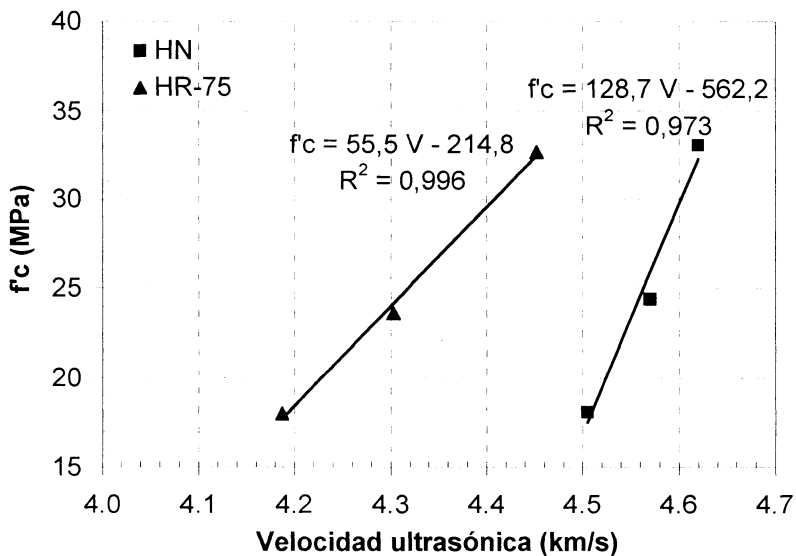


Figura 5. Relación entre la resistencia a compresión y la velocidad ultrasónica.

## CONCLUSIONES

De los estudios realizados mediante el método ultrasónico y el de frecuencia de resonancia sobre hormigones elaborados con agregados reciclados y con agregados naturales de similares características, surge que:

- Se verifica que las resistencias a compresión de los hormigones elaborados con un 75% de agregado grueso reciclado son similares a las obtenidas en los hormigones elaborados con agregados naturales.
- Para valores de resistencia similares, las velocidades ultrasónicas y los módulos de elasticidad dinámico de los hormigones elaborados con agregados reciclados son menores que los obtenidos en los hormigones donde se utilizó solamente agregado natural, hecho que está directamente relacionado con la menor densidad que presentan los primeros.
- Los hormigones reciclados al igual que los elaborados con agregados naturales presentan una muy buena correlación entre la resistencia a compresión y la velocidad ultrasónica. Sin embargo, se evidencia una significativa diferenciación entre ambas curvas, hecho que está directamente relacionado con la disminución de velocidades en los hormigones reciclados.

## REFERENCIAS

- (1) [http://www.ambientum.com/revista/2003\\_03/ESCOMBROS](http://www.ambientum.com/revista/2003_03/ESCOMBROS).
- (2) Vázquez, E. y Barra, M., "Reciclaje y reutilización del hormigón", Monografía CIMNE: Desarrollo sostenible del cemento y del hormigón, N° 67, 2002, pp. 43-65.
- (3) Katz, A., "Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete", Cement and Concrete Research, N° 33, 2003, pp. 703-711.
- (4) Grübl, P. and Rühl, M. "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, 1998.
- (5) Di Maio, A.A., Giaccio, G. y Zerbino, R., "Hormigones con agregados reciclados", Ciencia y Tecnología del Hormigón, N° 9, 2002, pp. 5-10.
- (6) Zega, C.J. y Di Maio, A.A., "Influencia de las características de los agregados reciclados en la elaboración de hormigones", Aceptado para publicación en la XV Reunión Técnica y Seminario de Hormigones Especiales de la AATH, Santa Fé, 2003.

