

Influencia de agregados reciclados provenientes de (RCD) en hormigón

Gustavo S. Bossini¹; Martín G. Nuñez Cáceres²; Hugo D. Anaya³

(1) *Laboratorio de Ensayo de Materiales. Facultad de ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán*
gsbossini07@hotmail.com

(2) *Laboratorio de Ensayo de Materiales. Facultad de ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán*
vigust@hotmail.com

(3) *Departamento de Construcciones y Obras Civiles. Laboratorio de Ensayo de Materiales. Facultad de ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán.*
danaya@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

Debido al gran impacto que toda obra de ingeniería provoca al medio ambiente, desde hace un tiempo y a nivel mundial existe la conciencia y el concepto de volver a la Ingeniería sostenible o sustentable pues, la menor disponibilidad de recursos naturales y las necesidades crecientes de materia prima para esta industria y fundamentalmente los problemas ambientales originados por los depósitos de residuos de construcción y demolición, han llevado a tratar de usar estos últimos como agregados en la elaboración de nuevos hormigones.

Los agregados reciclados, obtenidos de la trituración de hormigones de desecho, presentan características diferentes a las de un agregado natural por la presencia de mortero que proviene del hormigón original, lo que puede provocar modificaciones en sus propiedades, principalmente la capacidad de absorción de agua. También pueden producir modificaciones en las mezclas tanto en estado fresco como endurecido.

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados obtenidos en hormigones elaborados con 25, 50, 75 y 100% de reemplazo del agregado grueso natural por agregado grueso reciclado proveniente de la trituración de un hormigón de pavimento elaborado con canto rodado, evaluando la influencia de su uso en estado fresco, y en estado endurecido, la resistencia y durabilidad, obteniendo resultado satisfactorios.

INTRODUCCIÓN

La tendencia actual en el rubro de la construcción, apunta al cuidado del medio ambiente y al desarrollo sostenible de la energía y los materiales utilizados, reduciendo los impactos ambientales en la construcción y a la reutilización de materiales provenientes de demolición o aquellos que se encuentran fuera de servicio o cumplieron con su vida útil.

El impacto ambiental se produce en la extracción de las materias primas, su procesamiento, transporte, construcción, y uso. Luego de su vida

útil, se procede a su demolición, transporte y deposición. Todo esto implica un gasto de energía y el deterioro del medio ambiente, por lo que la recuperación, reutilización y, reciclado de residuos de construcción y demolición (RCD) es un procedimiento reconocido para revertir esta situación.

El Hormigón Reciclado es un hormigón en el cual se reemplaza en diferentes porcentajes el agregado grueso natural por el hormigón triturado de pavimentos o demoliciones de estructuras. Este agregado triturado tiene mayor superficie

específica, y contiene restos de mortero adherido por lo que sus propiedades físicas como peso unitario, densidad, absorción, elongación, lajosidad, y resistencia al desgaste, se modifican.

En este trabajo se buscó analizar la influencia del uso de los agregados triturados provenientes de los RCD en un hormigón de uso convencional. Se partió de un hormigón patrón (HP) elaborado con canto rodado natural, con una granulometría y relación agua-cemento definida, de uso corriente por las empresas del medio para la pavimentación de calles, las cuales no se modificaron en la obtención del hormigón reciclado (HR), de manera de poder realizar una comparación directa entre ambos.

Los HR se elaboraron con diferentes porcentajes de agregado triturado reciclado en reemplazo del agregado natural: 25, 50, 75, y 100%. Se evaluó su capacidad de resistencia a la compresión, tracción por compresión diametral, módulo de elasticidad estático y durabilidad, ya que los pavimentos rígidos durante su vida útil se encuentran expuestos a las acciones climáticas ambientales; y también a cargas debidas al tránsito vehicular.

De esta manera, se procedió al triturado de un pavimento que se extrajo de una boca calle que se encontraba deteriorada ubicada en la intersección de calles (Crisóstomo Álvarez y Ayacucho) de la ciudad de San Miguel de Tucumán.

En la elaboración de los hormigones se trabajó con el material triturado en el estado en que se encontraba, a superficie seca. Los hormigones con porcentajes altos de triturado absorbieron agua en el amasado generándose hormigones con asentamientos bajos, por lo que en el llenado de las probetas se compactó con vibrador.

OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es estudiar la influencia de los RCD en los hormigones convencionales y determinar el comportamiento del hormigón reciclado.

Para ello es necesario estudiar los siguientes aspectos:

- Las propiedades físicas del agregado grueso natural.
- Las propiedades físicas del agregado grueso reciclado.
- Las propiedades en estado fresco y endurecido del hormigón patrón y de los hormigones reciclados para distintos porcentajes de agregado grueso reciclado.

1.- Materiales empleados

1.1 Agregados

Para el hormigón patrón se usaron agregados provenientes de la cuenca del Río Sali – Dulce. El agregado grueso, un canto rodado y como agregado fino una arena mediana con módulo de fineza $M_f = 3,2$

Para los hormigones reciclados se usaron agregados provenientes de la trituración de la demolición de un pavimento como reemplazo de parte del agregado grueso natural y como agregado fino la misma arena del hormigón patrón

1.2 Cemento Pórtland

En todos los casos se uso un cemento Pórtland Normal CPN40

2.- Metodología

Se elaboraron, un hormigón convencional de relación agua/cemento 0.51, como hormigón patrón(HP), con agregados procedentes del Río Salí, luego se procedió a la trituración de hormigones de demolición, obteniéndose así el agregado grueso reciclado, los que presentaron unas superficies angulosas y textura áspera. Con estos agregados se elaboraron hormigones reciclados (HR), de igual razón a/c que el hormigón patrón, reemplazando el agregado grueso natural en diferentes porcentajes de 25%, 50%, 75% y 100% por el reciclado. Se estudiaron las propiedades en estado fresco y endurecido evaluando los parámetros de resistencia y de durabilidad.

2.1 Propiedades físico de los agregados

Se evaluaron las propiedades físico-mecánicas de los agregados gruesos, natural y reciclado, tales como: la granulometría, el tamaño máximo (TM), peso unitario en estado saturado y superficie seca (D_{ss}), absorción de agua en 24 hs (A) y desgaste “Los Ángeles” (DLA). Los resultados se presentan en Tabla 1.

Propiedades	Canto rodado natural	Agregado grueso reciclado
TM (mm)	1''	1''
D _{ss} (kg./dm ³)	2,59	2,44
A % (24 hs)	0,2	6,3
DLA (%)	21	33

Tabla 1. Propiedades de los agregados gruesos

Se Puede observar que el agregado reciclado presenta un menor peso unitario que el canto rodado natural y una mayor absorción de agua y pérdida de peso por abrasión. Este comportamiento de los agregados reciclados está directamente relacionado con la presencia de mortero como parte constituyente de los mismos, ya sea adherido al agregado natural o bien formando partículas por sí sólo, el hormigón de

procedencia también influye en la calidad y propiedades del agregado reciclado.

Con estos agregados se procedió a hacer el hormigón patrón y los hormigones reciclados.

En la tabla 2 se presentan las proporciones de las mezclas elaboradas y sus propiedades en estado fresco como asentamiento medido con el cono de Abrams, Peso Unitario (P.U.) y contenido de aire naturalmente incorporado.

Materiales	Hormigones				
	HP	H 25%R	H 50%R	H 75%R	H 100%R
Agua (litros)	165	165			
Cemento (kg)	325	325			
a/c	0,51	0,51			
Arena Natural (kg)	741	741			
Agregado Grueso Natural (kg)	1169	876,8	584,48	292,24	-----
Agregado Grueso Reciclado (Kg)	-----	292,54	584,48	876,8	1169
Asentamiento (cm)	8	3,5	1,5	1,5	1
P.U. (Kg / m ³)	2415	2401	2358	2358	2322
Contenido de Aire (%)	2,8	2,5	2	2,2	3

Tabla 2. Proporciones de las mezclas (kg/m³) y propiedades en estado fresco

Se puede observar que la mezcla HP presenta un asentamiento superior al de las mezclas HR, el cual decrece a medida que se incrementa el porcentaje de agregado reciclado utilizado. Este hecho es atribuido fundamentalmente a la forma y textura de los agregados reciclados y a la mayor absorción al agua que poseen. También, se observa una disminución del P.U. de los HR a medida que se incrementa el porcentaje de agregado reciclado utilizado, debido al menor peso unitario que poseen dichos agregados. En cuanto al aire naturalmente incorporado, no se aprecian diferencias importantes.

Con cada una de las mezclas elaboradas se moldearon probetas cilíndricas de 15cm de diámetro y 30 cm de altura. Estas fueron desmoldadas a las 24 hs y colocadas en cámara

húmeda (T: 20 ± 2°C; HR: 95%) hasta la edad de ensayo (7 y 28 días).

Para la caracterización físico-mecánica de los hormigones se realizaron ensayos resistencia, a compresión y a tracción por compresión diametral y de durabilidad (absorción de agua, penetración de agua a presión, succión capilar)

2.2 Propiedades en estado endurecido

2.2.1 Absorción y densidad

En la tabla 3 se presentan los resultados de absorción de agua en 24 hs (Ab) y densidad seca (Ds), determinados para el HP y HR, como así también los valores relativos de cada uno de ellos respecto al HP.

Hormigón	Absorción Ab(%)	Absorción Relativa Abr (%)	Densidad Seca DS (Kg/dm ³)	DS Relativa (%)
HP	3,49	100,0	2,35	100,0
H25%R	3,50	100,4	2,33	99,1
H50%R	3,53	101,2	2,30	98,0
H75%R	3,56	102,0	2,29	97,7
H100%R	3,95	113,3	2,28	97,3

Tabla 3. Propiedades físicas de los hormigones HC y HR

Puede observarse que a medida que se incrementa el porcentaje de agregado grueso reciclado

empleado, se produce una gradual modificación de los parámetros evaluados, hecho que está

fuertemente ligado a las características del agregado reciclado.

2.2.2 Resistencia a compresión, tracción indirecta y módulo de elasticidad estático

Los valores de resistencia a compresión y tracción por compresión diametral, determinados sobre muestras cilíndricas de 15x30 cm a la edad de 7 y 28 días, y el módulo de elasticidad estático se presentan en las siguientes tablas:

Hormigones	Diámetro [cm]	Edad [días]	Resistencia [MPa]	Edad [días]	Resistencia [MPa]
HP	15	7	23,7	28	36,6
H 25%R	15	7	26,1	28	33,8
H 50%R	15	7	29,4	28	37,8
H 75%R	15	7	32,8	28	37,3
H 100%R	15	7	28,9	28	36,7

Tabla 4. Resistencia a compresión de los hormigones HP y HR

Hormigones	Diámetro [cm]	Edad [días]	Resistencia [MPa]	Edad [días]	Resistencia [MPa]
HP	15	7	11,8	28	13,0
H 25%R	15	7	12,1	28	12,9
H 50%R	15	7	13,5	28	15,4
H 75%R	15	7	13,7	28	14,1
H 100%R	15	7	14	28	16,7

Tabla 5. Resistencia a tracción indirecta de los hormigones HP y HR

Al analizar los resultados se ve claramente que los hormigones reciclados, presentan a 28 días un comportamiento en compresión similar al del hormigón convencional patrón; mientras que a 7 días el HR supera al HP.

En este caso, el comportamiento mostrado por los hormigones en estudio puede ser atribuido a una interacción inversa entre la resistencia y la rugosidad superficial de los agregados, ya que, para el hormigón HP se tiene un agregado de buena calidad pero de baja adherencia, mientras

que en los HR al incrementarse el porcentaje de agregado reciclado se produce una disminución de la calidad del material pero se mejora la adherencia agregado-mortero, verificándose que hasta un porcentaje de reemplazo del 100% la adherencia del agregado reciclado tendría una mayor influencia sobre la resistencia del hormigón que la calidad de dicho agregado. De igual modo las resistencias a tracción de los HR son siempre mayores que las del HP para todas las edades y porcentajes de reemplazo.

Módulo de elasticidad E(GPa)	Hormigones				
	HP	H 25%R	H 50%R	H 75%R	H 100%R
	30,9	28,9	27,7	24,5	24

Tabla 6. Módulo de elasticidad estático de los hormigones HP y HR

Respecto al módulo de elasticidad estático, puede observarse que el mismo disminuye a medida que se incrementa el porcentaje de agregado grueso reciclado empleado, debido a la mayor deformabilidad que presentan los agregados reciclados como consecuencia de su conformación (agregado natural + mortero adherido). Este hecho también está relacionado con la menor densidad que poseen los hormigones HR.

2.2.3 Penetración de agua a presión

El Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón CIRSOC 201-2005 establece que en aquellas situaciones en las cuales los hormigones van a estar destinados a contener o conducir agua o demanden una elevada impermeabilidad, es necesaria la evaluación de los mismos frente a la penetración de agua a presión. Este ensayo, que en nuestro país se encuentra normalizado (Norma IRAM 1554:1983), consiste en someter a

probetas cilíndricas de hormigón de 150 mm de diámetro y 150 mm de altura a una presión de agua de 1 kgf/cm² durante 48 horas, 3 kgf/cm² durante 24 horas y 7 kgf/cm² durante 24 horas sobre una de sus caras. Finalizado el ensayo, cada muestra es sometida al ensayo de tracción por compresión diametral de modo de producir la fractura de la misma en dos mitades iguales, y posibilitar la determinación de la profundidad de

penetración de agua sobre la superficie de rotura y en correspondencia con la cara que permaneció en contacto con la misma.

En la tabla 7 se presentan los resultados obtenidos en los distintos hormigones evaluados como así también los límites establecidos en el reglamento CIRSOC, los cuales son de 3 cm para la penetración de agua media y de 5 cm para la penetración de agua máxima.

Hormigones	Penetración promedio [cm]	Penetración promedio máxima CIRSOC [cm]	Penetración máxima [cm]	Penetración máxima CIRSOC [cm]
HP	1,7	3,0	2,1	5,0
HR 25 %	1,8		2,2	
HR 50 %	2,5		3,0	
HR 75 %	2,3		2,8	
HR 100 %	2,7		3,4	

Tabla 7. Profundidad de penetración de agua a presión en los hormigones HP y HR

Puede observarse que tanto la profundidad de penetración de agua media (Pm) como la máxima (Pmáx.) son menores en el hormigón HP, en tanto que el hormigón HR-100% presentó los mayores valores. No obstante ello, todos los hormigones cumplen con los límites indicados en el reglamento CIRSOC.

2.2.4 Succión capilar

La succión capilar es un caso especial de transporte cuya fuerza impulsora la constituye la tensión superficial del agua actuante sobre la red de capilares del hormigón. Se trata de un fenómeno que se produce en las estructuras parcialmente saturadas sometidas a ciclos de humedecimiento y secado, como por ejemplo estructuras expuestas al agua de lluvia o en contacto frecuente con agua. Este mecanismo de transporte está directamente vinculado con la estructura porosa del hormigón, más específicamente con la distribución y conectividad de los poros capilares. Debe señalarse que, al igual que el ensayo de penetración de agua a presión, el de succión

capilar también está indicado en el Reglamento CIRSOC 201-2005 como un ensayo necesario para evaluar el comportamiento de hormigones que requieran una adecuada impermeabilidad.

El ensayo de succión capilar constituye una metodología práctica y de fácil realización para cuantificar este fenómeno. Mediante el mismo, se obtienen dos parámetros de caracterización, la capacidad y la velocidad de succión capilar. La primera representa la cantidad de agua por unidad de área que es capaz de absorber la muestra bajo ensayo hasta llegar a una constancia de masa, y la segunda la rapidez a la cual el agua penetra en la estructura porosa del hormigón. Ambos parámetros fueron calculados de acuerdo a lo dispuesto en la Norma IRAM 1871-2004.

En la figura 1 se presentan las curvas de absorción capilar en función del tiempo, y en la tabla 8 las velocidades y capacidades de succión capilar para cada tipo de hormigón. Los valores corresponden a mediciones efectuadas sobre muestras cilíndricas de 15 cm de diámetro y 5 cm de altura.

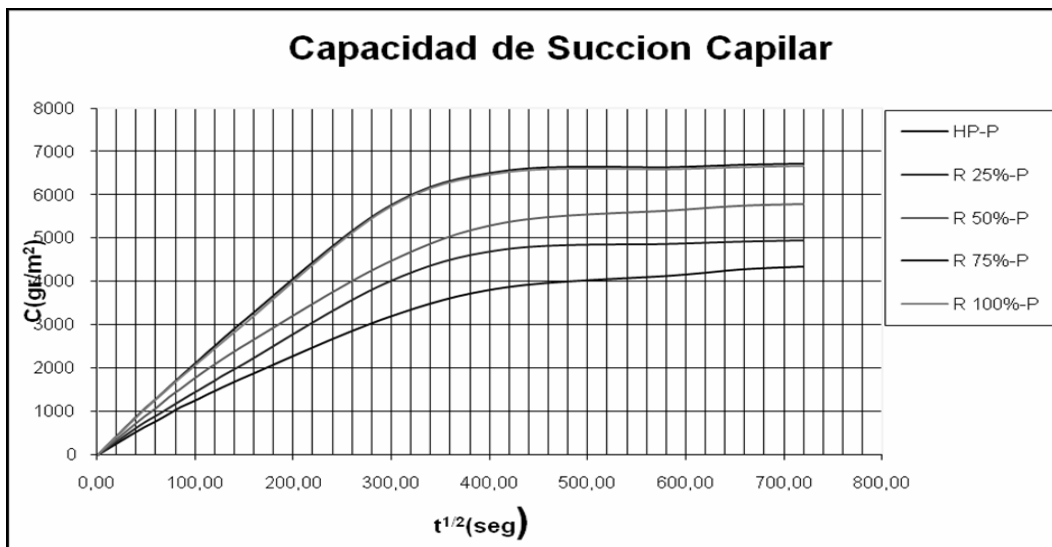


Figura 1. Capacidad de succión capilar de los hormigones HP y HR

Hormigones	Velocidad [gf/(m ² *seg ^{1/2})]	Capacidad [gf/m ²]
HP	9,3	3870,08
HR-25	11,4	4753,05
HR-50	12,9	5362,13
HR-75	15,8	6550,11
HR-100	15,7	6526,57

Tabla 8. Parámetros de transporte de succión capilar de los hormigones HP y HR

Puede observarse que existe una clara diferenciación de los parámetros de transporte por succión capilar (velocidad y capacidad) obtenidos en los HR respecto al HP. Conforme se incrementa el porcentaje de agregados reciclados aumenta la absorción capilar como consecuencia de la mayor porosidad de estos agregados, debido, a su constitución bifásica. Se advierte además que para el H25% R se producen incrementos del 21% y 22,8% en la velocidad y capacidad de succión respectivamente; y para el H50% R los incrementos son 38,7% y 38,5%. Cuando el reemplazo de agregados es del 75% dichos parámetros se incrementan en un 69% y 69%, no existiendo prácticamente diferencias cuando el reemplazo de agregado se incrementa del 75% al 100%.

CONCLUSIONES

Los estudios realizados sobre hormigones elaborados con agregados gruesos reciclados obtenidos mediante la trituración de un hormigón convencional permiten concluir que:

- El agregado grueso reciclado presenta menor densidad y mayor absorción de agua y pérdida de peso por abrasión que el agregado grueso natural

debido a la presencia de mortero cementicio como parte constituyente de los mismos.

- En estado fresco, se observa una clara reducción del asentamiento a medida que se incrementa el porcentaje de agregado grueso reciclado utilizado, lo cual pone de manifiesto una notable influencia de la textura superficial de los mismos. Este hecho es atribuido a que el agregado natural está constituido por partículas de forma redondeada y textura lisa, mientras que el agregado reciclado presenta una mayor superficie específica por ser triturado y en consecuencia mayor rugosidad superficial e irregularidad producto del mortero adherido.

- Todos los hormigones reciclados elaborados (25,50,75y100% de reemplazo) presentan un comportamiento resistente similar o superior al del hormigón patrón HP, hecho que debe ser atribuido a una mayor adherencia entre la nueva matriz cementicia y el agregado reciclado, a pesar de poseer este último una calidad inferior respecto al agregado natural. Sin embargo, debe considerarse que en los HR se produce una disminución del módulo de elasticidad estático, la cual es más importante cuando se incrementa el porcentaje de agregado reciclado.

- Respecto a la durabilidad de los hormigones reciclados HR, se observa un comportamiento satisfactorio y similar al de del hormigón patrón HP al ser sometido a la penetración de agua a presión, mientras que en el ensayo de absorción capilar se advierte un aumento significativo en los valores de la velocidad y capacidad de succión capilar para reemplazos superiores al 50%, pero se encuentran dentro de valores razonables.

- Analizando los resultados obtenidos en este trabajo, se puede decir que hormigones elaborados con distintos porcentajes de agregados gruesos reciclados, obtenidos a partir de la

trituration de pavimentos de hormigones, tienen un adecuado comportamiento resistente y durable para ser utilizados en pavimentos..

REFERENCIAS

1. Zega, C.J., "Hormigones reciclados: evaluación mediante métodos vibratoriales", Ciencia y Tecnología del Hormigón, LEMIT, N° 10, 2003, pp. 65-71.
2. Di Maio, A.A., Giaccio, G. y Zerbino, R., "Hormigones con agregados reciclados", Ciencia y Tecnología del Hormigón, LEMIT, N° 9, 2002, pp. 5-10.
3. Zega, C.J. y Di Maio, A.A., "Influencia de las características de los agregados reciclados en la elaboración de hormigones", Memorias XV Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, AATH, Santa Fe, Octubre 2003. Ed. CD.
4. Zega, C.J., Fornasier, G., Ponce, M. y Di Maio, A.A., "Hormigones reciclados expuestos a ciclos rápidos de congelación y deshielo", Hormigón N° 41, AATH, 2005, pp. 53-61..
5. Di Maio, A.A, Gutierrez F., Traversa, L.P. "Comportamiento físico mecánico de hormigones elaborados con agregados reciclados".14ª Reunión técnica Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. Olavarria.pp.37-44. (2001)
6. Taus, V.L. "Determinación de la absorción capilar en hormigones elaborados con agregados reciclados". Ciencia y tecnología del hormigón, LEMIT, N° 10, 2003, pp. 7-16
7. CIRSOC 201:2005. "Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón" Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Argentina. (en etapa de aprobación).
8. Norma IRAM 1554:1983. Hormigón de cemento Pórtland. Método de determinación de la penetración de agua a presión en el hormigón endurecido.
9. Norma IRAM 1871:2004. Hormigón. Método de ensayo para determinar la capacidad y la velocidad de succión capilar de agua en el hormigón endurecido.