

## ADHERENCIA MATRIZ-AGREGADO EN HORMIGÓN RECICLADO

*Casuccio, M.<sup>1</sup>, Giaccio, G.<sup>2</sup>, Zerbino, R.<sup>3</sup>*

### RESUMEN

En este trabajo se realiza un estudio comparativo del desarrollo de adherencia para agregados naturales y reciclados. El objetivo principal es obtener información básica sobre los niveles de adherencia matriz-agregado que sirvan de base para analizar posteriormente los mecanismos de fractura en hormigón reciclado. Este estudio forma parte de un proyecto más amplio que considera el creciente interés en el reciclado de materiales para la construcción. Las variables analizadas incluyen, entre otras, las características de las superficies de adherencia (fracturadas o cortadas) y los niveles de resistencia tanto de la matriz como del hormigón de origen de los agregados reciclados.

### INTRODUCCION

El hormigón es un material heterogéneo donde una matriz porosa rodea a un conjunto de inclusiones (agregados) de distinta rigidez y tamaño, distribuidos en forma aleatoria. Alrededor de estas inclusiones existen zonas de interacción (interfaces) cuyas propiedades se diferencian de las del interior de la matriz. Estas constituyen las zonas de mayor debilidad del hormigón, motivo que las convierte en un factor determinante en el proceso de fractura del material.

Varios trabajos han demostrado el rol de las interfaces en el comportamiento mecánico del hormigón y la incidencia de la resistencia relativa de las fases componentes (mortero y agregado). Los efectos al nivel de las interfaces justifican diferencias en el mecanismo de falla de hormigones convencionales y de alta resistencia (1-2).

La adherencia de las interfaces posee una relación directa con las características de la matriz. Esta relación se modifica en forma clara ante cambios en el tipo de agregado y la textura superficial de los mismos, la presencia de adiciones o aditivos químicos, aire incorporado, etc. Se observa que la textura superficial de los agregados tiene una incidencia fundamental sobre la adherencia matriz-agregado. En el caso de agregados con superficies lisas las fisuras se propagan principalmente sobre la superficie de los mismos. En el caso de agregados con texturas superficiales más rugosas, las fisuras también se pueden desarrollar a través de la matriz y, en algunos casos, incluir granos del agregado. Las superficies fracturadas poseen en general mayor adherencia que las cortadas, aunque sus valores varían ampliamente con el tipo de roca (3-5).

---

<sup>1</sup> Becaria CIC – LEMIT.

<sup>2</sup> Ing. G. Giaccio (Investigador CIC-LEMIT - Prof. UNLP.)

<sup>3</sup> Dr. R. Zerbino. (Investigador CONICET-LEMIT - Prof. UNLP.)

marciacasuccio@hotmail.com

En agregados con mayor absorción, como la piedra cuarcítica o las arcillas expandidas, la adherencia relativa puede incrementarse en forma considerable. Al respecto, en los agregados obtenidos a partir del reciclado de hormigón se ha observado una mayor absorción de agua motivada por la presencia de mortero adherido al agregado original (6-7). Del mismo modo se ha encontrado mayor adherencia en el caso de emplear como agregados hormigón reciclado triturado (8).

El estudio del comportamiento de los hormigones con agregados reciclados adquiere interés dado que la mejor adherencia relativa de las interfaces y la menor resistencia del agregado reciclado, pueden incidir sobre el mecanismo de falla del hormigón elaborado con este tipo de agregados. Algunos autores indican que en hormigón con agregados reciclados, las fisuras se propagaban por las interfaces mortero-agregado o a través del mortero con similar frecuencia; para bajas relaciones a/c la resistencia y la adherencia mortero-agregado de la nueva pasta superaron la resistencia del mortero reciclado y la de sus interfaces, provocando la formación de fisuras a través de los agregados reciclados (8).

Este trabajo tiene por objetivo obtener información sobre los niveles de adherencia alcanzados con agregados reciclados con el fin de analizar posteriormente los mecanismos de fractura en hormigón elaborado con este tipo de agregados. Los valores medidos se comparan con los niveles de adherencia determinados para agregados naturales.

## EXPERIENCIAS

Persiguiendo el objetivo del trabajo, se evaluó la adherencia de un mortero de resistencia convencional y un mortero de alta resistencia frente a distintos agregados reciclados, comparando a la vez varias texturas superficiales. Además de la adherencia de las interfaces y la resistencia de los distintos morteros, se determinó la resistencia, absorción y densidad de los agregados, como forma de caracterización de los mismos.

### Metodología de ensayo

Para la determinación de la adherencia matriz-agregado, se emplearon prismas compuestos de 25 mm de lado, constituidos por matriz (mortero) y roca (agregado natural o reciclado) con diferentes texturas superficiales, que fueron ensayados a flexión con carga central, con una luz entre apoyos de 63 mm. En la Fig. 1 se muestra un esquema de las probetas y forma de carga utilizados (3-5).

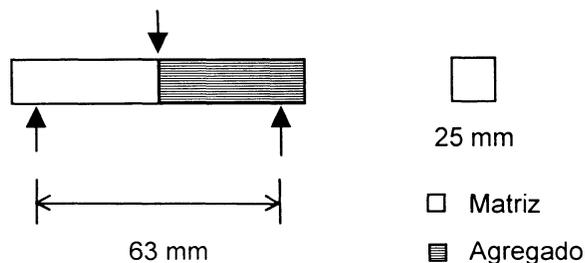


Figura 1. Ensayos de adherencia matriz-agregado.

Las probetas fueron curadas en agua saturada con cal hasta la edad de ensayo adoptada (14 días). Además en forma simultánea a los ensayos de adherencia se midió la resistencia a flexión de la fase mortero (matriz). En forma previa se determinó la resistencia de la fase agregado empleando prismas de iguales dimensiones y bajo las mismas condiciones de ensayo. Todos los ensayos se realizaron, en una máquina de deformación controlada, empleando una velocidad de desplazamiento de 0.2 mm/min.

## Materiales y mezclas

Los agregados empleados fueron obtenidos a partir del aserrado de piezas de hormigón y de trozos de roca (granito). Se seleccionaron un agregado natural y diferentes agregados reciclados. Entre ellos un hormigón reciclado de origen desconocido, dos hormigones reciclados de relaciones a/c 0.30 y 0.50; y dos morteros reciclados con relaciones a/c 0.35 y 0.50. Como forma de caracterización se determinaron además de la resistencia, la absorción de agua (24 horas) y la densidad saturada a superficie seca de los mismos. En la Tabla 1 se muestran la identificación adoptada y las características de los distintos tipos de agregados utilizados.

En relación a los valores de absorción y densidad informados en la Tabla 1, se observa mayor absorción en los agregados reciclados y mayor densidad en el agregado natural (granito). Analizando los agregados reciclados, se destaca que la absorción es menor en el hormigón que en el mortero, desarrollándose el cambio de la densidad en forma inversa. Como era de esperar se observa un mayor módulo de rotura en el caso del granito.

En el caso de los hormigones reciclados, la obtención de los prismas de 25 mm de lado, se realizó mediante corte con sierra diamantada de probetas de hormigón. En el caso de los morteros reciclados, los prismas fueron directamente moldeados. Los bloques de granito fueron aserrados de planchas de roca (3).

Tabla 1. Características de los agregados.

Agregado	Absorción (%)	Densidad	Módulo de rotura (MPa)
Granito (G)	0.4	2.60	11.7
Hormigón reciclado desconocido (Hd)	5.1	2.50	4.8
Hormigón reciclado a/c = 0.3 (Ha)	4.8	2.53	7.2
Hormigón reciclado a/c = 0.5 (Hb)	5.0	2.38	6.0
Mortero reciclado a/c = 0.3 (Ma)	2.2	2.18	8.8
Mortero reciclado a/c = 0.5 (Mb)	7.4	2.23	7.4

Los prismas de roca, hormigón o mortero reciclado fueron posteriormente fraccionados con el propósito de lograr las diferentes texturas superficiales de las caras de ensayo. La textura superficial requerida en cada caso fue lograda mediante la aplicación de diferentes técnicas: cortado, arenado y fracturado. Para el caso del hormigón se utilizaron superficies cortadas y fracturadas. Las superficies cortadas (C), obtenidas mediante corte con disco diamantado, se caracterizan por su superficie lisa. Las caras fracturadas (F), fueron resultantes del ensayo de flexión de los prismas. Se destaca que en el caso de los hormigones reciclados se observaron superficies rugosas de texturas bastante diferentes debido a la presencia de los agregados originales. Para el caso de los morteros se utilizaron superficies fracturadas, también resultantes de un ensayo de flexión, pero se observaron grados de rugosidad similares entre sí. En el caso del granito se usaron superficies con una rugosidad similar a la piedra partida granítica, obtenidas mediante el arenado de las caras de ensayo previamente cortadas con sierra (A) (3).

Para la confección de las probetas compuestas matriz-agregado se elaboraron dos tipos de mortero, uno con razón a/c 0.50 (mortero de resistencia normal) y otro con relación a/c 0.35 (mortero de alta fluidez y resistencia). En ambos casos se utilizó un cemento fillerizado. La fluidez deseada, para el caso del mortero de razón a/c 0.35, se alcanzó utilizando un aditivo superfluidificante, mezcla de un aditivo reductor de agua de alto rango junto con un agente viscoso, destinado a la elaboración de hormigón autocompactable. En ambos casos se siguió la misma metodología de mezclado a fin de evitar cualquier tipo de diferencias al momento de comparar los resultados.

La Tabla 2 muestra los morteros elaborados para cada razón a/c. Se emplearon una arena Argentina, módulo de finura de 1.49, combinada con una arena Oriental, módulo de finura de 2.69. En los morteros convencionales se utilizó una mezcla en relación 80 % de arena Oriental y 20 % de arena Argentina, con un módulo de finura de 2.45. Este porcentaje de arena fue modificado para los morteros de mayor fluidez, utilizándose una proporción de 60 % de arena Oriental y 40 % de arena Argentina.

Tabla 2. Morteros elaborados.

Mezcla	Relación a/c	Relación arena/cemento	% Aditivo utilizado
M1	0.50	2.2	-
M2-1	0.35	1.5	0.75
M2-2	0.35	1.8	0.40

### Programa de ensayos

Se moldearon probetas compuestas por el mortero M1 (resistencia convencional) y todos los agregados disponibles, a fin de evaluar tanto la variación entre los agregados naturales y reciclados como la relación entre las distintas texturas superficiales (principalmente C/F). Del mismo modo se moldearon probetas con morteros de elevada fluidez (M2-1 y M2-2) y los distintos tipos de agregado (G, Hd, Ha y Hb), sin evaluar en este caso el efecto de la textura superficial. La Tabla 3 muestra el programa de ensayos.

Tabla 3. Programa de ensayos.

Matriz	Agregado	Textura
M1	Granito (G)	Arenado (A)
	Hormigón reciclado desconocido (Hd)	Cortado (C)
	Hormigón reciclado desconocido (Hd)	Fracturado (F)
	Hormigón reciclado a/c = 0.30 (Ha)	Cortado (C)
	Hormigón reciclado a/c = 0.30 (Ha)	Fracturado (F)
	Hormigón reciclado a/c = 0.50 (Hb)	Cortado (C)
	Hormigón reciclado a/c = 0.50 (Hb)	Fracturado (F)
	Mortero reciclado a/c = 0.35 (Ma)	Fracturado (F)
Mortero reciclado a/c = 0.50 (Mb)	Fracturado (F)	
M2-1	Granito (G)	Arenado (A)
	Hormigón reciclado desconocido (Hd)	Cortado (C)
M2-2	Granito (G)	Arenado (A)
	Hormigón reciclado a/c = 0.30 (Ha)	Cortado (C)
	Hormigón reciclado a/c = 0.50 (Hb)	Cortado (C)

## RESULTADOS Y ANALISIS

### Adherencia matriz-agregado

En la Tabla 4 se presentan los resultados de resistencia a flexión de los morteros (MMR), módulo de rotura de las interfaces (IMR) y la adherencia relativa de las interfaces, la cual se expresa como el módulo de rotura de la interfaz (IMR) referido al módulo de rotura del mortero (MMR). Los valores informados son promedio de un mínimo de 10 determinaciones. Se indica el coeficiente de variación, que se encuentra por debajo del 10 % en el caso de MMR y mayor en el caso de las interfaces. También se incluyen las relaciones entre la adherencia medida sobre las superficies cortadas y las fracturadas (C/F).

Los valores señalados reflejan la mayor debilidad de la interfaz frente a las dos fases componentes (mortero y agregado), evidenciada por un menor módulo de rotura (IMR). Con respecto al tipo de agregado, se observan mayores valores de adherencia de interfaces en el caso de los agregados reciclados, siendo mayor en el hormigón (Ha y Hb) que en el mortero (Ma y Mb).

Considerando las relaciones IMR/MMR se aprecia que la adherencia matriz-agregado oscila entre un 35% y un 75% de la resistencia a flexión del mortero, dependiendo tanto de la naturaleza del agregado como de la textura superficial de los mismos. Se verifica que con los agregados reciclados las superficies fracturadas desarrollan mayor adherencia que las cortadas, debido a la mayor rugosidad de las mismas. Los valores se encuentran entre 0.69 y 0.80, relación que resulta bastante mayor que la encontrada para el agregado granítico, para el cual se obtuvieron en experiencias previas relaciones cercanas a 0.40 (5).

Tabla 4. Adherencia matriz-agregado.

Matriz	Agregado	Textura	Matriz			Interfaces			IMR/MMR	C/F
			MMR (MPa)	Nº de ensayos	COV (%)	IMR (MPa)	Nº de ensayos	COV (%)		
M1	G	A	6.6	22	9	2.3	16	27	0.35	-
	Hd	C				2.4	16	26	0.36	0.69
	Hd	F				3.5	20	13	0.53	
	Ha	C				4.0	10	23	0.61	
	Ha	F				5.0	13	8	0.76	0.80
	Hb	C				3.3	14	21	0.50	0.72
	Hb	F				4.6	11	19	0.70	
	Ma	F				3.0	17	16	0.45	-
	Mb	F				3.9	30	17	0.59	-
M2-1	G	A	8.8	17	5	4.4	19	30	0.50	-
	Hd	C				5.8	10	12	0.66	-
M2-2	G	A	8.1	30	7	3.0	20	24	0.37	-
	Ha	C				3.7	20	7	0.46	-
	Hb	C				3.2	20	15	0.40	-

## CONCLUSIONES

A partir del estudio experimental desarrollado surge que la adherencia matriz-agregado en el hormigón reciclado es mayor o igual a la encontrada con los agregados naturales de mayor uso en la región (graníticos). Sobre las superficies cortadas se encontraron valores de adherencia menores que en las superficies fracturadas, pero se destaca que esta diferencia es mayor que la encontrada para el agregado granítico.

## REFERENCIAS

- (1) Zerbino, R. "Adherencia matriz-agregado, mecanismos de deformación y rotura en hormigón", 1<sup>er</sup> Cong. Int. Tecnología del Hormigón, Argentina, AATH, 1998, pp. 135-148.
- (2) Giaccio, G. and Zerbino, R., "Failure mechanism of concrete: Combined effects of coarse aggregates and strength level", *Advanced Cement Based Materials*, Evanston Illions, Elsevier Ed., USA, vol. 7, N° 1, 1998, pp. 41-48.
- (3) Giaccio, G., Giovambattista, A. y Zerbino, R., "Adherencia en las interfaces agregado-matriz", *Rev. Hormigón* 18, AATH, 1990, pp. 19-30.
- (4) Giaccio, G. y Zerbino, R., "Interfaces en el hormigón: Efecto de la textura del agregado", *Rev. Hormigón* 31, AATH, 1997, pp. 23-33.
- (5) Giaccio, G., Zerbino, R. y Giovambattista, A., "Adherencia agregado-matriz", *Colloquia* 85, Memorias "A", Tecnología de Materiales, Tomo I, 1985, pp. 251-262.
- (6) Cúneo Simián, H. y Durán, G., "Propiedades mecánicas y físicas de hormigones con agregados reciclados", *Proc. XII Reunión Técnica AATH*, La Plata, 1995, pp. 291-304.
- (7) Di Maio, A., Giaccio, G. y Zerbino, R. "Hormigones con agregados reciclados", *Ciencia y Tecnología del Hormigón*, N° 9, 2002, pp.5-10.
- (8) Rasheeduzzafar and Khan, A., "Recycled Concrete - A Source for New Aggregate", *Journal Cement, Concrete and Aggregates*, ASTM Journal, Vol. 6, N° 1, 1984, pp.17-27.