

HORMIGÓN RECICLADO Y RESIDUO DE NEUMÁTICOS PARA LA ELABORACIÓN DE HORMIGÓN

Rodrigo Isas Pedraza¹, Daniel Anaya¹, Silvia Palazzi¹

¹ Laboratorio de Ensayos de Materiales, Departamento de Construcciones y Obras Civiles de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.
disaspedraza@herrera.unt.edu.ar, danaya@herrera.unt.edu.ar, spalazzi@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

Con el objeto de buscar alternativas sustentables en el ámbito de la construcción, se plantea la realización de un hormigón ecológico elaborado con dos tipos de residuos: hormigón reciclado (HR), como agregado grueso, procedente de residuos de la construcción y demolición, y fibras de caucho procedentes del recambio de neumáticos (FRN), para confeccionar un hormigón reforzado con fibras (HRF). Para caracterizar el desempeño de los hormigones se realizan los ensayos en estado fresco de consistencia con el cono de Abrams, contenido de aire naturalmente incorporado y peso de la unidad de volumen, y en estado endurecido se evalúa la resistencia a compresión, tracción indirecta y módulo de elasticidad con cilindros de 10x20 cm, y prismas de 150x150x600 cm para el ensayo a flexión. Se completa el estudio con los ensayos de durabilidad de succión capilar y penetración de agua a presión. A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que la incorporación de las FRN aunque no se comportan como fibras estructurales, mejoran sensiblemente los parámetros de durabilidad del hormigón.

Palabras claves: hormigón ecológico, residuos de neumáticos, hormigón reciclado.

INTRODUCCIÓN

Se entiende por hormigón reciclado como aquel hormigón compuesto por el reemplazo total o parcial de su agregado grueso natural por el obtenido mediante la trituración de hormigones provenientes de la demolición de pavimentos o de estructuras ya fuera de servicio [1].

La mayor parte de los estudios realizados sobre estos hormigones demostraron que la fracción fina presente en los mismos genera perjuicios en el comportamiento del hormigón, por lo que para el hormigón estructural se limita solo al uso de la fracción gruesa de reciclado. Existen antecedentes donde se reemplaza una parte del agregado grueso natural por árido reciclado, en valores de 20, 30, 50 y hasta el 100 % [2].

Existen pocos países que disponen de normativas o recomendaciones para el empleo del hormigón reciclado como hormigón estructural, encontrándose distintas tendencias en cuanto a la calidad exigida al agregado reciclado, al contenido máximo permitido en el hormigón o la limitación en las aplicaciones de este [3].

Por otro lado, el uso de fibras cortas, discontinuas, y generalmente orientadas al azar, inmersas en la matriz del hormigón, ha permitido conferir a este material de esencia frágil, de cierta ductilidad logrando importantes beneficios a nivel material y estructural [4].

En la actualidad existen una gran variedad de estudios realizados en hormigones a los que se les incorpora residuos de caucho como reemplazo del agregado grueso natural, permitiendo el desarrollo de hormigones más livianos, bloques y adoquines en la industria de la prefabricación, pavimentos rígidos, elementos premoldeados resistentes al impacto, aislamiento para cimentaciones de máquinas y en elementos de protección de explosiones [5-7]. Las características de los neumáticos, en cuanto a su composición química, no afectan las propiedades del cemento, y le confieren al hormigón un comportamiento dúctil, aunque se genera una pérdida de resistencia debido a la poca adherencia entre el caucho y la pasta de cemento [8].

Sin embargo, no existen antecedentes de estudios realizados de hormigones realizados con el residuo procedente del recapado de neumático tipo fibras como se observa en la Figura 1.



Figura 1: Fibrillas del recapado de neumáticos (FRN).

En este trabajo se presenta el desarrollo de un hormigón reforzado con fibras (HRF) con la combinación del uso del hormigón reciclado (HR), más el uso de las fibras provenientes del recapado de neumáticos (FRN) estudiando la combinación de dos tipos de residuos generados en la provincia de Tucumán (Argentina).

MATERIALES Y METODOLOGÍA

Para la elaboración de los hormigones desarrollados durante esta investigación, se utilizaron agregados grueso y fino provenientes de canteras ubicadas en las márgenes del Río Salí (Tucumán).

Se utiliza una trituradora de mandíbula para procesar los hormigones “viejos” y obtener el agregado grueso triturado que será empleado como reemplazo de una fracción del agregado grueso natural.

En la Tabla 1 se presenta un resumen de las características físicas determinadas para estos agregados.

Para la elaboración de las pruebas se utiliza un cemento Pórtland compuesto CPC 40, con densidad relativa real de 3,07. Además, en todos los hormigones estudiados se emplea un aditivo químico de tipo plastificante sin cloruros, el cual, conforme la dosis empleada puede actuar como aditivo superplastificante.

Las características de las FRN fueron provistas por la planta procesadora de neumáticos. En la Tabla 2 se presenta un resumen de esta información.

Tabla 1: Características físicas de los agregados.

Característica física	Agregado fino	Agregado grueso natural	Agregado grueso reciclado
Tamaño máximo (mm)	---	25,4	38,1
Forma	---	Redondeado	Anguloso
Módulo de finura	3,1	7,1	7,3
Densidad relativa real del agregado seco	2,58	2,59	2,35
Densidad relativa real del agregado saturado con superficie seca	2,64	2,61	2,50
Peso de la unidad de volumen (PUV) (kg/m ³)	1710	1640	1320
Absorción (%)	2,2	0,9	6,2
Porcentaje de vacíos (%)	33,6	36,8	43,9

Tabla 2: Características de las FRN.

Densidad relativa real	1,8
Resistencia a la tracción (MPa)	9,0
Módulo de elasticidad (MPa)	2,5
Longitud (variable), L (mm)	0,15 a 25
Diámetro (variable), D (mm)	0,15 a 1
Relación de aspecto, L/D	1 a 25

En el diseño de las mezclas de hormigón para este estudio se emplearon las dosificaciones presentadas en la Tabla 3.

Las dosis de aditivos utilizadas se ajustan en virtud de las determinaciones de consistencia en estado fresco.

Para estudiar las propiedades de los hormigones desarrollados se realizan los ensayos en estado fresco y endurecido que se exponen a continuación:

- Propiedades en estado fresco
 - ✓ Consistencia conforme IRAM 1536
 - ✓ Peso unitario conforme IRAM 1562
 - ✓ Contenido de aire conforme IRAM 1602
- Propiedades en estado endurecido (resistencia y durabilidad)
 - ✓ Resistencia a la compresión conforme IRAM 1546
 - ✓ Resistencia a la tracción simple indirecta conforme IRAM 1658
 - ✓ Módulo de elasticidad conforme IRAM 1865
 - ✓ Resistencia a flexo – tracción conforme Norma EN 14651
 - ✓ Succión capilar conforme IRAM 1871
 - ✓ Penetración de agua a presión conforme IRAM 1554

Tabla 3: Dosificaciones de los hormigones patrones propuestos.

Materiales	HP1	HP1+40	HP1+80	HP2	HP2+40	HP2+80
Cemento (kg)	465	465	465	465	465	465
Agua (kg)	186	186	186	186	186	186
Agregado fino (kg)	734	677	619	734	677	619
Agregado grueso natural (kg)	973	973	973	476	476	476
Agregado grueso reciclado (kg)	0	0	0	476	476	476
FRN (kg)	0	40	80	0	40	80
Aditivo (kg)	0,93	1,40	3,72	1,40	4,65	5,12

RESULTADOS

Se presentan a continuación los resultados de los ensayos mencionados precedentemente:

Resultados en estado fresco

En la Tabla 4 se resumen los resultados de los ensayos realizados para caracterizar las propiedades en estado fresco de los hormigones estudiados.

Tabla 4: Resultados en estado fresco.

Hormigón	Dosis de aditivo (%) rpc *	Asentamiento (cm)	PUV (kg/m ³)	Contenido de aire (%)
HP1	0,20	13,0	2379	2,5
HP1+40	0,30	8,5	2286	5,5
HP1+80	0,80	7,0	2171	8,0
HP2	0,30	9,0	2329	3,5
HP2+40	1,00	7,0	2250	4,5
HP2+80	1,10	7,5	2100	9,0

* rpc: referido al peso de cemento

Resultados en estado endurecido

En las Tabla 5 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión simple, tracción indirecta y el módulo de elasticidad de cada uno de los hormigones. Asimismo, en la Tabla 6 se exponen los resultados de los ensayos de flexo – tracción presentando, para cada espécimen ensayado, los valores de carga máxima, la apertura de la entalla (CMOD), la flecha máxima, la tensión de tracción y la tenacidad. Finalmente, la Tabla 7 presenta los resultados del ensayo de penetración de agua.

Tabla 5: Resultados de compresión simple, tracción indirecta y módulo de elasticidad.

Hormigón	Compresión simple		Tracción indirecta	Módulo de elasticidad
	7 días (MPa)	28 días (MPa)	28 días (MPa)	28 días (GPa)
HP1	26,4	37,9	4,1	32,8
HP1+40	24,9	33,0	3,2	34,2
HP1+80	22,4	27,9	2,9	28,0
HP2	30,9	40,2	4,1	32,0
HP2+40	31,5	41,2	4,2	31,3
HP2+80	21,1	27,2	2,9	25,4

Tabla 6: Resultados del ensayo de flexotracción (RILEM).

Hormigón	Valores máximos			Valores promedios	
	Carga (kN)	CMOD (μm)	Flecha (μm)	Tensión de tracción (MPa)	Tenacidad (kN. μm)
HP1	16,3	47,4	69,3	5,2	4.729,0
HP1+40	14,4	49,6	75,8	4,6	4.553,9
HP1+80	12,7	43,1	53,6	4,1	4.312,7
HP2	16,7	52,1	67,2	5,4	6.489,6
HP2+40	16,4	39,4	61,4	5,2	5.233,8
HP2+80	13,9	49,5	81,5	4,5	4.612,9

Tabla 7: Resultados de penetración de agua.

Penetración promedio de agua a presión (mm)			
HP1	60,3	HP2	26,1
HP1+40	18,4	HP2+40	10,2
HP1+80	56,6	HP2+80	12,3

A continuación, en la Figura 2 se presentan los resultados del ensayo de succión capilar, determinando la capacidad de succión; luego, en la Figura 3 y Figura 4 se presentan los resultados del ensayo de flexo – tracción (conforme RILEM) de los hormigones elaborados con agregado grueso natural y aquellos elaborados con agregado reciclado respectivamente.

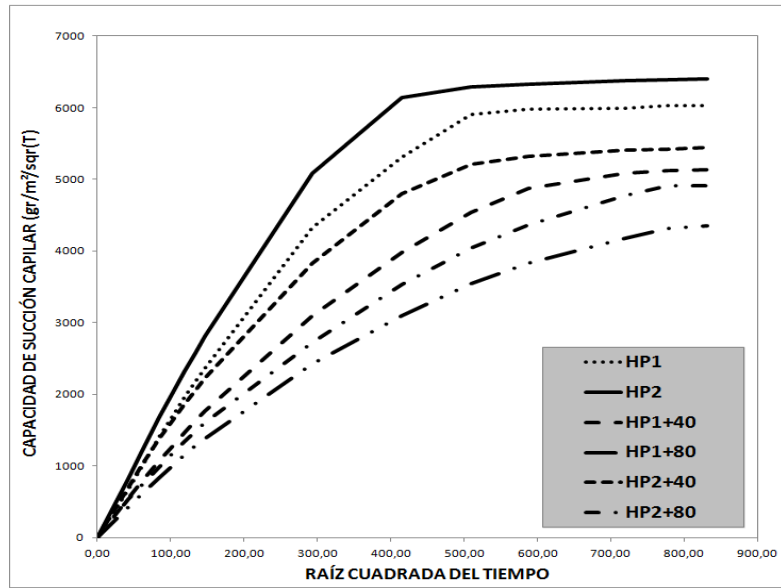


Figura 2: Succión capilar: Velocidad de succión ($\text{g/m}^2/\text{s}^{1/2}$).

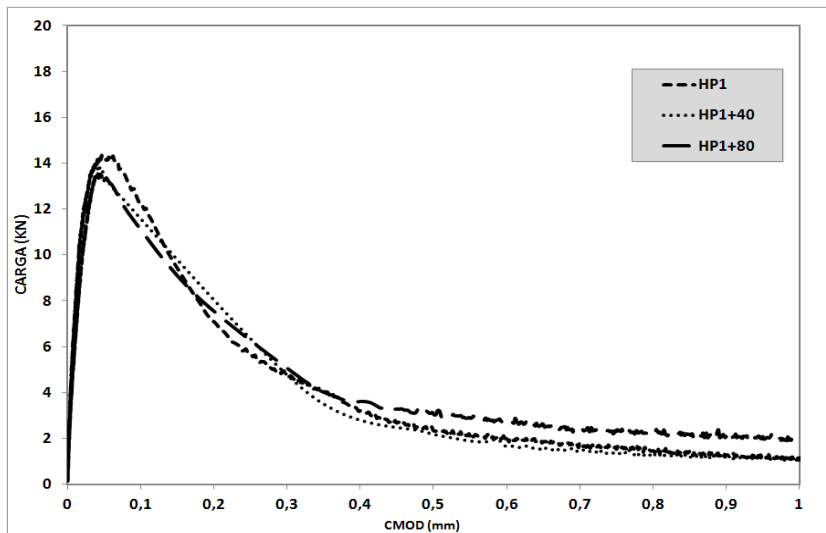


Figura 3: Ensayo de flexotracción: Hormigones con agregado grueso natural.

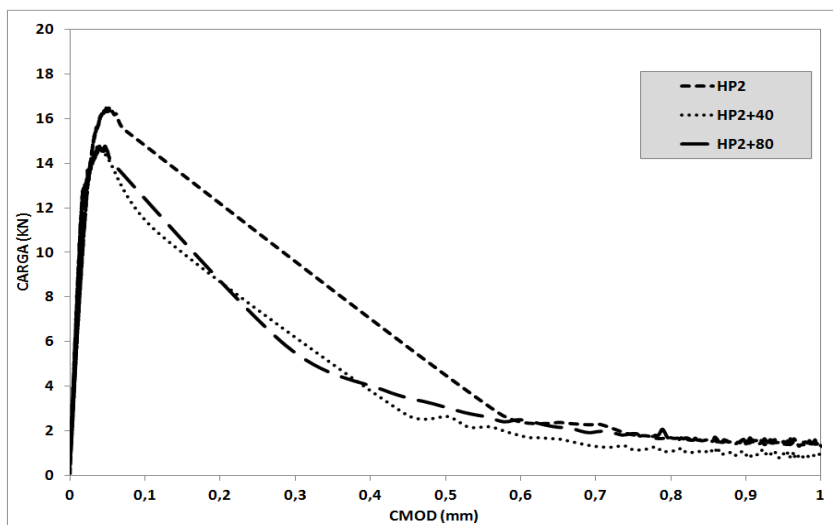


Figura 4: Ensayo de flexotracción: Hormigones con agregado grueso reciclado.

CONCLUSIONES

Luego de estudiar el comportamiento de los hormigones con y sin FRN se concluye que su incorporación, y especialmente el hormigón con agregado reciclado y 40 kg/m³ de FRN, es apto para su uso como un hormigón convencional, ya que las resistencias a compresión simple, tracción y flexión se mantienen respecto a la del patrón y mejora tanto la succión capilar como la penetración de agua a presión.

Esto da lugar a un hormigón ecológico que mantiene los requerimientos de resistencia y en que se mejoran sustancialmente su durabilidad.

En cuanto a la incorporación de FRN al hormigón convencional y al hormigón con agregado reciclado se concluye que:

✓ En estado fresco la incorporación de FRN producen una pérdida de plasticidad, un aumento en el contenido de aire y una reducción en el peso unitario. La pérdida de plasticidad fue recuperada con el uso de un aditivo plastificante.

✓ A medida que aumenta el contenido de FRN existe una disminución en el módulo de elasticidad del hormigón.

✓ La capacidad de succión capilar disminuye a medida que aumenta el contenido FRN. Es evidente que la presencia de estas fibras interceptan y bloquean los capilares presentes en la matriz.

✓ Tanto la resistencia a compresión como a tracción se mantiene en los hormigones elaborados con 40 kg/m³ de FRN con respecto a la de sus respectivos hormigones patrones. Los hormigones elaborados con 80 kg/m³ de FRN presentan una reducción importante en las resistencias a compresión, tracción y flexión, con respecto a los patrones.

✓ Analizando el comportamiento a flexión de vigas entalladas con cargas en 3 puntos de los hormigones elaborados con FRN, se aprecia que éstas no cumplen la función de una fibra estructural. Sin embargo, el patrón de rotura se ve beneficiado por un cuadro de fisuras más controlado.

✓ En cuanto a la durabilidad, los resultados de succión capilar y penetración de agua a presión indican una mejora en el comportamiento de los hormigones con FRN respecto a los correspondientes patrones. Esta ganancia de prestación amerita que se continúe el estudio de estos hormigones.

REFERENCIAS

- [1] Gonzales Fonteboa B, "Hormigones con áridos reciclados procedentes de demoliciones: dosificaciones, propiedades y comportamiento estructural", Tesis doctoral (2002).
- [2] Parra Alfaro J, "Caracterización de residuos de construcción y demoliciones como áridos reciclados para la fabricación de hormigones", Tesis doctoral (2001).
- [3] Casuccio J, Zega CJ, Giaccio G, Zerbino R, "Deformabilidad en hormigones con agregados reciclados", Ciencia y Tecnología del Hormigón, Nº 13, (2006), 31-44.
- [4] Zerbino R, "Hormigones especiales", AATH, Capítulo 5: Hormigón reforzado con fibras: propiedades y aplicaciones estructurales, (2003).
- [5] Witoszek Schultz B, "Hormigón con fibras de caucho de recuperación de neumáticos usados y de polipropileno", Tesis doctoral, (2004).

- [6] Barra Bizinotto M, Jordana Riba F, Royano García V, Vázquez Ramonich E, "Realización de ensayos de laboratorio de hormigón con caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU)", Escola Politècnica Superior D'Edificació de Barcelona, UPC, (2009).
- [7] Rodríguez Almache AE, Villalba Rea JB, "Análisis a flexión en vigas de concreto armado, compuestas de Hormigón Modificado con fibrillas recicladas de neumático, y su influencia en la cuatía de acero en un Hormigón Estructural de $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ ", Trabajo de grado, Universidad Nacional de Chimborazo, (2016).
- [8] Benítez A., Polzinetti M, Agnello J, "Desarrollo de mezclas de hormigón con la adición de partículas de caucho", Instituto Nacional de Tecnología Industrial, (2012).