

# HORMIGONES DE CEMENTO PORTLAND ELABORADOS CON RAF OBTENIDOS EN DIFERENTES PROCESOS DE FUNDICIÓN

Sota J. D.\* , Miguel R. E. \*\* , Barreda M. F.\* , Banda Noriega R. B.\*\* ,  
LEMaC – UTN – FRLP – 60 y 124 (1900) – Tel. 02214890413- E-mail: jdsota@frlp.utn.edu.ar

**Palabras claves:** residuo, arena de fundición, hormigones, lixiviados, metales

## RESUMEN

Las arenas de moldeo y noyería son el principal residuo generado por las industrias de fundición. Éstas se reutilizan parcialmente en el proceso productivo (recirculación) aunque una proporción es necesariamente descartada, instancia donde se generan los residuos de arenas de fundición (RAF). Los grandes volúmenes generados y la necesidad de gestionarlos abren como alternativa la incorporación de los mismos como agregados en hormigones, para de esta forma transformar un residuo en un insumo para otra actividad, es decir, valorizar el residuo. El presente trabajo expone los resultados comparativos entre RAF originados en diferentes procesos de fundición al usarlos como parte del diseño de mezclas de hormigones de cemento portland y su comportamiento desde el punto de vista ambiental. Estos resultados ponen en evidencia la factibilidad de incorporar los RAF a hormigones de cemento portland de uso vial.

## INTRODUCCIÓN

Las fundiciones son industrias que producen piezas a partir de la fusión de metales y su incorporación a un molde de arena. Cuando el metal se solidifica, la pieza es extraída colapsando el molde. Las arenas utilizadas en los moldes y noyos (generan huecos o cavidades en las piezas) son el principal residuo generado por las industrias de fundición.

Los moldes se elaboran empleando distintos aditivos que dependen del proceso productivo y el tipo de pieza a producir.

La generación de arenas de moldeo y noyo se estima en 1 kg cada 1 kg de pieza de hierro/acero terminada, y esta relación aumenta 4 en 1 para aleaciones livianas como el aluminio, por lo que los volúmenes generados son de gran magnitud.

Existen tecnologías internas en algunas empresas que permiten recircular parte de las arenas, sin embargo una proporción debe descartarse y es en esta instancia cuando se generan los Residuos de Arenas de Fundición (RAF).

\* Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata

\*\* Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires

La gestión de los RAF como residuos industriales no especiales o especiales representa un costo importante a absorber por las fundiciones, siempre y cuando la gestión se realice en el marco de la ley vigente. Cuando esto no sucede, los RAF son dispuestos como material de relleno en cavas o terrenos bajos, con la potencial contaminación del medio ambiente, en particular del recurso hídrico subterráneo.

Utilizar los RAF como materia prima del Hormigón es una alternativa que permitiría valorizar el residuo, disminuyendo así los costos para las empresas que lo gestionan correctamente y el riesgo de contaminación para aquellas que actualmente los manejan deficientemente.

Al analizar el comportamiento de los hormigones con incorporación de RAF es importante realizar ensayos de lixiviación que pongan en evidencia la fijación de los compuestos químicos contaminantes presentes en éstos.

## **OBJETIVO DEL TRABAJO**

Analizar comparativamente el comportamiento de hormigones con incorporación de RAF obtenidos en distintos procesos productivos de fundición.

## **TIPOS DE RAF UTILIZADOS**

Los RAF utilizados para este trabajo corresponden a dos procesos productivos diferentes, cuyas características se detallan en la Tabla 1.

El tipo de arena utilizado para la elaboración del molde, el aglomerante utilizado y la recirculación interna son los factores de mayor importancia a la hora de caracterizar los RAF ya que al colapsar el molde, los RAF 1 lo hacen en forma desagregada y conglomerada en terrones mientras que las RAF 2 lo hace en forma desagregada.

Es de destacar que los RAF poseerán compuestos químicos absorbidos a lo largo del proceso especialmente por el tipo de aglomerante utilizado. En la Tabla 2 se observan los valores obtenidos en las determinaciones de metales pesados para los RAF 1 (a) - (b) y RAF 2 (a) - (b) extraídos por ensayos de lixiviación. Estos ensayos se realizaron bajo la norma EPA SW (1986), donde las muestras son trituradas y agitadas durante 24 horas a un pH = 5.

Tabla 1. Origen de los RAF estudiados

Característica	RAF 1		RAF 2	
	(a)	(b)	(a)	(b)
Metal fundido	Aluminio	Aluminio	Hierro gris	Hierro nodular
Tipo de Arena de Moldeo	Base a resina (Lino cure)	<u>Recirculada</u> Base a resina (Lino cure)	Arena en verde Tierra sintética	Arena en verde Tierra sintética
Aglomerantes	Resina de reacción poliuretánica	Resina de reacción poliuretánica	Bentonita, carbón mineral, otros	Bentonita, carbón mineral, otros
Moldeo	Manual en caja	Manual en caja	Manual Mecánico	Manual Mecánico
Tipo de Producción	Discontinua, una sola pieza	Discontinua, una sola pieza.	Continua, grandes series	Continua, grandes series
Recirculación	Un solo uso y descartada	Desagregado y reciclado	≅ 90 %	≅ 90 %
Característica física	Agregado en terrones	Desagregado y agregado en terrones	Desagregado	Desagregado

Los resultados obtenidos en las determinaciones de metales en el lixiviado evidencian que para el RAF 1 (a) y (b) el Plomo lixivió en una proporción muy significativa, al igual que el Cinc para el 1 (b). Para el caso de las RAF 2 (a) y (b) el Cobre es el metal extraído más significativo.

Tabla 2: Valores de lixiviados en RAF 1 y RAF 2

Metales determinados	RAF 1		RAF 2	
	(a)	(b)	(a)	(b)
Cobre (mg./Kg.)	4.2	3.4	15.2	15.0
Cinc (mg./Kg.)	4.4	37.0	4.8	4.7
Níquel (mg./Kg.)	1	Nd	nd	Nd
Plomo (mg./Kg.)	70.0	157.0	0.2	0.2
Cadmio (mg./Kg.)	0.4	0.4	1.4	1.4
Cromo (mg./Kg.)	nd	nd	nd	Nd
Hidrocarburos totales (g/Kg)	0.64	0.76	--	--

## ESTUDIOS DE LOS HORMIGONES

Para el estudio de los hormigones se elaboraron para cada RAF dosificaciones específicas con un patrón de referencia. De esta forma se pretendió

obtener resultados comparables en los hormigones con y sin incorporación de RAF en asentamiento, resistencia a la compresión ( $f'c$ ) (Tabla 3) y succión capilar (Tabla 4).

Tabla 3: Características comparadas de los hormigones

Materiales p/1m <sup>3</sup> y ensayos	Hormigón RAF 1			Hormigón RAF 2		
	Patrón	RAF (a)	RAF (b)	Patrón	RAF (a)	RAF (b)
Cemento [kg]	245	245	245	350	350	350
Escoria [kg]	105	105	105	150	150	150
Agua [kg]	175	175	175	180	180	180
Agregado grueso [kg]	1120	1000	1000	1019	1019	1019
Agregado fino [kg]	644	644	644	670	535	535
RAF [kg]	0	120	120	0	135	135
Incorporador de aire [litros]	0.186	0.186	0.186	0	0	0
Superfluidificante [litros]	0	0	0	3	3	3
Asentamiento [cm]	11	10	11	10	9	8
Contenido de aire [%]	4	4	4	3	3	3
$f'c$ 28 días [MPa]	30,0	30,0	24,6	40.6	39.0	37.0
$f'c$ 60 días [MPa]	44,6	40,7	35,8	48.8	45.1	47.6
$f'c$ 90 días [MPa]	46.1	42.2	37.0	51.0	51.7	51.3

Tabla 4: Resultados comparados de succión capilar

Succión Capilar				
		Hormigón	Capacidad (lg/m <sup>2</sup> )	Velocidad (g/m <sup>2</sup> /seg <sup>1/2</sup> )
RAF 1	Patrón		2233.1	3.72
	RAF (a)		1855.0	2.96
	RAF (b)		2138.2	3.48
RAF 2	Patrón		1763.4	3.89
	RAF (a)		1507.5	3.15
	RAF (b)		1487.1	3.13

En la Tabla 5 se resumen las determinaciones de los lixiviados obtenidos sobre los hormigones a los 90 días y procesados según lo especificado en las normas EPA.

Tabla 5: Lixiviados obtenidos sobre muestras de hormigón comparados

Muestras	RAF 1			RAF 2		
	Patrón	RAF (a)	RAF 1 (b)	Patrón	RAF 2 (a)	RAF 2 (b)
Cobre (mg./Kg.)	2.40	3.00	3.00	4	10.8	11.4
Cinc (mg./Kg.)	nd	nd	nd	14	32	40
Niquel (mg./Kg.)	7.4	6.2	3.80	42	14	12.4
Plomo (mg./Kg.)	2.4	2.2	2.80	nd	nd	nd
Cadmio (mg./Kg.)	1.2	1	1.20	nd	nd	nd
Cromo (mg./Kg.)	1	1	1	3	7.2	10.4

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

De los resultados obtenidos con los hormigones estudiados se infiere que independientemente del origen de los RAF, si se tiene un conocimiento apropiado del residuo se pueden lograr hormigones que cumplan con las especificaciones de las normas de medio ambiente y no modifiquen su prestación en las obras para las que fueron diseñados.

Los RAF que tienen como contaminantes hidrocarburos, pueden ser fijados en hormigones con aire intencionalmente incorporado con buenos resultados, disminuyendo la velocidad y capacidad de la succión capilar, con una disminución de la resistencia a medida que aumenta este contaminante. En estos hormigones el reemplazo es por el agregado grueso, por las características físicas del residuo.

En el caso de los RAF procedentes de fundiciones de hierro, los hormigones con aditivos superfluidificantes, utilizados para mantener la trabajabilidad, favorecen su fijación manteniendo las características del hormigón patrón, no viéndose afectada la resistencia y manteniendo los valores de succión capilar. El RAF reemplaza al agregado fino en estos hormigones.

Todos los hormigones se comportan satisfactoriamente como medio de fijación estable de los compuestos de los RAF que pueden ser contaminantes al medio ambiente.

## CONSIDERACIONES FINALES

En este trabajo se pudo comparar la respuesta del comportamiento de un medio de fijación cálcico para RAF resultantes de diferentes procesos de fundición.

Los valores de lixiviados contaminantes en todos los hormigones analizados están por debajo de lo especificado en las normas de control del medio ambiente.

Si bien en las experiencias ejecutadas hay un buen comportamiento de los hormigones comparativamente ante la presencia de los RAF, resulta necesario tener

en cuenta variaciones en su composición en función del residuo fijado.

Estos antecedentes, llevaron a la firma de un Convenio entre la Universidad del Centro, la Universidad tecnológica Nacional Facultad Regional la Plata, el Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica (LEMIT-CIC) y la Municipalidad de Tandil, para ejecutar cuatro cuadras de pavimento de hormigón en la Zona Industrial de la localidad de Tandil, cuyo comportamiento se examinará en el tiempo y sus resultados serán motivo de presentaciones próximas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- (1) Miguel R. E., Banda Noriega R. B.E, Barreda M. F. , Monzón J.D., Sota J. D. "Hormigones de cemento portland con arenas de fundición. Bases para la gestión sustentable" Proceeding 16<sup>a</sup>. Reunión Técnica de la AATH. Pag. 79. (2006)
- (2) Sota J.D., Barreda M.L., Monzon J.D., Banda Noriega R.B., Miguel R.E., "Hormigones de cemento Pórtland con arenas de fundición. Revista Cemento Hormigón. N° 900 Año LXXVIII Abril 2007. España.
- (3) Manual de arenas para fundición. Illinois, A.F.S., (1985).
- (4) Varni, M.; González Castelain, J.; Weinzettel, P.; Rivas, R.; Arias, D.; Extraigas, I.. "Evaluación de Impacto Ambiental", Metalúrgica Tandil, División Aluminio. Instituto de Hidrología de Llanuras. U.N.C.P.B.A. . (1998)
- (5) Miguel E., Banda Noriega R. y Sota J.D., "Residuos de arenas de fundición. Bases para la gestión sustentable"; Congreso y Exposición Mundial ISWA 2005. Soporte Electrónico. T-178. Buenos Aires. (2005).
- (6) CIRSOC 201, Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón.
- (7) Norma IRAM 1871. Hormigón. Método de ensayo para determinar la capacidad y la velocidad de succión capilar de agua del hormigón endurecido.
- (8) Bálzamo H.M. et. al. "Capacidad y velocidad de succión capilar como parámetro de diseño de durabilidad". El hormigón estructural y el transcurso del tiempo. Memorias Simposio FIB 2005. pp. 241-248. LA Plata Argentina. (2005)