

VALOR AGREGADO DE UN RESIDUO CONTAMINANTE AL RESOLVER UN PROBLEMA TECNOLÓGICO

Sota Jorge D., Barreda Marcelo.
Centro de Investigaciones Viales LEMaC. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La
Plata. Calle 60 y 124 (1900) La Plata-Buenos Aires-Argentina.
e-mail: jdsota@netverk.com.ar

Resumen

Las sociedades desarrolladas generan una cantidad de residuos: industriales, domésticos, de construcción y demolición, etc., que necesitan una gestión adecuada. Esta problemática ha merecido atención creciente de administraciones, empresas o grupos de interés no gubernamentales, en función de proteger el medio ambiente. Las políticas se han orientado a prevenir la producción de residuos y/o a gestionar adecuadamente su disposición, comprometiendo a los tecnólogos para lograr la disposición apropiada de los mismos. El residuo contaminante (catalizador agotado del proceso de cracking catalítico) generado en la destilación de petróleo, en su disposición en hormigones de cemento portland, ha demostrado ser un buen inhibidor de la reacción álcali-sílice, en un porcentaje apropiado. Este residuo cumple con todas las exigencias de los ensayos de lixiviación de las Normas EPA, además de tener un buen comportamiento desde el punto de vista físico-mecánico en los hormigones utilizados. En este trabajo se muestran los resultados obtenidos siguiendo los ensayos de las normas IRAM 1674 y 1700. Los mismos indican que es posible usar el residuo en los hormigones de cemento portland, como agregado fino o como una adición activa frente a la RAS. No obstante se deben tomar las precauciones propias del uso de un residuo de estas características.

Palabras claves: Hormigón, residuo contaminante, adiciones, aditivos reductores de agua de alto rango, durabilidad, álcali-sílice.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el problema de encontrar destino final a desechos industriales ha cobrado suma importancia. Entre los residuos contaminantes que se originan en la industria del petróleo se encuentran los catalizadores agotados del proceso de cracking catalítico.

El hormigón convencional posee tres componentes principales: el agua, el ligante y los agregados. El hormigón se constituye además en un buen medio para alojar otros componentes, que deben ser fijados en una estructura inerte, con el propósito de disminuir su impacto al medio.

Al incorporar un desecho en el hormigón, cuatro condiciones deben ser consideradas en la adecuada dosificación del mismo: economía, trabajabilidad, resistencia y durabilidad; tener en cuenta como varían las propiedades involucradas, y confrontar esta variación con los valores que se consideran aceptables a la aplicación prevista. Finalmente, debe evaluarse la capacidad del hormigón para fijar el desecho dentro de su propia matriz.

Luego de logrados estos objetivos, en algunos casos se puede estudiar la posibilidad de lograr un valor agregado al producto resultante, con un aprovechamiento de la composición o características del material. [1]

En esta ocasión, las características del material, aunadas a la experiencia en el manejo de soluciones ante patologías de durabilidad, se consideró el empleo del mismo como inhibidor de la reacción álcali-agregado. Los productos de esta reacción son geles que al aumentar su tamaño dentro del hormigón, generan tensiones que superan la resistencia a tracción del hormigón originando fisuras y desprendimientos. A fin de estudiar el comportamiento del residuo frente a la reacción, se hicieron estudios utilizando un método acelerado, obteniendo resultados en principio satisfactorios.

MATERIALES EMPLEADOS

En las experiencias se empleó un cemento portland con filler calcáreo CPF40, que cumple con la norma IRAM 50000/02 [2].

El residuo contaminante es un catalizador agotado, con presencia de metales pesados. En la Tabla 1 se presenta el análisis de metales pesados presentes en el líquido de lixiviado, procedimiento de extracción normas EPA [3, 4]. La absorción de agua del material luego de 24 hs. de inmersión, es del 13,5%. La Fig. 1, muestra al material bajo una lupa de 30 aumentos.

Tabla 1 – Cationes presentes en el lixiviado del catalizador agotado

Catión	Cu	Cd	Zn	Co	Cr	Mn	Ni	Ag	Pb	V	HT
Ppm	0.07	0.01	0.11	0.10	<0.20	0.18	0.14	<0.02	<0.10	<0.10	21.85

(HT) Hidrocarburos Totales - (ppm) partes por millón



Fig. 1. Muestra seca. Lupa Binocular 30 aumentos. Luz Lateral.

Los agregados utilizados en las experiencias corresponden a arenas silíceas de río y piedra partida granítica

Fueron utilizados dos tipos de aditivos superplastificantes para el hormigón: uno de un rango de reducción de agua del 30% aproximadamente y otro de un rango de reducción de agua del 40% aproximadamente. [5, 6]

METODOLOGÍA UTILIZADA Y HORMIGONES ESTUDIADOS

Se dosificó un hormigón patrón (Tabla 2, pastón 0) que fue tomado como base para la fabricación de los hormigones con distintos porcentajes incorporados de residuo. Para satisfacer parámetros de durabilidad se fijó una relación agua / cemento máxima igual a 0,45. Además se dosificaron hormigones con menor contenido unitario de cemento y usando un aditivo de mayor rango de reducción de agua.

El residuo se incorporó en estado seco, junto con el agua correspondiente a su absorción, en porcentajes peso seco en peso seco de 20% y 30%, y se redujo en estas cantidades el peso de la arena fina respecto al hormigón patrón (Tabla 2, pastones 1 a 7 y 10). Además, se prepararon hormigones con 20%, peso seco en peso seco del cemento, de residuo saturado superficie seca (Tabla 2, pastones 8 y 9).

Los pastones 3 a 8 se realizaron con el aditivo superplastificante reductor de agua de rango de reducción del 30%, en dosis del 2% respecto al peso del cemento.

En los pastones 9 y 10 se incorporó el aditivo reductor de agua de rango de reducción de agua del 40% en dosis del 0,8% respecto al peso del cemento.

Tabla 2 – Características de los hormigones

PASTONES	P-0	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10
Materiales											
Cemento (Kg)	411	411	411	411	411	370	370	370	370	370	370
Agua (Litros)	185	185	195	185	185	167	167	167	167	167	185
Piedra (Kg)	1036	1036	1036	1036	1036	1036	1036	1036	1036	1036	1036
Arena G. (Kg)	461	461	461	461	461	521	521	521	521	521	521
Arena F. (Kg)	276	194	153	194	153	310	199	236	236	236	199
Residuo (Kg)	0	82	123	82	123	0	111	74	74	74	111
Aditivo (litros)	0	0	0	6.6	6.6	5.9	5.9	5.9	5.9	3.0	3.0
Hormigón Fresco											
Asentamiento (cm)	15	7	7	22	21	22	6	21	16	25	3
Asentamiento (cm) 30 min	--	--	--	--	--	--	--	0.5	2	19	--
% de Aire incorporado	2.5	2.0	2.8	4.1	3.5	7.5	2.9	6.5	--	4	--
Hormigón Endurecido											
σ' Comp. 3 Días (MPa)	19.7	18.1	15.4	20.6	20.2	18.7	19.3	19.5	23.9	23.6	23.2
σ' Comp. 7 Días (MPa)	29.9	24.1	27.7	31.4	26.7	28.7	27.0	32.1	29.0	33.0	33.4
σ' Comp. 28 Días (MPa)	35.4	41.2	43.3	40.1	41.8	32.1	37.9	40.0	39.5	46.2	42.5
Módulo de Elasticidad (GPa)	24.6	22.9	25.1	28.7	26.7	22.4	25.7	24.4	25.6	27.5	29.0

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Trabajabilidad e incorporación de aire

En los pastones 3 a 8, donde se utilizó el aditivo superplastificante reductor de agua de alto rango, se advierte un notable aumento de fluidez respecto de mezclas similares sin aditivo. Los asentamientos fueron medidos inmediatamente después de efectuado el mezclado del hormigón, observándose una rápida pérdida de fluidez en el hormigón con residuo incorporado. Por ejemplo la mezcla 7, con un asentamiento instantáneo de 21 cm, al cabo de 30 minutos presentó un asentamiento casi nulo.

Cuando el residuo se utilizó en estado saturado, con 24 horas de inmersión, (Tabla 2, Pastones 8 y 9) se observa un mejor comportamiento del hormigón en

estado fresco frente a los hormigones en los cuales el residuo se introdujo en estado seco en la hormigonera, adicionándole el agua de saturación junto al agua de mezclado (Tabla 2, Pastones 6 y 10). Podrían explicarse estos resultados por el gradiente de absorción del residuo. El material inicialmente incorporaría un gran volumen de agua en sus poros y luego tendría una etapa de menor velocidad de absorción. El agua absorbida sería determinante en la cantidad de agua que lubrica la mezcla, la que iría disminuyendo progresivamente en el tiempo.

La incorporación del aditivo disminuye en una pequeña cantidad el volumen de aire incorporado, debido tal vez a la finura del catalizador.

En el caso del pastón 8, aun cuando se incorporó el residuo saturado, se produjo una importante pérdida de asentamiento en el tiempo. Este efecto podría ser atribuido a algún tipo de interacción entre el aditivo y el catalizador, que disminuiría la capacidad del aditivo superplastificante para dispersar las partículas de cemento. Es decir que el aditivo se adsorbería sobre el catalizador en lugar de hacerlo sobre el cemento. El efecto mencionado no se presentó en el pastón 9, donde se usó el aditivo reductor de agua de muy alto rango. (Tabla 2).

Evaluada la trabajabilidad de las mezclas surge que el porcentaje máximo de incorporación puede ser del orden del 20%. Éste es el máximo porcentaje que permite mantener el mismo asentamiento que el del hormigón patrón, mediante la incorporación del aditivo superplastificante.

Durabilidad

La determinación de la permeabilidad en el hormigón endurecido, se realizó con el método de la penetración de agua a presión a edad de 28 días [7]. El método consiste en forzar la penetración de agua en una sección determinada que será función del diámetro o lado de la probeta. La medida de penetración máxima del agua en el hormigón está dada por el valor medio del frente de penetración en cada probeta. La media aritmética se obtiene del relevamiento del contorno del frente de penetración de agua, marcado en el plano de fractura.

Las probetas utilizadas en las experiencias son cilíndricas de 15x30 cm y se curaron a 22°C y 90 % de humedad hasta la edad de ensayo (28 días). El agua empleada en los ensayos fue agua para análisis y la temperatura de la sala de ensayo 23°C con 50-60% de humedad relativa ambiente.

En los hormigones con y sin catalizador los valores determinados de la penetración máxima de agua en el hormigón endurecido fueron menores de 20 mm. En todos los casos estudiados la media aritmética de penetración de agua no superó los 20 mm.

Propiedades Mecánicas

Si se estudia la evolución de resistencia con la edad, puede notarse que a edades tempranas, la incorporación del catalizador disminuye la resistencia, pero a edades avanzadas las aumenta. Esto podría atribuirse a un efecto causado por la disminución de la finura media de los agregados cuando se incorporan mayores porcentajes del residuo. Para edades tempranas, donde la adherencia matriz-agregado es baja, la incorporación del residuo influye negativamente en la resistencia. Para edades avanzadas, donde la adherencia entre la matriz y el agregado se ha desarrollado, aumentada en función de la hidratación más completa

del cemento, el catalizador actúa causando un efecto de llenado de espacios que aumentaría la resistencia del hormigón.

El efecto de llenado se verifica en los valores del módulo de elasticidad, que son mayores en los hormigones con incorporación de residuo. Por otro lado, debido a que el catalizador posee una mayor absorción de agua que la arena silícea, esta característica también sería determinante, quizás la más importante, de la ganancia y evolución de resistencia.

El mayor aumento de resistencia a compresión debido a la incorporación del catalizador fue 25% del valor correspondiente al hormigón patrón.

Fijación del residuo

Se determinaron los cationes pesados lixiviados, por absorción atómica sobre el líquido de lixiviación del Pastón 9 con 20% de residuo, referidos a ese porcentaje de incorporación (Tabla 3). El procedimiento se aplicó sobre el hormigón pulverizado y el método de extracción es el aplicado al residuo puro.

Tabla 3 – Análisis del lixiviado del hormigón

Catión	Cu	Cd	Zn	Co	Cr	Mn	Ni	Ag	Pb	V	HT
ppm	<0.02	0.01	0.06	0.07	<0.20	<0.11	<0.10	<0.02	<0.10	<0.10	12.17

Hydrocarburos Totales (HT) - ppm: partes por millón

Comportamiento del residuo en mezclas con agregados reactivos

Comprobado el comportamiento del residuo en el hormigón y certificado que su fijación no entrega al medio elementos de contaminación por lixiviación, se procedió a estudiar el mismo desde el punto de valor agregado a hormigones que tuviesen características particulares. El tipo de partículas y el grado de absorción del residuo orientó su uso como una adición activa en la inhibición de la reacción álcali sílice.

Siguiendo la metodología de la Norma IRAM 1674 (método acelerado), se hicieron mezclas con un agregado de reacción rápida, comprobada en estudios anteriores sin o con la adición del 20% de catalizador agotado en reemplazo de la arena. [8] Los resultados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4 – Variaciones de volumen de las mezclas. Norma IRAM 1674

Mezcla	Variación de volumen (%) a la edad de días				
	6	8	13	16	28
Patrón	0.197	0.332	0.479	0.542	0.649
20% Catalizador	0.008	0.011	0.019	0.034	0.059

Siendo éste un método acelerado (80 °C) y muy agresivo (solución de NaOH al 1N), los resultados obtenidos no dejan en principio dudas sobre la eficiencia de esta adición para inhibir la reacción álcali-sílice en la combinación estudiada. Figuras 1 y 2.

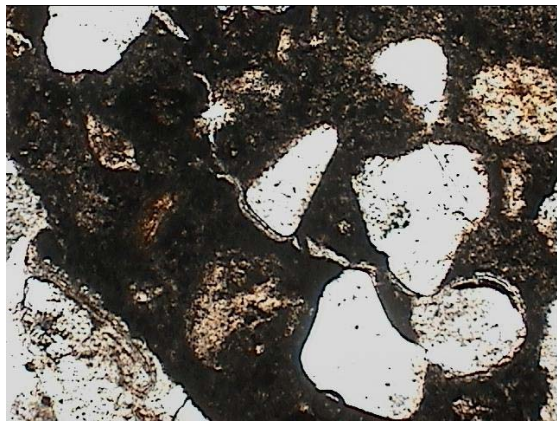


Figura 1- Mortero sin adición de catalizador. Geles y fisuras de RAS

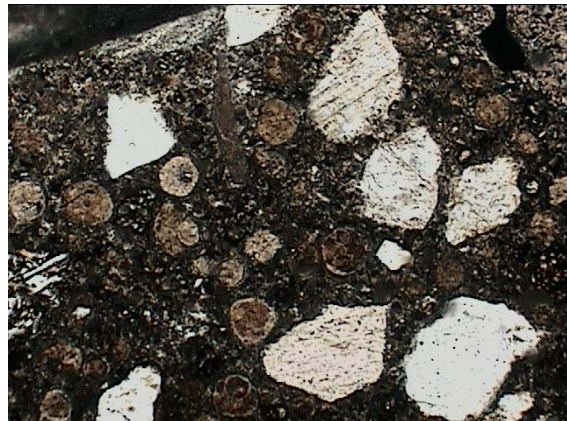


Figura 2 – Mortero con adición de catalizador. Muy pequeños geles de RAS sin fisuras.

Para confirmar los resultados obtenidos con el método acelerado de la Norma IRAM 1674, se dosificaron hormigones siguiendo los lineamientos de la Norma IRAM 1700 usando diferentes mezclas de agregados. (10)
Se utilizaron agregados de probada reactividad de características rápidas y lentas, gruesos y finos. En la Tabla 5 se vuelcan los resultados obtenidos.
En los mismos se confirma la eficacia de esta adición para inhibir la reacción álcali - sílice. Sin embargo, sobre la base de nuestra experiencia, se usó en este caso un porcentaje de adición menor al determinado en las experiencias como el óptimo a fin de estudiar su efecto en las mezclas comparadas. En este caso cuando se adicionó 5% del catalizador las expansiones de este hormigón superaron las del patrón (Mezcla I); pero en las mezclas II y III, se comportó como inhibidor.

CONCLUSIONES

Del estudio realizado, se desprenden las siguientes conclusiones que resultan válidas y aplicables a hormigones elaborados con materiales de similares características:

1. El catalizador agotado puede ser incorporado en el hormigón de cemento portland comportándose como una adición física.
2. El residuo debe incorporarse al hormigón en estado saturado superficie seca para evitar la pérdida rápida de asentamiento de la mezcla.
3. La adición del catalizador no disminuye la resistencia del hormigón.
4. Desde el punto de vista ambiental las mezclas propuestas cumplen con los límites exigidos habitualmente, tanto para cationes como para los contenidos lixiviados de hidrocarburos totales.
5. En la mezcla de materiales analizada con la Norma IRAM 1674, el residuo inhibió el desarrollo de la RAS.

6. El estudio de diferentes agregados con la Norma IRAM 1700, desde el punto de vista de su velocidad de reacción deletérea, confirma que este material es inhibidor de la RAS en los porcentajes utilizados y para los conjuntos de agregados estudiados, implicando un valor agregado a este tipo de hormigones, aportado por un residuo contaminante.

REFERENCIAS

1. Evaluación de un catalizador agotado para su utilización en hormigones de cemento portland. Informe LEMaC, Área de estructuras y Materiales de Construcción. año 2003.
2. IRAM 50000 Cemento. Cemento para uso general. Composición, características, evaluación de la conformidad y condiciones de recepción. 27 p. Año 2000.
3. EPA 1311. Toxicity Characterization Leaching Procedure RCRA 8 Metals, 1992.
4. EPA 3550 C. Ultrasonic Extraction, Revision 3, December, 2000.
5. Barreda M. F.^a, Villagrán Y.A.^a, Sota J.D EFECTIVIDAD DE ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA DE ALTO RANGO PARA EL HORMIGÓN DE ALTO DESEMPEÑO. JORNADAS SAM/CONAMET/SIMPOSIO MATERIA 2003 09-21
6. Barreda M. F., Villagrán Y.A., Sota J.D. ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE ADITIVOS SUPERFLUIDIFICANTES PARA EL HORMIGON UTILIZADO EN PAVIMENTOS DE RÁPIDA HABILITACIÓN AL TRÁNSITO. Anales XIV Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad de Cauca. Colombia. 2003.
7. IRAM 1554 Hormigón de Cemento Pórtland. Método de determinación de la penetración de agua presión en el hormigón endurecido. 12 p. Año 1983.
8. IRAM 1674. Agregados. Determinación de la reactividad alcalina potencial. Método acelerado de la barra de mortero. 13 P. Año 1997.
9. Sota J.D., Barreda M. F., Memorias FIB. 2005.
10. IRAM 1700. Agregados. Método del prisma de hormigón.

Tabla 5 – Expansiones medidas en barras de hormigón – Norma IRAN 1700

Combinaciones		Mezcla I			Mezcla II			Mezcla III		
Agregados	Grueso	90P/10AC	90P/10AC	90P/10AC	100P	100P	100P	100Cb	100Cb	100Cb
	Fino	100 O	95O/5C	80O/20C	100 A	95A/5C	80A/20C	100 O	95O/5C	80OC
Expansión (%) a la edad de (semanas)	1 S	0.019	0.006	0.009	0.000	0.002	0.006	0.008	0.003	0.001
	2 S	0.042	0.012	0.003	0.000	0.000	0.001	0.008	0.000	0.000
	4 S	0.073	0.050	0.003	0.000	0.000	0.002	0.005	0.000	0.004
	8 S	0.099	0.134	0.008	0.000	0.007	0.009	0.008	0.007	0.005
	13 S	0.128	0.170	0.000	0.007	0.001	0.001	0.011	0.000	0.001
	18 S	0.143	0.201	0.008	0.050	0.006	0.008	0.018	0.001	0.005
	39 S	0.181	0.221	0.004	0.167	0.011	0.004	0.030	0.002	0.007
	52 S	0.193	0.258	0.015	0.257	0.011	0.010		0.011	0.014

Notas: P =Cantera de Granito; AC=Arenisca; Cb= Cantera de Granito; O= Arena Oriental; A=Arena del Río Allem; C=Catalizador