

Mezclas asfálticas

Mezclas asfálticas en caliente: un medio para la valorización de residuos de arenas de fundición

Ing. Rosana G. Marcozzi
tecnologiavial@lemit.gov.ar
Prof. Jorge D. Sota
CIC - LEMIT, La Plata, Argentina. jdsota@netverk.com.ar
Ing. Rozana B. Banda Noriega
rbanor@fch.unicen.edu.ar
Lic. Roberto E. Miguel
CIC - CINEA UNCPBA, Tandil, Argentina. rmiguel@fch.unicen.edu.ar

Fecha de recepción: 14 de abril del 2008

Fecha de aprobación: 17 de julio del 2008

Resumen

Las industrias de fundición generan importantes cantidades de residuos de arenas de fundición (RAF) que deben ser finalmente dispuestos con seguridad. En la ciudad de Tandil, como en tantas otras partes del mundo, estos residuos han sido dispuestos como material de relleno con total desconocimiento de las implicancias ambientales.

Actualmente en la gestión de dicho residuo se ha planteado la alternativa de valorizarlo como insumo en mezclas asfálticas fabricadas en caliente.

Además de los ensayos de evaluación de comportamiento, el presente trabajo propone metodologías para evaluar la posibilidad de la inmovilización en mezclas asfálticas en caliente de ciertos contaminantes presentes en estas arenas.

Palabras clave: mezclas asfálticas, residuos de arena de fundición, parámetros de comportamiento, lixiviado

Abstract

The foundry industries generate large amounts of foundry sands waste that must to be finally disposed carefully. In the city of Tandil, like in other cities around the World, these wastes have been disposed in ditches creating a situation of uncertainty of the potential risk of environmental pollution.

Nowadays, regarding the management of this kind of wastes, one of the proposed issues is the use of these foundry sands as part of the raw materials in the hot mix asphalt production.

In addition to the evaluation of performance tests, this study proposes methodologies to evaluate the possibility of HMA immobilization of certain pollutants present in these sands.

Key words: hot mix asphalt, foundry sands, performance parameters, lixiviation

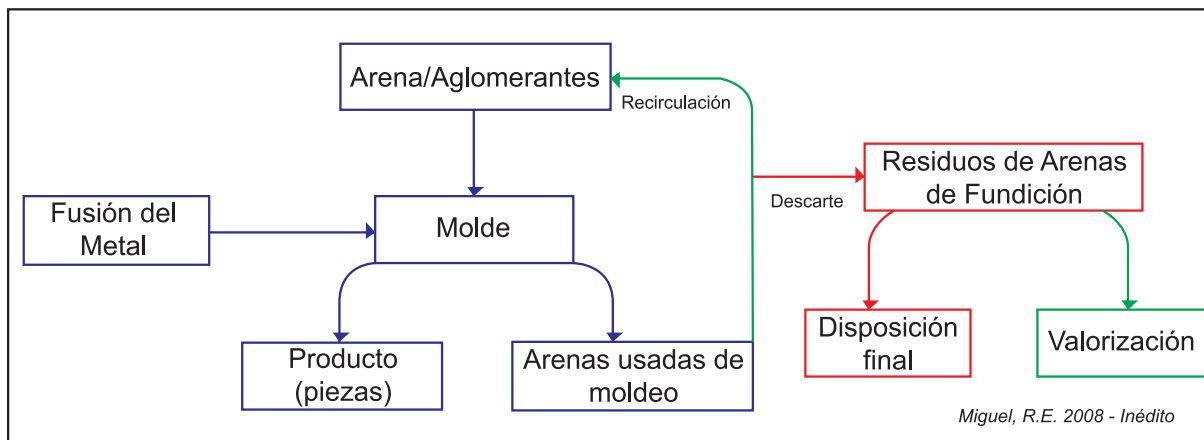
Introducción

Las fundiciones son industrias que producen piezas de metales en aleaciones ferrosas (hierros, aceros) y no ferrosas (aluminio, bronce, cobre, zamak etc.).

El proceso de fundición (Figura 1) consta de la fusión del metal y su incorporación a un molde elaborado con arenas de moldeo que es el negativo de la pieza a producir. Cuando el metal se solidifica se colapsa el molde y se extrae la pieza resultante quedando como residuo las arenas usadas de moldeo. Una parte de éstas se recicla dentro del mismo proceso productivo, sin embargo, una gran parte debe descartarse

Generación de residuos de arenas de fundición y alternativas de gestión

Figura 1



Miguel, R.E. 2008 - Inédito

Figura 2 Disposiciones de RAF en cava de ladrillera



generándose así los Residuos de Arenas de Fundición (RAF).

Existen diferentes tipos de arenas de moldeo, las aglomeradas químicamente (resinas fenol formaldehído, alquídico uretano, fenólico uretano, fenol formaldehído, urea – formol modificada con furfúrico, fenol formaldehído, silicato de sodio – éster) y las aglomeradas físicamente (aceites secantes, mogul, bentonita, alcohol, carbón mineral y estearina).

Las arenas de moldeo descartadas serán un RAF que tendrá características químicas y físicas derivadas de la utilización de aglomerantes y de otras particularidades del proceso productivo como el tipo de metal fundido, el espesor de molde, la recirculación de arena usada, entre otras.

Los RAF en el mundo fueron exitosamente utilizados como material de relleno, pero esta práctica se convirtió en un problema por los costos de disposición que se incrementaron rápidamente y los ajustes de la legislación (JI, S. y otros 2000). A esto debe sumársele el desconocimiento de las implicaciones ambientales de este tipo de disposición, especialmente en relación al recurso hídrico subterráneo. En la ciudad de Tandil, uno de los centros de fundiciones más importantes de la Argentina, la disposición de RAF en cavas y terrenos bajos continúa siendo una alternativa utilizada (Figura 2). El desconocimiento acerca de las características químicas de los RAF es prácticamente total y se disponen como si fuera un residuo inerte sin evaluación previa y en algunos casos autorizados por los organismos ambientales.

Figura 3 Relleno de RAF colmatado



La realidad indica que los sitios para disponer RAF están llegando a su colmatación (Figura 3). Sin embargo, disponerlos en rellenos de seguridad es económicamente inviable para los empresarios.

Una industria de fundición genera aproximadamente 4 kg de RAF por kg de pieza producida, si bien existen variaciones dadas por la especificidad de los procesos productivos. A modo de ejemplo, una pequeña industria de fundición a máxima capacidad productiva genera alrededor de 16 toneladas por trimestre (Miguel, R. E. 2004), mientras que una gran empresa puede duplicar esta cantidad diariamente.

Objetivo

El sistema científico académico ha comenzado a responder ante este panorama a través de investigaciones que tratan, por una parte, de *las implicancias de disponer los RAF en cavas y terrenos bajos* (Miguel, R. E. -2008 Inédito) y por otra, de su incorporación como materias primas en otros procesos productivos, es decir, su valorización (Miguel, R. E. y otros 2005).

Dentro de las alternativas de valorización se han evaluado tanto la incorporación de RAF en hormigones de cemento Pórtland (Sota, J. D. y otros 2007) como en mezclas asfálticas (Marcozzi, R. y otros 2007).

El objetivo del presente trabajo es presentar una metodología de análisis de la factibilidad técnica – ambiental de la valorización de un RAF como agregado en Mezclas Asfálticas en Caliente.

Metodología

El programa experimental plantea, desde el punto de vista técnico, la comparación de los parámetros que caracterizan el comportamiento de una mezcla asfáltica

cuando uno de los materiales de su dosificación, en este caso la arena silícea de río, es reemplazado por residuos de arenas de fundición utilizadas en distintos procesos de fundición.

Desde el punto de vista ambiental, el programa plantea la determinación de los compuestos lixiviados al reemplazarse las arenas silíceas por RAFs.

Para el desarrollo del experimento se seleccionó el diseño de una mezcla asfáltica convencional utilizada en el año 2001 en la construcción de una importante ruta de la provincia de Buenos Aires. Esta mezcla tiene un diseño representativo de las mezclas asfálticas utilizadas en dichas rutas y ha sido monitoreada desde su construcción, presentando buen comportamiento mecánico.

En el presente trabajo se analiza el uso de un tipo determinado de RAF, que llamaremos en adelante RAF 1.

Se realizaron juegos de probetas para las determinaciones de los parámetros a evaluar. Las

Granulometrías de la arena silícea patrón y del RAF 1

Figura 4

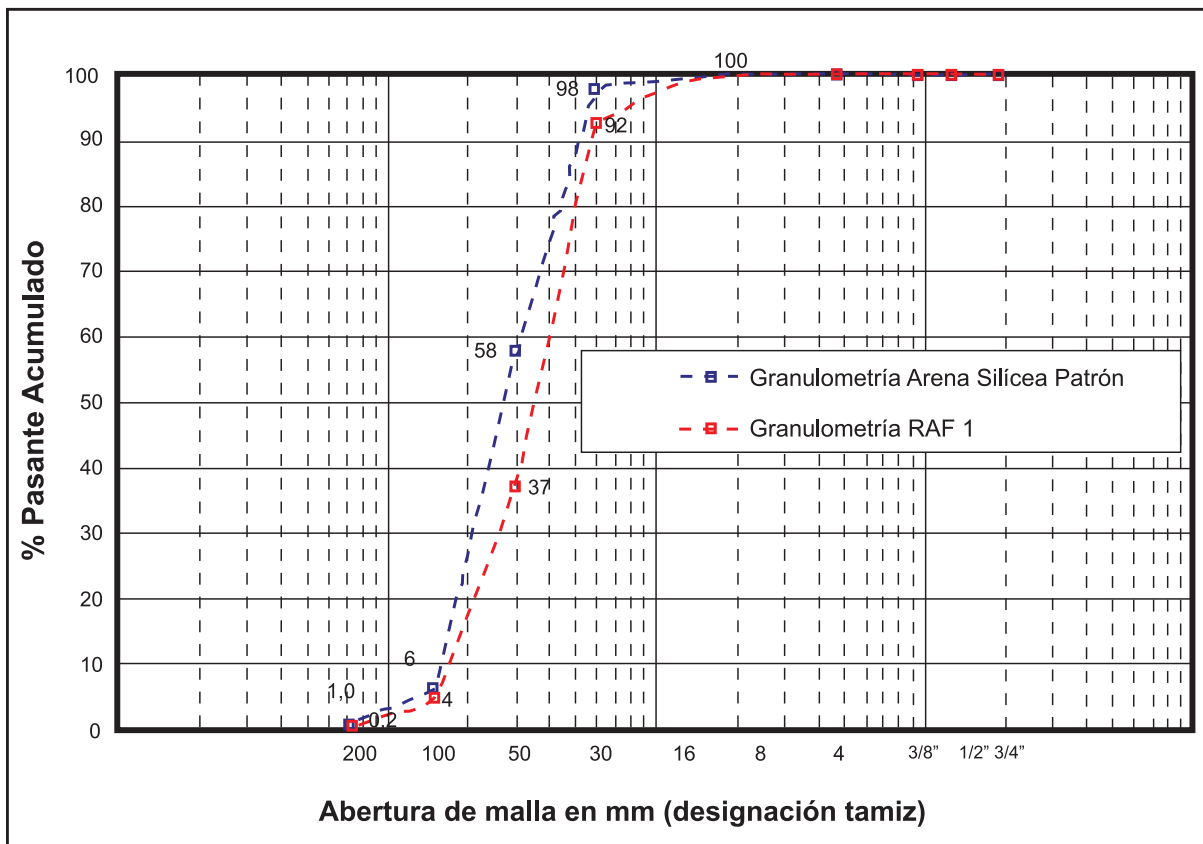


Figura 5 Diseño volumétrico de la mezcla de agregados

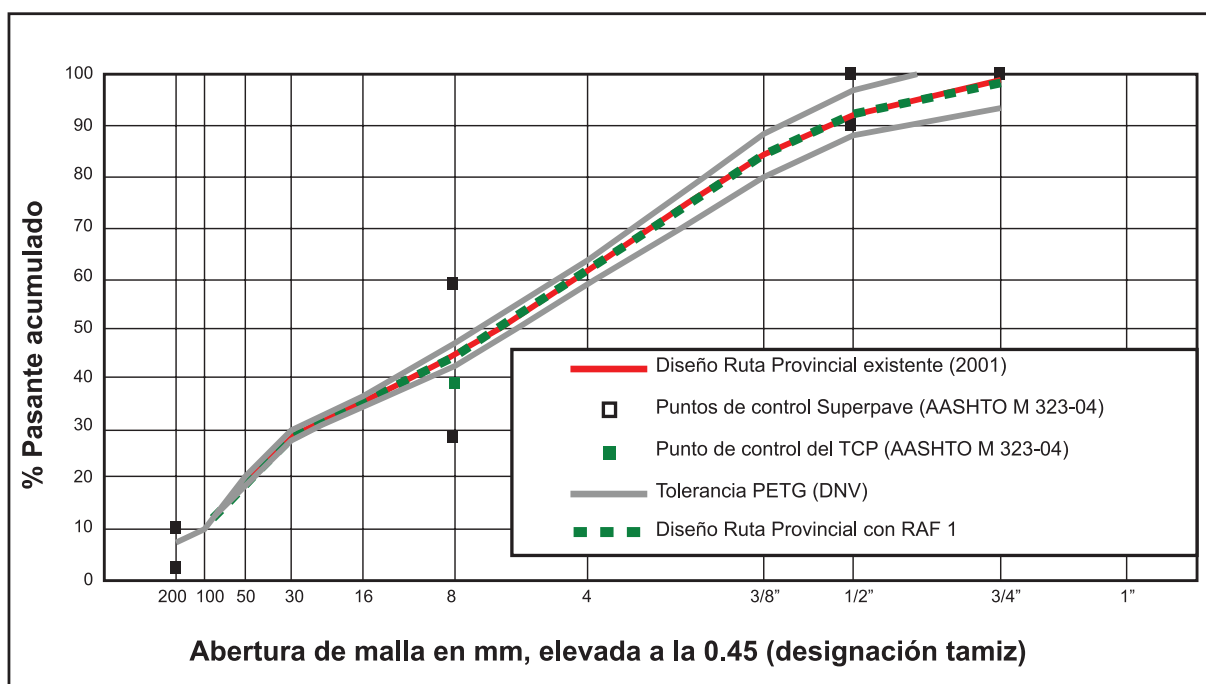


Tabla 1 Dosificación mezcla asfáltica

Tipo de árido	% Árido	% en Mezcla
6-20	42	39,9
0-6	45	42,8
Arena sílicea	11	10,4
Cl	2	1,9
Asfalto	----	5,0
	100	100

probetas Marshall se fabricaron, según diseño, con 50 golpes por cara del pisón Marshall. Las probetas para los ensayos de ahuellamiento se realizaron a densidad prefijada.

Se analizaron los resultados con el fin de determinar si los parámetros mecánicos seleccionados se ven afectados significativamente por el reemplazo de la arena sílicea por RAF 1.

Respecto de los ensayos de lixiviados, las determinaciones se realizaron en muestras extraídas bajo los lineamientos EPA SW 846 (1986) en mezclas asfálticas con y sin agregado de RAF.

Desarrollo experimental y análisis de datos

Materiales

En la República Argentina la designación del cemento asfáltico se realiza actualmente por viscosidad (normativa IRAM 6835) pudiendo ser determinada mediante viscosímetros capilares o mediante viscosímetro rotacional. En el presente trabajo se utilizó un **cemento asfáltico convencional** clasificado como CA-30 cuya viscosidad a 60 °C fue de 3250 Poises, evaluada en el viscosímetro rotacional Brookfield (IRAM 6837 – ASTM D 4402).

Los agregados pétreos comprenden dos fracciones comerciales, denominadas 6-20 y 0-6, de granito triturado proveniente de canteras de la ciudad de Olavarría, Provincia de Buenos Aires. Los materiales presentaron propiedades mecánicas y físicas similares a las de los materiales utilizados en el año 2001. El material más grueso ha debido separarse en las fracciones necesarias para reproducir fielmente la curva granulométrica del diseño realizado en el año 2001.

La arena sílicea utilizada en esta oportunidad se corresponde con la utilizada en 2001 (Río Paraná) siendo sus propiedades físicas y granulométricas similares. En adelante esta arena será considerada arena patrón, es

decir, la arena silícea que se comercializa directamente desde los silos areneros para los procesos constructivos más habituales.

El RAF utilizado para este trabajo corresponde a una fundición de aluminio, la cual utiliza el sistema alquídico uretano. El 98,75% en peso del residuo está conformado por arena de río de granulometría AFS 55/60 y el resto por el aglomerante parcialmente degradado. Según las hojas de seguridad, los aglomerantes están constituidos por isocianatos de difenil metilo (MDI) y catalizadores de sales de plomo y cobalto.

En la Figura 4 se presentan las granulometrías de la arena silícea patrón y la del material RAF 1.

La granulometría obtenida para el uso de un RAF será función del producto aglomerante que requiera el proceso de fundición y de la energía utilizada en la molienda, cuando se requiera. En este caso, el RAF 1 requirió molienda ya que se encontraba aglomerado. El producto de la molienda arrojó un material un poco más grueso (apreciable principalmente en el porcentaje de material pasante por el tamiz N° 50) y un poco más limpio (menor porcentaje de material que pasa por el Tamiz N° 200) que la arena silícea patrón.

Comparación de parámetros de comportamiento

Tabla 2

Parámetro de	Normativa	Arena patrón	RAF 1	Diferencia significativa
Estabilidad Marshall (N)	ASTM D 6927-06	16012	16727	NO
Fluencia Marshall (mm)	ASTM D 6927-06	4,2	3,9	NO
Relación E/F (N/mm)	-----	3812	4289	NO
Resistencia a tracción, 25 °C (MPa)	ASTM D 6931-07	1746	1765	NO
Módulo de rigidez, 20 °C (MPa)	EN 12697-26:2004 Anexo C	6574	6321	NO
Efecto de la humedad (%) (24 h a 60 °C)	ASTM D 4867/ D4867M-04 ó AASHTO T-283	91	83	NO
Efecto de la humedad (%) (16 h a -18 °C + 24 h a 60 °C)	ASTM D 4867/ D 4867M-04 ó AASHTO T-283	88	83	NO

Curvas de profundidad de huella en el ensayo WTT

Figura 6

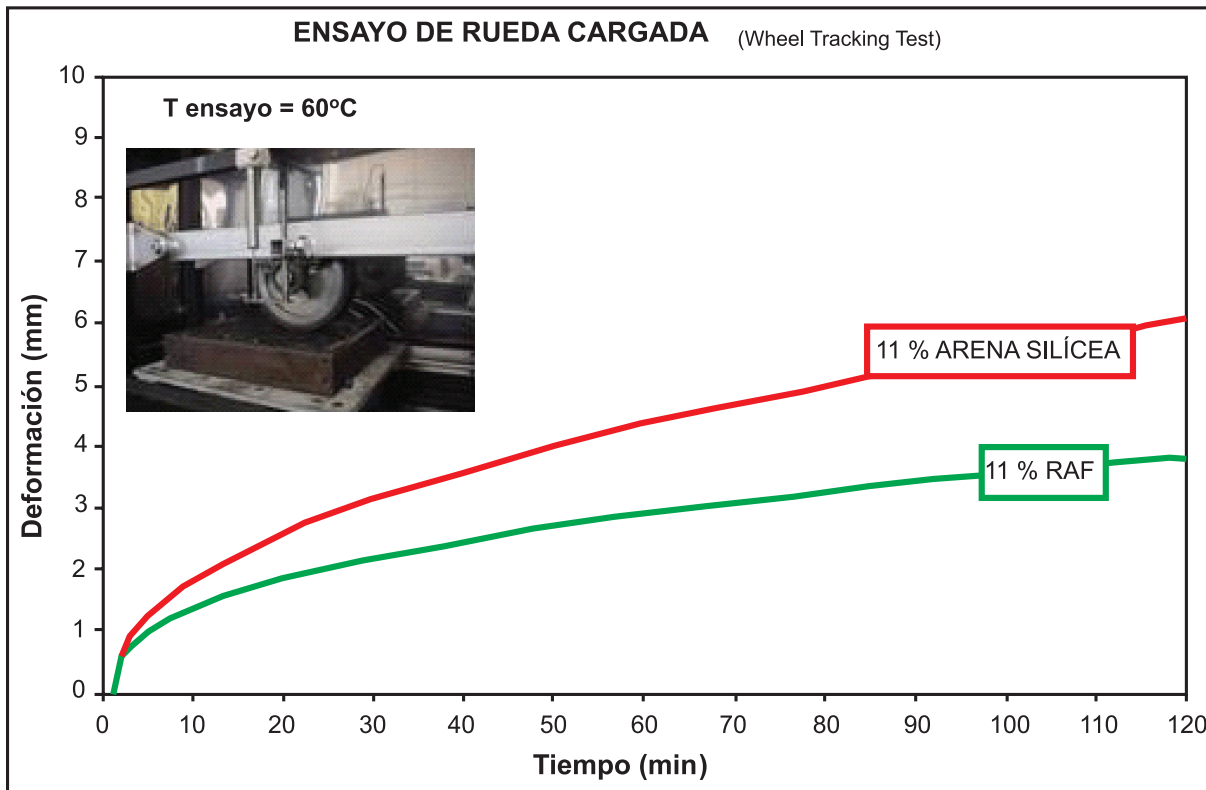


Figura 7 Curvas de profundidad de huella en el ensayo HWTT

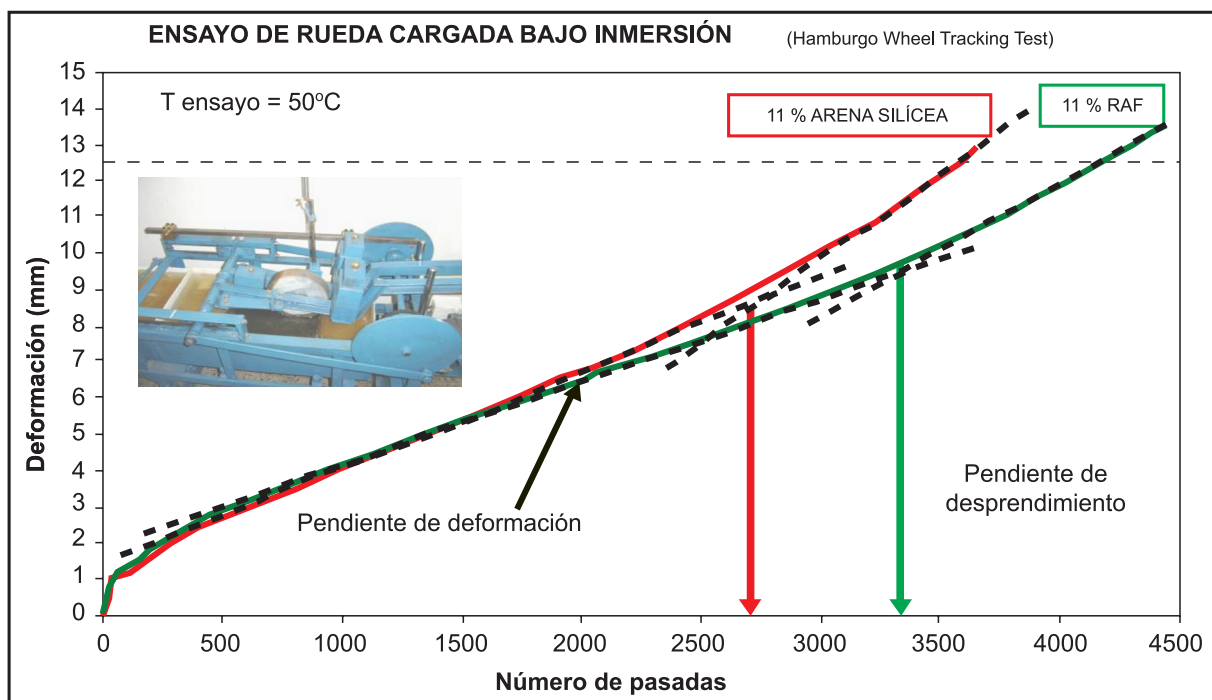


Tabla 3 Comparación de parámetros de ahuellamiento

ARENAS	Al cabo de 60 min		Al finalizar el ensayo	
	Arena Patrón	RAF 1	Arena Patrón	RAF 1
Velocidad de deformación (mm/min)	0,0366	0,0207	0,0243	0,0130
Estabilidad Dinámica (pasadas/mm)	1149	2033	1429	3239
Deformación Máxima (mm)	4,37	2,90	6,04	3,81

Tabla 4 Comparación de parámetros de ahuellamiento bajo inmersión

ARENAS	Arena patrón	RAF 1
Número de pasadas en las que se produce la intersección de las pendientes de deformación y de desprendimiento	2700	3400
Número de pasadas para obtener un ahuellamiento de 12,5 mm	3565	4167

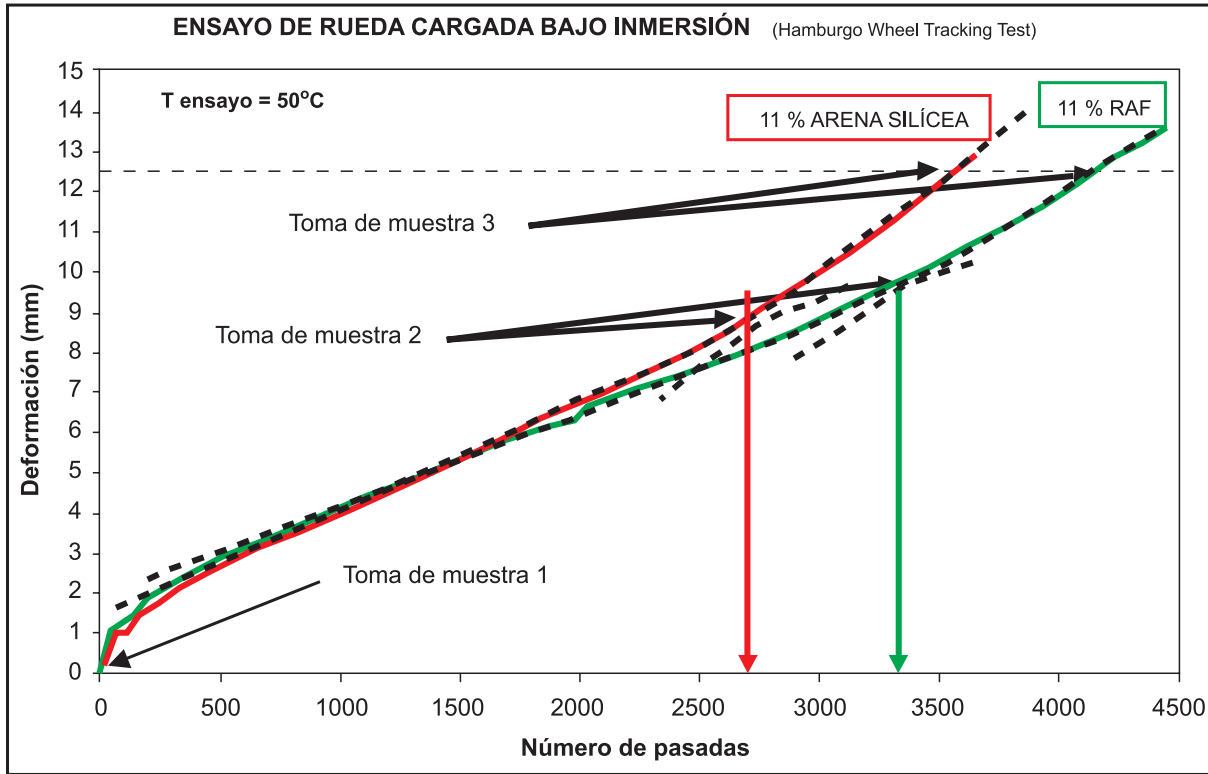
Diseño de mezcla asfáltica experimental

Como se indicó previamente, la dosificación de la mezcla asfáltica de referencia corresponde a la carpeta de rodamiento de una Ruta Provincial en seguimiento desde su construcción en el año 2001, Tabla 1.

La mezcla puede designarse como SP 12,5, ya que su curva granulométrica cumple los requerimientos de la gradación Superpave con tamaño máximo nominal de 12,5, como puede apreciarse en la Figura 5.

En la misma figura se ha graficado la tolerancia especificada en el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de la Dirección Nacional de Vialidad de Argentina (PETG, DNV) respecto de la fórmula de obra de la Ruta Provincial existente. Al comparar las curvas granulométricas del diseño con arena silíceea patrón y con RAF 1 se encuentra que la tolerancia no es cumplida en el caso del material pasante por el tamiz N° 50.

Debido a que un reemplazo parcial de las arenas complica la operatividad de la planta asfáltica se decidió continuar con el 100% del reemplazo, como primer paso, y, en caso de verificarse la viabilidad del proyecto, dejar la discusión de la tolerancia para especificaciones particulares.



El diseño original utilizó el Método Marshall con probetas de 50 golpes del pisón por cara con lo que se obtuvo un contenido óptimo de cemento asfáltico del 5% en mezcla. Las temperaturas de trabajo fueron de 160 °C para el mezclado y 149 °C para la compactación. Dichas temperaturas corresponden a las definidas por los rangos de equiviscosidad normalizados, es decir, valores medios de 0,17 y 0,28 Pa.s para el mezclado y la compactación, respectivamente.

Se verificó que los **parámetros volumétricos** de las probetas compactadas con la mezcla con reemplazo de arena no presentan diferencias estadísticamente significativas con aquellos del diseño original, con un 95 % de confianza.

Parámetros de comportamiento evaluados desde el punto de vista técnico

En las columnas 3 y 4 de la Tabla 2 se presentan los valores medios de distintos parámetros de comportamiento evaluados sobre probetas de la mezcla de agregados y asfalto dosificada según Tabla 1 con la arena silícea patrón y con el RAF 1.

Rangos de Concentración en RAF 1

Tabla 5

	Concentración en lixiviado de muestras de RAF 1 (ppm)
Plomo	70 - 157
Cadmio	0,4
Cromo	nd
Níquel	nd - 1,00
Cobalto	3,7 - 5,7

Se realizó el análisis estadístico de los datos con la hipótesis de igualdad de comportamiento ante el reemplazo de la arena patrón por el RAF 1. Dicho análisis determinó que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las dos muestras, arena patrón y RAF 1, para un nivel de confianza del 95%, en todos los casos analizados.

Se han realizado también dos tipos de ensayos de ahuellamiento: el Wheel Tracking Test (metodología: B.S. 598 parte 10-1996) y el Hamburgo Wheel Tracking Test (metodología: Colorado Procedure L 5112). Los valores presentados pertenecen a las curvas de tendencia de la curva promedio de dos probetas.

El ensayo de Rueda Cargada (Wheel Tracking Test, WTT) tiene las siguientes características: una probeta prismática de 0,3 x 0,3 x 0,05 m de mezcla asfáltica compactada a la densidad de diseño, se somete a ciclos de pasadas de una rueda cargada dentro de una cámara que mantiene la temperatura del sistema a 60 °C. Durante el ensayo se adquieren los datos de profundidad de huella los cuales serán analizados al concluir el ensayo al cabo de 120 minutos. (Figura 6).

Los parámetros obtenidos del ensayo WTT serán la pendiente de la curva en los últimos 15 minutos de cada hora del ensayo o velocidad de deformación y la correspondiente estabilidad dinámica, que es la cantidad de pasadas necesarias para ahueillar 1 mm con la velocidad de deformación determinada. Como complemento, se informan profundidades de huella al cabo de cada hora, como se presentan en la Tabla 3.

La mezcla con RAF 1 resultó menos deformable que la mezcla con la arena patrón, lo cual puede ser explicado por la forma y textura de las partículas de RAF 1, arena silíceas con un aglomerante muy rígido sometido a una molienda.

A medida que se desarrolla el ensayo puede llegarse a una situación crítica, en la que la sollicitación de tránsito en carpeta saturada provoque una combinación de procesos que llevan a la pérdida de adherencia de la película de asfalto con el agregado. En este caso, las siguientes pasadas de la rueda cargada provocarán pérdida de material pétreo iniciando un “bache”. Esta situación provoca un deterioro acelerado de la probeta indicado en la Figura 7 con un cambio de pendiente de la curva de deformación.

Los parámetros obtenidos del ensayo HWTT (Tabla 4) serán el número de pasadas que indican un cambio en las condiciones de deformación o el inicio teórico del deterioro y el número de pasadas que indican que la huella alcanzó el valor de 12.5 mm.

Parámetros de comportamiento evaluados desde el punto de vista medioambiental

Al trabajar con un material considerado un residuo industrial especial o peligroso, se hace necesario realizar determinaciones para conocer su comportamiento en cuanto a la fijación de los compuestos contaminantes, en nuestro caso, metales pesados.

Tabla 6 Concentraciones en lixiviado de mezclas asfálticas

	Concentraciones en lixiviado de mezclas asfálticas (ppm)	
	con Arena patrón	con RAF 1
Plomo (Pb)	< 0,03	< 0,03
Cadmio (Cd)	< 0,01	< 0,01
Cromo (Cr)	< 0,02	< 0,02
Níquel (Ni)	< 0,03	< 0,03
Cobalto (Co)	< 0,02	< 0,02

El ensayo de Rueda Cargada bajo Inmersión (Hamburgo Wheel Tracking Test, HWTT) pretende simular el estado de tránsito en carpeta saturada de agua. El ensayo HWTT tiene las siguientes características: una probeta prismática de 0,3 x 0,3 x 0,05 m de mezcla asfáltica compactada de manera tal que, para obtener entre 6 y 8% de vacíos, se somete a ciclos de pasadas de una rueda cargada dentro de un recipiente lleno de agua, que mantiene la temperatura del sistema a 50 °C. Durante el ensayo se adquieren los datos de profundidad de huella, los cuales serán analizados al concluir el ensayo al cabo de 360 minutos o 12,5 mm de deformación, lo que ocurra primero.

Se han tomado muestras de nuestro RAF en distintas instancias del proceso productivo en las que puede ser desechado. En la Tabla 5 se presentan rangos de valores de concentraciones obtenidos en lixiviados. Las extracciones de lixiviado se realizaron siguiendo los lineamientos de las normas EPA SW 846 (1986), en medio acético pH 5 colocando 100 g de muestra en 2 litros de agua bidestilada y en agitación durante 24 horas.

Una vez realizadas las mezclas asfálticas, se realizaron mediciones de concentraciones de distintos compuestos en muestras extraídas en lixiviados (EPA SW 846 1986) de **mezclas asfálticas con arena patrón y con RAF 1** (Tabla 6).

El desprendimiento de película de asfalto por efecto de la pérdida de adherencia con el agregado, puede liberar al material que se desea fijar, en nuestro caso el RAF. Como en el ensayo HWTT se reproducen justamente las condiciones que propician el deterioro de la adherencia asfalto-agregado, se ha decidido tomar muestras del HWTT con el objetivo de evaluar el aporte de metales al baño en las siguientes etapas del ensayo (Figura 8).

- M1: Inicio del ensayo.
- M2: Momento del inicio del proceso de desprendimiento de la película de asfalto.
- M3: Finalización del ensayo.

Sobre dichas muestras se realizaron determinaciones de concentración de metales (Tabla 7).

Las concentraciones de metales en agua, obtenidas en los diferentes tiempos de toma de muestra durante el ensayo HWTT, están por debajo del límite de detección del equipo para las condiciones de trabajo impuestas.

Conclusión

- Desde el punto de vista técnico:

Los ensayos realizados no indican cambios significativos en las propiedades mecánicas cuando se reemplaza la arena silíceo del diseño por RAF 1. Tampoco se aprecian cambios significativos en las propiedades cohesivas y/o de adherencia (resistencia a tracción y efecto de la humedad).

La mezcla con RAF 1 presenta al menos el mismo comportamiento frente al ahuellamiento, en seco y bajo inmersión, que la mezcla con arena patrón.

- Desde el punto de vista ambiental:

La mezcla con RAF 1 presenta también similar comportamiento desde el punto de vista ambiental, que la mezcla con arena patrón en cuanto a la lixiviación de los compuestos determinados. Condiciones similares se reflejaron en las distintas instancias de la toma de muestras en el agua del baño del HWTT.

La metodología de análisis adoptada permite concluir que la valorización del RAF 1 es factible desde el punto de vista técnico y ambiental.

Se prevé el uso de esta metodología de laboratorio en el análisis de valorización de distintos tipos de RAF en mezclas asfálticas para contribuir en la gestión integral de dichos residuos.

	Concentraciones en agua del HWTT de Mezcla con Arena Patrón (ppm)			Concentraciones en agua del HWTT de Mezcla con RAF 1 (ppm)		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Plomo (Pb)	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Cadmio (Cd)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cromo (Cr)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Níquel (Ni)	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Cobalto (Co)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02

Referencias bibliográficas

1. EPA SW-846 Method 1310B: "Extraction Procedure (EP) Toxicity Test Method and Structural Integrity Test". (Revision 2, Noviembre 2004). Manual SW-486: Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods. Environment Protection Agency (EPA), EE.UU.
2. Ji S., Wan I. Y Fan Z. (2000). "The Toxic Compounds and Leaching characteristics of Spent Foundry Sands department of Materials Engineering", Brunel University, Uxbridge, Middlesex, UB8 3PH, U.K.; Department of Materials Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China.
3. Marcozzi, R. G.; Sota, J. D.; Banda Noriega, R. B.; Miguel, R. E. (2007) "Valorización de Residuos de Industrias de Fundición en Mezclas Asfálticas en Caliente". Congreso Latinoamericano de Fundición. Modalidad póster. Tandil, Argentina.
4. Miguel, R. E. (2004) "Arenas de Fundición en Clave Ambiental". Tesis de grado, Licenciatura en Diagnóstico y Gestión Ambiental. UNCPBA. Diciembre 2004. Argentina.
5. Miguel, R. E., Banda Noriega, R. B. y Sota J. D. (Noviembre 2005) "Residuos de Arenas de Fundición. Bases para la Gestión Sustentable". Congreso y Exposición Mundial ISWA 2005. Soporte electrónico t-178. Buenos Aires. Argentina.
6. Pliego de Especificaciones Técnicas Generales (1998). Dirección Nacional de Vialidad. Buenos Aires. Argentina.
7. Sota, J. D.; Barreda M. F., Monzón, J. D., Banda Noriega, R. B.; Miguel, R. E. (abril 2007) Hormigones de cemento portland con Arenas de Fundición. ISSN 0008-8919, Revista Técnica Cemento Hormigón. N.º. 900, pags. 46-55, España.