

Árido siderúrgico en mezclas bituminosas. Experiencia en la Autovía A-2 en la provincia de Barcelona

Iron and steel slag aggregates used in bituminous mixtures. Experience in A-2 Highway in Barcelona.

José Manuel Gimenez Ribera^{1*}

Palabras clave

árido siderúrgico;
mezclas bituminosas;
capas de rodadura
discontinuas;
reutilización;

Resumen

Los áridos siderúrgicos son utilizados en las mezclas bituminosas en capas de rodadura en muchos países de Europa, dónde no disponen de áridos naturales de calidad, aprovechando sus excelentes cualidades en cuanto a sus altos valores de coeficiente de pulimento acelerado (CPA) y bajos valores de coeficiente de desgaste de los Ángeles (LA).

En el siguiente artículo se detalla la experiencia realizada en un pequeño tramo de la autovía A-2 en la provincia de Barcelona, en la que se puso en obra una mezcla tipo BBTM 11 B fabricada en su fracción gruesa con árido siderúrgico.

Keywords

*steel slag aggregates;
bituminous mixtures;
asphalt concrete for very
thin layer;
reuse;*

Abstract

Iron and steel slag aggregates are used in bituminous mixtures in the wearing courses of many European countries where there is not access to high-quality natural aggregates. The excellent qualities of steel aggregates are exploited concerning its high values of polished stone value (PSV) and the low values of Los Angeles abrasion coefficient (LA).

The following article details the procedure in which a BBTM 11 B mixture was used in a short stretch of the A-2 highway in the province of Barcelona. The mixture was prepared in its coarse fraction with iron and steel aggregates.

1. INTRODUCCIÓN

La autovía A-2, en el tramo objeto de este artículo, presenta un elevado tráfico pesado de 12.368 vehículos pesados/día (11 % de 112.435 vehículos). Que según la tabla 1 A de categoría de tráfico pesado, de la Norma 6.3 IC de Rehabilitación de Firmes de la Instrucción de Carreteras, se corresponde con una categoría tipo T00.

La edad estructural del firme supera los 15 años y además, este tramo de vía, se encontraba deteriorada superficialmente en varios puntos. Esta degradación superficial originó una importante pérdida de macrotextura, por el pulimento de los áridos de la capa de rodadura, que conllevó a unos bajos valores de coeficiente de Rozamiento Transversal (CRT).

En la calzada derecha entre los ppkk 582+000 582+660 obtuvimos unos valores en torno a 30 de CRT en las mediciones realizadas en el mes de julio de 2013. Este hecho hizo que la Demarcación de carreteras del Estado en Cataluña formalizará el Contrato “CM-29-B/2014. Rehabilitación superficial del firme para mejora del CRT en tramos entre los P. Km. 582,100 y 583,000 de la Autovía A-2, con el extendido de una mezcla asfáltica tipo BBTM, con árido

siderúrgico CPA>57” con la empresa Asfaltos y Construcciones Elsan S.A.

En todo el tramo, la capa existente era una mezcla drenante tipo PA 12 en calzada y arcenes y la solución que se plateó consistió en un fresado de los 40 mm de la mezcla drenante, en calzada y arcenes, y una reposición con una mezcla discontinua tipo BBTM 11 , de 30 mm, fabricada con un betún PMB 45/80 65 y con árido siderúrgico en la fracción del árido grueso.

Las mezclas discontinuas, pertenecen al grupo de las mezclas bituminosas diseñadas para capas delgadas que, se utilizan como capas superficiales en espesores comprendidos entre los 20 mm y los 30 mm.

Este grupo de mezclas están recogidas en el grupo de mezclas UNE EN 13108-2: “Mezclas bituminosas para capas delgadas” y en el artículo 543 “Mezclas bituminosas para capas de rodadura. Mezclas discontinuas y drenantes” del PG3/2015.

La actuación estaba proyectada en el tramo detallado en la figura y fotografía siguientes:

* Autor de contacto: jmgimenez@fomento.es

¹ Ingeniero Jefe del Área de Conservación de la Unidad de Carreteras del Estado en Barcelona (España).

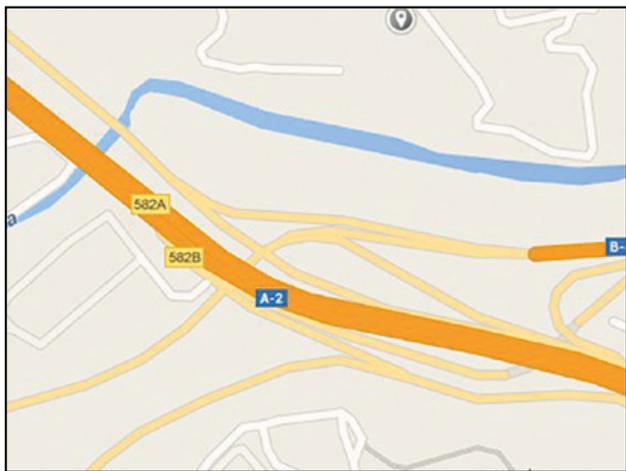


Figura 1. Zona objeto de actuación. calzada derecha de la Autovía A-2 entre los PPKK 582+100 1L 583+000.

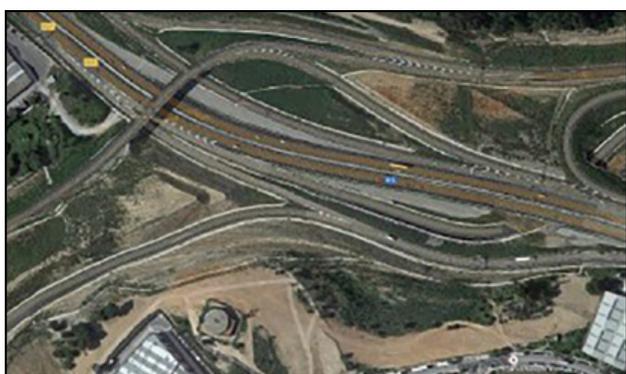


Figura 2. Vista aérea de la zona de actuación.

2. SOLUCIÓN PROYECTADA

Como se ha comentado en la introducción, la solución planteada para mejorar las características superficiales, consistía en una mezcla bituminosa discontinua tipo BBTM 11 B con 30 mm de espesor, fabricada con un betún modificado con polímeros tipo PMB 45/80 65 y su singularidad principal era que su fracción de árido grueso contenía un árido siderúrgico de tamaño 5/12.

2.1. Árido siderúrgico

El árido siderúrgico, empleado en esta obra, procede del proceso de fabricación del acero de una acería de horno de arco eléctrico de la provincia de Barcelona. El proceso de fabricación del acero consta de dos etapas: en una primera se realiza la fusión de materias primas, que se realiza en hornos de arco eléctrico, y en una segunda, en la que se realiza el afino del baño fundido. La segunda etapa se inicia en el horno eléctrico y finaliza en el horno cuchara.

La principal materia prima empleada para la fabricación de acero, en horno de arco eléctrico, es la chatarra de acero.

La etapa de fusión incluye una serie de fases como la oxidación, dirigida a eliminar impurezas de manganeso y silicio, la defosforación y la formación de escoria espumante en la que se acumulan todas las impurezas. Al final de todas estas fases se extraen las escorias negras que son las que, mediante un proceso de valorización, se pueden emplear como árido para mezclas bituminosas en capas de rodadura.

Los áridos, procedentes de las escorias negras de acerías de hornos de arco eléctrico, tienen una elevada densidad relativa, entre 3,1 y 4,5 g/cm³, muy por encima de los áridos naturales. Esta diferencia en la densidad se debe tener en cuenta en la dosificación de la fórmula de trabajo, respecto a la densidad con los otros áridos, y respecto a la dosificación del contenido de betún y en la dosificación de la instalación asfáltica. Por otro lado, los valores de absorción que presenta el árido siderúrgico, están entre el 1 % y el 4 % en volumen. Esta absorción se debe tener en cuenta, en la fórmula de trabajo, al dosificar el contenido de betún.

Se ha comprobado que un adecuado tratamiento en la acería, y una clasificación y selección de las escorias en la planta de un gestor de residuos, pueden proporcionar, sin problemas, áridos de calidad para ser utilizados en mezclas bituminosas. Estos áridos poseen un buen coeficiente de desgaste de los Ángeles y un excelente coeficiente de pulimento acelerado (entre 60 y 70 de PSV), estos dos hechos los hacen especialmente utilizables para capas de rodadura. La composición química y el carácter básico del árido siderúrgico les garantiza una buena adhesividad con los betunes, de penetración y modificados, convencionales. El principal problema que se plantea en la fabricación de mezclas con estos áridos es la falta de finos en la fracción más pequeña. Una dosificación de áridos adecuada, desde un punto de vista técnico, puede ser la de combinar árido grueso siderúrgico con árido fino calizo.

3. FÓRMULA DE TRABAJO

Por las especificaciones del árido siderúrgico descritas en el punto anterior, los componentes que formaron parte de la fórmula de trabajo fueron los siguientes:

- Arena 0/2 caliza.
- Árido 5/12 siderúrgico.
- Polvo mineral de aportación calizo.
- Betún modificado tipo PMB 45/80 65.

Las especificaciones de cada uno de los materiales eran:

ESPECIFICACIONES DE LOS ÁRIDOS

En cuanto a granulometría

Tamices	0/2 mm.	5/12 mm
16		100
11,2		99
8	100	65
2	97	12
0,5	38	8
0,25	26	4
0,063	14,9	2,2

Figura 3. Granulometría realizada según una 933-1.

Equivalente de arena

Fracción-Muestra	Arena 0-2 mm.
Valor 0/2 mm.	66

Figura 4. Según Norma une 933-8.

Azul de metileno

Fracción-Muestra	Arena 0-2 mm.
AM	3,3

Figura 5. Según Norma une 933-9.

Partículas trituradas

Muestra	Gravilla 5/12 mm
Partículas trituradas, %	100
Partículas totalmente trituradas, %	100
Redondeado, %	0
Totalmente redondeado, %	0

Figura 6. Según Norma une 933-5.

Índice de lajas

Muestra	Gravilla 5/12 mm.
Índice de lajas, %	4,5

Figura 7. Según Norma une 933-3.

Densidad relativa y absorción

Muestra	Arena 0/2 mm.	Gravilla 5/12 mm
Densidad aparente, Mg/m ³	2,735	3,730
Densidad sss, Mg/m ³	2,708	3,623
Densidad tras secado, Mg/m ³	2,692	3,584
Densidad áridos presecados, Mg/m ³	2,735	3,730
Absorción, %	0,58	1,09

Figura 8. Según Norma une 1097-6.

Desgaste de los ángeles

Muestra	Gravilla 5/12 mm
LA, %	13

Figura 9. Según Norma une 1097-2.

Coefficiente de pulimento acelerado

Muestra	Gravilla 5/12 mm
CPA	66

Figura 10. Según Norma une 1097-8.

ESPECIFICACIONES DE LOS LIGANTES
Betún PMB 45/80 65 suministrado por CEPESA

Penetración

Referencia	Resultado
140234	53

Figura 11. Según Norma une 1426.

Temperatura de anillo y bola

Referencia	A y B
140233	65

Figura 12. Según Norma une 1427.

FÓRMULA DE TRABAJO

Dosificación en volumen y en peso de los áridos

Debido a la diferencia de pesos específicos entre un árido siderúrgico y un árido convencional, se realizó un primer ajuste volumétrico, obteniendo posteriormente la dosificación ponderal.

Referencia	Porcentaje volumétrico	Porcentaje ponderal
Arena 0/2 mm. caliza FOJ	88	90,5
Gravilla 5/12 mm. siderúrgico ADEC	8	6,4
Filler calizo de aportación	4	3,1

Figura 13. Porcentajes volumétricos y ponderales de la fórmula de trabajo.

Obteniéndose la siguiente curva granulométrica.

Tamices en mm	Huso BBTM11B	Curva de áridos
16	100	100
11,2	90-100	100
8	60-80	68
4	17-27	21
2	15-25	19
0,5	8-16	9
0,063	4-6	4,9

Figura 14. Curva de áridos obtenida.

En la figura siguiente se representa la curva granulométrica volumétrica (en negro discontinuo) y ponderal (en azul continuo). En rojo continuo se representa el huso de una mezcla tipo BBTM 11 B.

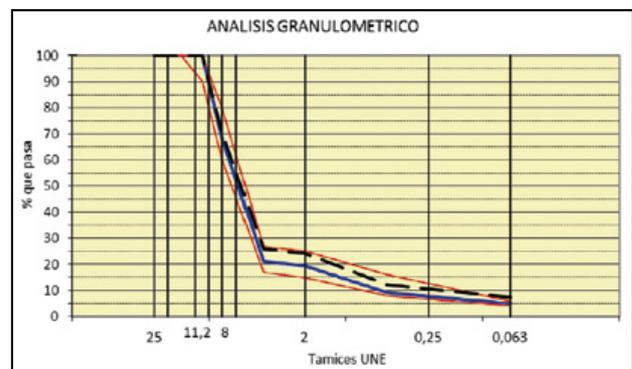


Figura 15. Representación gráfica de la curva de áridos.

Contenido de betún

El contenido de ligante óptimo se situó en un 3,9 % s/m. Teniendo en cuenta el factor de corrección por el peso específico de los áridos que era de 3,35 g/cm³.

La relación filler/ betún fue de 1,21.

Densidad y huecos

Los valores de densidad y huecos fueron los descritos en la siguiente figura.

Dato	Valor
Densidad, kg/m ³	2656
Huecos mezcla, %	15,1
Huecos áridos, %	25,8
Huecos rellenos, %	41,2

Figura 16. Valores de densidad y huecos obtenidos según ensayo une 12697-6 y 12697-8.

4. FABRICACIÓN Y PUESTA EN OBRA

4.1. Fabricación de la mezcla

Previamente a la puesta en obra se ajustó la planta asfáltica, a la diferencia de densidad del árido siderúrgico.

Los ajustes a la instalación realizados fueron:

- Calibración de las tolvas en frío.
- Fabricación de amasadas de prueba.
- Ajuste de los áridos en caliente.

Durante el proceso de fabricación se tomaron muestras de áridos para verificar la composición final de la mezcla. También se tomaron muestras de la mezcla fabricada. Los resultados de los ensayos obtenidos del control de calidad de la mezcla puesta en obra son los siguientes:

Ensayo	Unidad	Dato
Contenido de ligante en áridos, UNE EN 12697-39	%	4,15
Granulometría, UNE EN 12697-2	%	Tamiz 16: 100
	%	Tamiz 11,2: 95
	%	Tamiz 8: 65
	%	Tamiz 4: 26
	%	Tamiz 2: 23
	%	Tamiz 0,5: 13
	%	Tamiz 0,063: 5,6
Densidad aparente geom. UNE EN 12697-5	Kg/m ³	2667
Huecos en mezcla, UNE EN 12697-8	%	14,7
Huecos en áridos, UNE EN 12697-8	%	25,0
Pérdida de partículas, UNE EN 12697-17	%	5,3 en seco
		6,6 en húmedo
Sensibilidad al agua ITSr, UNE EN 12697-12	%	99,3
Rigidez, UNE EN 12697-26	MPa	4293
Rodadura WTS, UNE EN 12697-22		0,044

Figura 17. Resultados obtenidos del control de calidad de la mezcla fabricada.

4.2. Puesta en obra

La puesta en obra de la mezcla se realizó con los equipos convencionales de extendido de una mezcla bituminosa tipo BBTM 11 B.

La obra se realizó en horario nocturno debido al elevado tráfico que contiene este tramo de la carretera A-2. La obra se realizó el 2 de marzo de 2015. En las siguientes fotografías se muestra el resultado de la puesta en obra.



Figura 18. Vista de la curva rehabilitada.



Figura 19. Detalle de la zona de actuación.



Figura 20. Aspecto de la mezcla fabricada con árido siderúrgico.



Figura 21. Detalle de la mezcla siderúrgica.

5. RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez ejecutada la obra, concretamente 25 días después, se midieron los valores de coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRT) del tramo. Los bajos valores de CRT fueron el motivo por el cual habíamos realizado la operación de rehabilitación superficial.

Así, el 27 de marzo de 2015, la empresa EUROCONSULT con un equipo de medida SCRIM midió y analizó las características superficiales de resistencia al deslizamiento con los siguientes resultados:

PK	CRT	Fecha	PK	CRT	Fecha
582+0180	68	27/03/2015	582+0440	67	27/03/2015
582+0200	66	27/03/2015	582+0460	70	27/03/2015
582+0220	64	27/03/2015	582+0480	72	27/03/2015
582+0240	64	27/03/2015	582+0500	74	27/03/2015
582+0260	63	27/03/2015	582+0520	73	27/03/2015
582+0280	62	27/03/2015	582+0540	72	27/03/2015
582+0300	63	27/03/2015	582+0560	68	27/03/2015
582+0320	70	27/03/2015	582+0580	65	27/03/2015
582+0340	67	27/03/2015	582+0600	65	27/03/2015
			582+0620	66	27/03/2015
			582+0640	64	27/03/2015

Figura 22. Resultados obtenidos de la medida de CRT.

En la figura siguiente se observa la diferencia en los valores de CRT antes y después de la actuación.

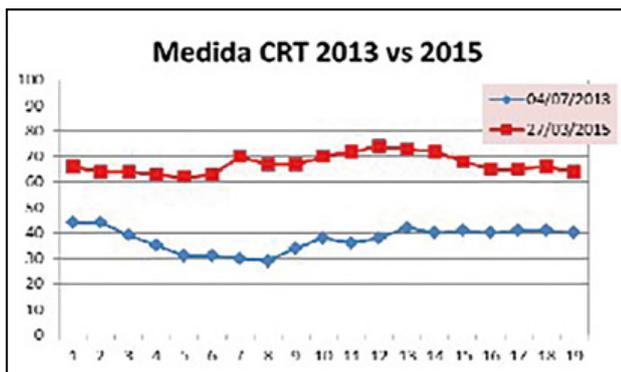


Figura 23. Representación gráfica de la medida de CRT antes y después de la actuación.

En las figuras anteriores se puede apreciar que se ha producido un incremento considerable (en el entorno de los 20 puntos) de los valores de CRT, antes y después de la actuación. Está previsto realizar el seguimiento de este tramo a través de las campañas anuales de medida del CRT del Ministerio de Fomento, esperando que los valores elevados de este parámetro se mantengan con el tiempo, lo que a priori es previsible a la vista de los buenos valores de CPA del árido siderúrgico empleado en esta obra.

6. CONCLUSIONES

Por los ensayos efectuados, tanto de control de recepción de obra como de control de calidad de los materiales, hemos comprobado que el árido siderúrgico se puede considerar válido en zonas donde no se disponga de árido natural de calidad y sí se disponga de este tipo de árido, como es el caso de la provincia de Barcelona.

También remarcamos la importancia de que el árido siderúrgico que se emplee cumpla con las especificaciones del PG3 y provenga de un gestor de residuos autorizado, ya que para poder emplearlo en la fabricación de las mezclas bituminosas debe tener un procesamiento previo correcto.

Los valores de CRT obtenidos, nos muestran que el árido siderúrgico cumple con los parámetros de resistencia al deslizamiento establecidos en los criterios de aceptación y rechazo de la unidad terminada, según el PG-3. Y hasta la fecha, la experiencia del empleo de árido siderúrgico en la fabricación de una mezcla bituminosa discontinua para capa de rodadura, nos está resultando satisfactoria.

La fabricación y puesta en obra, de este tipo de mezcla, no conlleva unas dificultades añadidas respecto a una mezcla fabricada con árido convencional, aunque la dosificación deba realizarse volumétricamente. No obstante, se deben tener en cuenta los sobrecostes en el transporte, respecto a un árido convencional, debidos a su elevada densidad.

Para poder realizar una adecuada valoración, del comportamiento en el tiempo de este tipo de áridos, deberíamos conocer los resultados de futuras campañas de medidas de CRT.

Gracias a la experiencia adquirida en esta obra, y en otras anteriores en la Demarcación de Carreteras del Estado en Cataluña, y para poder evaluar la conveniencia del empleo de este material en futuras actuaciones, es importante la recopilación de los datos técnicos de las obras, el seguimiento de la evolución de estos firmes y la difusión de este conocimiento, de forma que en cada caso se puedan implementar las mejores soluciones, desde el punto de vista técnico, económico y ambiental.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Barra, M. (2007). Las escorias de acería en Cataluña. *Jornada sobre aplicación de residuos en carreteras. Universidad Politécnica de Cataluña Barcelona, Octubre 2007.*
- Carmona, M., Izquierdo, S., Ávila, J. M., y Lairado, S. (2011). Escorias siderúrgicas valorizadas en obra civil. *VI Jornada Nacional de ASEFMA.*
- Etxevarria, M., Pacheco, C., Meneses, J. M., y Berridi, I. (2010). Properties of concrete using metallurgical industrial by-products as aggregate. *Construction and Building Materials*, 4, pp. 1594-1600.
- IHOBE, S.A., Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente del Gobierno Vasco (1999). *Libro Blanco de Minimización de Residuos y Emisiones de Acería.*
- Paris, A., y Moncunill, C. (2007). Mezclas bituminosas en caliente y análisis de ciclo de vida. *Revista Carreteras*, 155, pp. 53-59.
- Pérez, G., López, A., Simón, J., López, J., y Mendoza, J. (2008). Mejora del coeficiente de rozamiento transversal mediante el empleo de árido fino porfídico. *Revista Carreteras*, 161, pp. 32-44.



Caracterización geotécnica de materiales volcánicos de baja densidad. M-124

Autores: María Margarita Conde Palacios

Serie Monografías: M-124

ISBN: 978-84-7790-552-3

Año: 2014

P.V.P.: 30 €

Los materiales volcánicos canarios poseen, en general, unas características de resistencia no lineales y deformabilidad peculiares y poco conocidas, para cuya valoración es necesario realizar ensayos un tanto sofisticados e interpretarlos a la luz de nuevas teorías, diferentes a las de otros tipos de suelos y rocas. Esto tiene una especial relevancia en los piroclastos de baja densidad, cuya calidad geotécnica suele ser mediocre, ya que se encuentran a medio camino entre los “suelos duros” y las “rocas blandas”.

Debido a ello, con estos materiales se plantean unos problemas específicos en cuanto a posibles colapsos o roturas bruscas, que se producen de forma repentina, sin unas deformaciones previas significativas que sirvan de aviso, así como, en cuanto a la estimación de los empujes que ejercen sobre muros, las cargas admisibles en cimentación de estructuras sobre ellos y en la estabilidad de los taludes formados por los mismos, lo cual tiene una incidencia relevante en el ámbito de la obra civil y la edificación en la comunidad Canaria. Por ello existe un gran interés por disponer de un marco teórico y práctico que describa y permita estimar las propiedades de resistencia y deformabilidad de los piroclastos canarios.

El objetivo principal de este trabajo es avanzar en el conocimiento del comportamiento esfuerzo-deformacional de los piroclastos de baja densidad, determinando los factores más influyentes en el mismo, como su estructura o alteración. Se ha prestado especial atención a examinar aspectos que se consideran primordiales tales como: macroporosidad (tamaño y morfología de los poros, tamaño relativo en relación al de las partículas, ...), alteración de dichas partículas o relleno parcial o total de los macroporos en materiales alterados por depósitos de cristales o partículas debido a la circulación de fluidos.

Esta publicación pretende obtener:

1. Un criterio de rotura de estos materiales que, en función de unos pocos parámetros, permita estimar las tensiones máximas aplicables en los mismos,
2. Una clasificación geotécnica de los principales tipos de piroclastos de baja densidad, que permita definir un tipo de comportamiento y unos valores o rangos de valores típicos de estos parámetros para cada grupo definido.
3. Una mayor cantidad de datos de ensayos de los materiales volcánicos de baja densidad, con el fin de mejorar las diferentes correlaciones obtenidas en estudios anteriores y tratar de obtener otras de igual importancia en la obra civil.