

TRATAMIENTO ANTIDESLIZANTE EN LAS MEZCLAS BITUMINOSAS

A. Osuna & M.C. Caro
Dirección de Obra, Ministerio de Fomento, Spain
aoyepes@fomento.es
J. López & J. Simón
Centro de Investigación, CHM, Obras e Infraestructuras, Spain
jlopez@chm.es

RESUMEN

Las mezclas bituminosas en caliente que se utilizan como capa de rodadura están diseñadas para que tengan una buena resistencia al deslizamiento influyendo sobre la seguridad vial. Por acción del tráfico pueden perder adherencia debido al pulimento del árido componente de las mismas.

Existen técnicas de tratamiento superficiales que potencian la resistencia al deslizamiento o disminuyen el pulimento de los áridos, haciendo mas seguro el firme asfáltico y por lo tanto minimizando una acción correctora del fallo no estructural que representa la presencia de un firme deslizando.

En el proyecto se han estudiado varias combinaciones de tamaños de partículas de bauxita que pueden influir en la macro textura de la superficie y en la microrrugosidad de los áridos según sea el tamaño de su partícula, potenciándose asimismo la acción antideslizante de la mezcla bituminosa. La bauxita se le ha sometido a un proceso de pigmentación, minimizando el contraste colorimétrico provocado al añadir en la superficie, generalmente negra, un producto como la bauxita, que normalmente tiene una tonalidad clara. Con valores obtenidos en los ensayos previos se ha ejecutado tramos de prueba, realizándose la evolución del Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD) al paso del tiempo.

ANTECEDENTES

Uno de los aspectos más importantes en las capas de rodadura de las carreteras es el contacto de los neumáticos con el pavimento, éste con el tiempo va perdiendo esta propiedad (pulimento de los áridos) que se mide por el CRT (Coeficiente de Rozamiento Transversal), por lo que disminuye la seguridad en las carreteras.

Una de las inquietudes del Ministerio de Fomento y en particular de la Unidad de Carreteras de Alicante, es la falta de rozamiento de los pavimentos por su uso, así como la utilización de áridos de la zona cuyo CPA (Coeficiente de Pulido Acelerado) está por debajo de las especificaciones del Pliego General sobre todo para tráfico T00.

Cómo respuesta a esta problemática, la Unidad de Carreteras de Alicante desarrolla un trabajo de investigación conjunta con CHM Obras e Infraestructuras para utilizar estos áridos (CPA entre 53-55), en una mezcla bituminosa tipo BBTM 11B, dónde se ha

aportado a la superficie de la mezcla en caliente un árido (bauxita), para mejorar el coeficiente de rozamiento.

Este estudio tiene dos objetivos, primero la mejora del coeficiente de rozamiento de los pavimentos; y un segundo objetivo, el poder utilizar los áridos de la zona y no tener que traer áridos (CPA > 56), desde lugares lejanos con el consiguiente sobre costo para la obra y una infravaloración de los materiales de la zona, por lo que se hará un estudio económico para ver la viabilidad de este estudio en comparación con el árido de Tordelloso (Guadalajara).

1. INTRODUCCION

Las mezclas bituminosas en caliente que se utilizan como capa de rodadura están diseñadas para que tengan una buena resistencia al deslizamiento influyendo sobre la seguridad vial. Por acción del tráfico pueden perder adherencia debido al pulimento del árido componente de las mismas.

Existen técnicas de tratamiento superficiales que potencian la resistencia al deslizamiento o disminuyen el pulimento de los áridos, haciendo mas seguro el firme asfáltico y por lo tanto minimizando una acción correctora del fallo no estructural que representa la presencia de un firme deslizante.

La resistencia al deslizamiento de un firme va a depender de la microrrugosidad (microtextura) de los áridos y de la macrotextura que se crea en la superficie por acción del huso granulométrico. En la figura 1 se observan estas características geométricas.

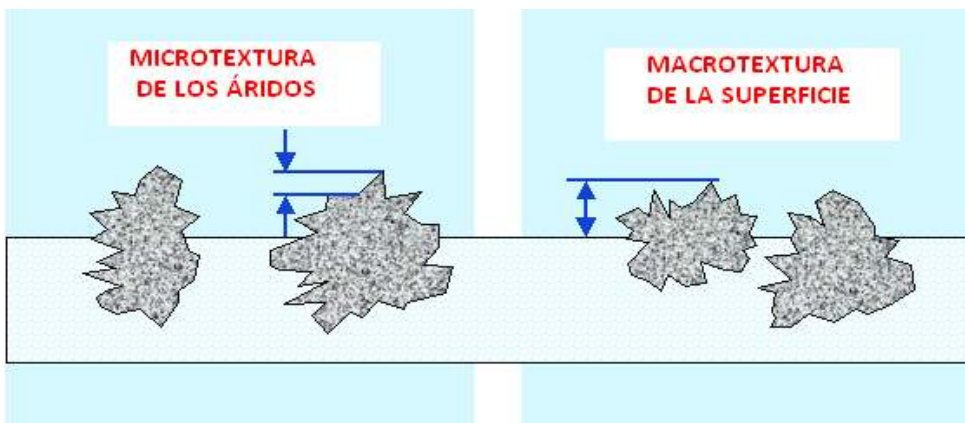


Figura 1 – Aspecto de la microtextura y macrotextura de un firme.

En los procesos para el tratamiento de pérdida de adherencia los materiales que se usan tienen una alta resistencia al pulimento. Un tipo de árido que se utiliza es la bauxita calcinada, usándose en varios tamaños (macro ó micro incrustaciones). También se usan distintos ligantes (betunes, emulsiones, resinas etc.). Las combinaciones del tamaño de la bauxita con el ligante utilizado y su puesta en obra representan las distintas técnicas de tratamiento superficiales para obtener mezclas bituminosas antideslizantes.

En el proyecto hemos estudiado varias combinaciones de tamaños de partículas de bauxita que pueden influir en la macro textura de la superficie y en la microrrugosidad de los áridos según sea el tamaño de su partícula, potenciándose asimismo la acción antideslizante de la mezcla bituminosa.

Se ha partido de bauxita gruesa de 1-3 mm de tamaño de partícula, que va a influir en la macro textura de la superficie y otra mas fina de 0,3 mm de tamaño de partícula, que se

micro incrustará con el mastico de la mezcla, aumentando la rugosidad del árido. Hemos introducido un proceso de pigmentación, minimizando el contraste colorimétrico provocado al añadir en la superficie, generalmente negra, un producto como la bauxita, que normalmente tiene una tonalidad clara. La puesta de obra se realiza al mismo tiempo que se ejecuta el extendido de la mezcla de rodadura convencional, utilizándose el ligante de la mezcla como fijador de la bauxita.

2. ESTUDIO PREVIO.- ENSAYOS DE LABORATORIO

Dentro del catálogo de firmes para rodadura hemos utilizado la mezcla bituminosa en caliente tipo BBTM-11B para realizar el proyecto.

El plan de trabajo contempla diseñar y fabricar mezclas bituminosas en el laboratorio, variando características y materiales que puedan influir en la resistencia al deslizamiento de los firmes proyectados. Los parámetros utilizados para el diseño de las mezclas han sido los siguientes:

- Naturaleza del árido grueso. Se ha utilizado árido con CPA > 56 y árido de la zona geográfica local con CPA < 56.
- Porcentajes de huecos en la mezcla. Utilizando distintas dotaciones de árido fino obtenemos distintos porcentajes de huecos.
- Dotación superficial de bauxitas de distintos tamaños.
- Naturaleza del árido fino. Ha sido estudiada una mezcla asfáltica, cambiando el árido fino normalizado por bauxita 1-3 mm.

El proyecto contempla realizar ensayos mecánicos-prestacionales para evaluar su viabilidad y pruebas en el laboratorio para el estudio de la resistencia al deslizamiento.

Las combinaciones estudiadas son las expuestas en la Tabla 1.

Tabla 1.- Composición de las mezclas estudiadas

CODIGO	ARIDO GRUESO	ARIDO FINO	TRATAMIENTO SUPERFICIAL
M01	TORDELLOSO	7% - Coto-CHM	NO
M02	CANT. COTO-CHM	7% - Coto-CHM	MEZCLA CONTROL
M03	CANT. COTO-CHM	4% - Coto-CHM	0,5 Kg./m²- bauxita gruesa
M04	CANT. COTO-CHM	4% - Coto-CHM	0,3 Kg./m²- bauxita gruesa

M05	CANT. COTO-CHM	7% - Coto-CHM	0,5 Kg./m²- bauxita fina
M06	CANT. COTO-CHM	7% - Coto-CHM	0,3 Kg./m²- bauxita fina
M07	CANT. COTO-CHM	4% - Bauxita gruesa	NO
M08	CANT. COTO-CHM	7% - Coto-CHM	0,150 Kg./m²- bauxita fina 0,150 Kg./m² bauxita gruesa

2.1 ESTUDIO DE LOS MATERIALES

2.1.1. Áridos gruesos

Las características de los áridos gruesos utilizados en el proyecto están expuestas en la Tabla 2

Tabla 2 - Características de los áridos gruesos.

FRACCIÓN	PROCEDENCIA	DESG. L.A. UNE-EN 1097-2	C.P.A. UNE-EN 1097-8
6/12	TORDELLOSO (GUADALAJARA)	15	> 56
6/12	CANTERA COTO-CHM (MURCIA)	12	54

2.1.2. Áridos finos

Los áridos finos (fracción 0/2) utilizados en las mezclas proviene de la cantera Coto-CHM (Murcia), siendo de naturaleza porfídica. En una mezcla (M07) se ha sustituido el árido fino por bauxita de tamaño grueso (1-3 mm.).

Los porcentajes de árido fino utilizado en el diseño de las mezclas han sido 4 y 7%, provocando la variación en los porcentajes de huecos de las mezclas.

2.1.3. Bauxitas

Las bauxitas calcinadas utilizadas son las siguientes (Tabla 3):

Tabla 3.- Características técnicas de las bauxitas

TIPO BAUXITA	% Al₂O₃	C.P.A. UNE-EN 1097-8	Tamaño medio partícula - D50
RASC 1-3 mm	86%	59	2,5 mm.
SC0- 0,3 mm.	>99%	-	0,1 mm.

Se ha utilizado pigmento de negro de humo para colorear las bauxitas, haciéndolas mas utilizables desde el punto colorimétrico (Fotos 1 y 2)



Foto 1. Bauxitas SC0-0,3 mm y Rasc 1-3 mm



Foto 2. Bauxitas pigmentadas

La dotación de pigmento ha sido del 3% sobre el peso de la bauxita.

2.2. CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS.

Las mezclas diseñadas tienen varios parámetros en común, que son las siguientes:

Tipo de mezcla: BBTM-11B

Tipo de betún: BM-3c con activante de adhesividad por la utilización del árido fino porfídico.

Dotación de betún: 4,4% betún/mezcla.

Naturaleza del filler mineral: Carbonato cálcico.

Dotación de filler: 7% sobre el total de los áridos.

2.2.1. Estudio de los husos granulométricos

Según el proyecto se han utilizado dos dotaciones de árido fino porfídico distintas (4 y 7%) y se ha cambiado dicho árido por la bauxita gruesa, produciendo estas variaciones husos granulométricos distintos. En las figuras 2-3-4-5-6-7 se aprecia la diferencia de los husos granulométricos distintos. En las figuras 2-3-4-5-6-7 se aprecia la diferencia de los husos según la dotación de árido fino. En los gráficos expuestos, se ha querido comparar con una misma granulometría, la diferencia del huso granulométrico M-10 y el correspondiente a las mezclas BBTM-11B.

2.2.1.1. Huso granulométrico mezclas control y la mezcla con 7% árido fino (M01-M02-M05-M06 y M08).

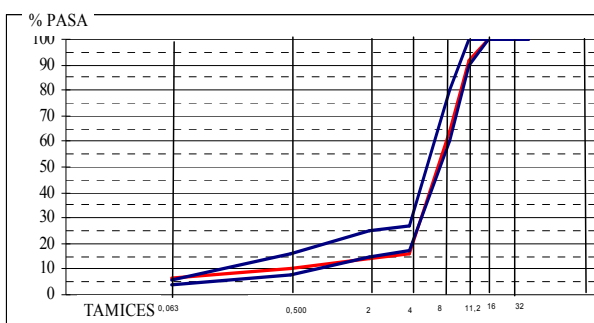


Figura 2 - Huso BBTM-11B

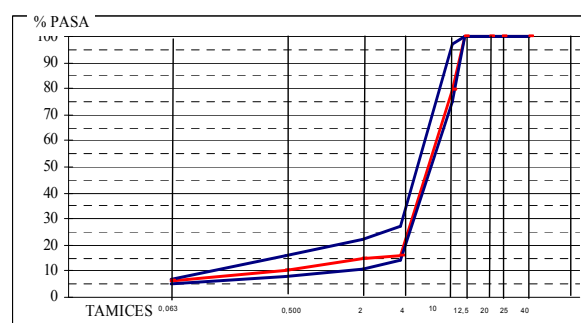


Figura 3 - Huso M-10

2.2.1.2. Huso granulométrico mezclas con 4% árido fino (M03-M04)

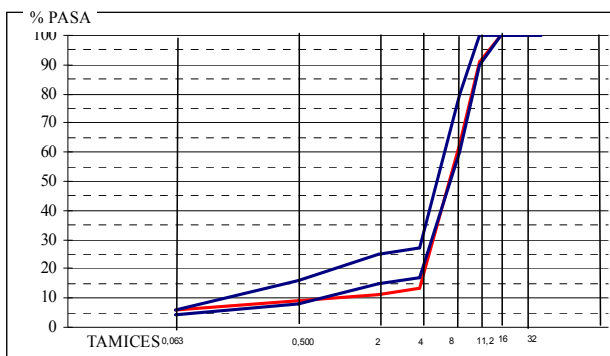


Figura 4 - Huso BBTM-11B

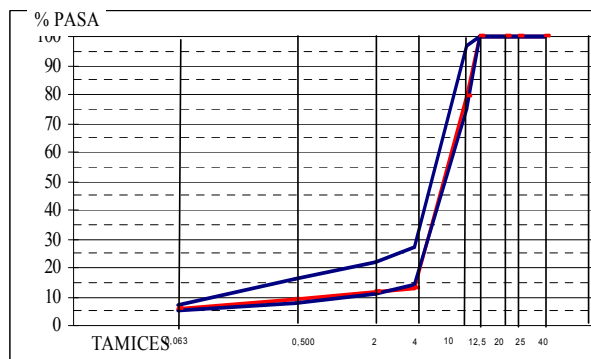


Figura 5 - Huso M-10

2.2.1.3. Huso granulométrico mezcla con Bauxita Rasc 1-3 mm (M07)

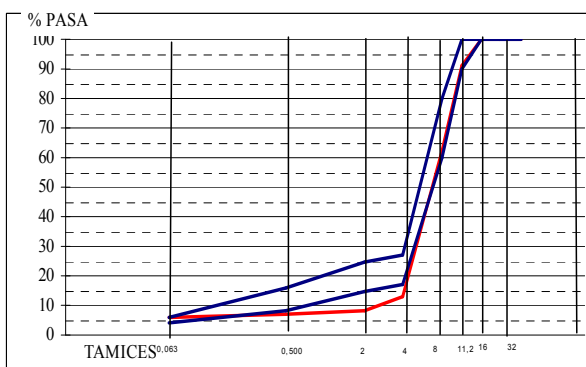


Figura 6 - Huso BBTM-11B

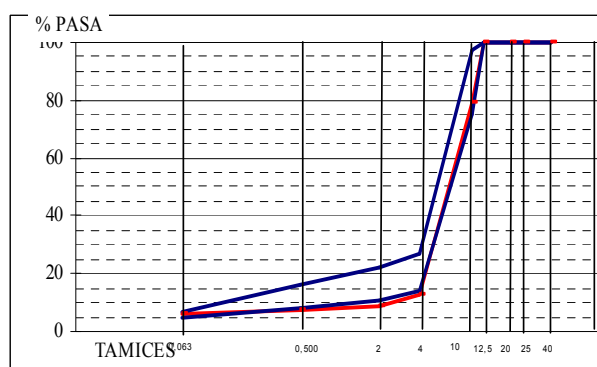


Figura 7 - Huso M-10

2.2.2. Ensayos empíricos y prestacionales de las mezclas.

A las mezclas diseñadas se le han realizado ensayos empíricos y prestacionales para comprobar su viabilidad mecánica y el cumplimiento de la normativa vigente. Se han elegido ensayos relacionados con la cohesión interna, la adhesividad árido-ligante y la susceptibilidad a las deformaciones plásticas cuando esta sometida una mezcla a carga.

Tabla 4 – Resultados de los ensayos mecánicos

CODIGO	M01	M02-M05-M06-M08	M03-M04	M07
Árido grueso	TORDELLOSO	CANT. COTO-CHM	CANT. COTO-CHM	CANT. COTO-CHM
Árido fino	7%.- Cantera Coto- CHM	7%.- Cantera Coto- CHM	4%.- Cantera Coto- CHM	4% Bauxita gruesa
% Huecos/mezcla UNE-EN 12697-8	20,8	19,6	22,2	25,8

Cántabro seco NLT- 352	7,6	5,4	5,6	9,9
Cántabro húmedo NLT-352	14,9	9,2	8	25,5
Velocidad deformación- WTS UNE-EN 12697-22	0,06	0,04	0,05	0,13
Profun. rodera-RD UNE-EN 12697-22	2,08	1,59	1,73	3,35

Los ensayos realizados a las mezclas son los siguientes:

Determinación del contenido de huecos.- UNE-EN 12697-8
 Ensayo cántabro de pérdida por desgaste en seco.- NLT-352
 Ensayo cántabro en húmedo durante 24 h. y 60°C.- NLT-352
 Ensayo de rodadura.- UNE-EN 12697-22:2008

En los resultados obtenidos en la tabla 4, se observa que todas las mezclas obtienen resultados satisfactorios, excepto la mezcla diseñada con bauxita 1-3 mm como árido fino (M07). En esta mezcla se aprecian problemas con la resistencia a las deformaciones plásticas, posiblemente debido al exceso de huecos.

2.2.3. Estudio de la resistencia al deslizamiento de las mezclas en el laboratorio.

Para evaluar la resistencia al deslizamiento de las mezclas proyectadas, se ha medido el Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD) con el péndulo TRRL según norma NLT-175. Estas mediciones se han realizado en las probetas fabricadas para el ensayo de rodadura (placas 30x40 cm.).

Hemos obtenido resultados de CRD antes de someter las probetas al ensayo de rodadura y después del ensayo de pista en la zona de la rodada producida. En la fotografía 3 se observa la fabricación de las probetas para la realización de los ensayos de pista. En la fotografía 4 se aprecia el péndulo de TRRL para realizar el ensayo de CRD.



Fotografía 3 - Fabricación placas



Fotografía 4 - Péndulo TRRL

A las mezclas que llevan dotación superficial de bauxita, se le aplico la dotación de dicho material tras una precompactación con el compactador de placas. Esto se puede observar las fotografías 5 y 6.



Fotografía 5 - Aplicación de la bauxita



Fotografía 6 - Aplicación de la bauxita

Las bauxitas, debido al color claro que tienen, se las ha sometido a un proceso de pigmentación con negro de humo; con esta acción evitamos el contraste colorimétrico con las superficies negras de los firmes asfálticos.

Para la realización del ensayo de rodadura se fabrican dos probetas por mezcla. Se ha pigmentado solamente una de ellas, y hemos obtenido resultados de CRD similares en las dos probetas. Este dato corrobora que la pigmentación no influye en las medidas de CRD. En las fotografías 7 y 8 se aprecia la diferencia entre las superficies pigmentadas y sin pigmentar.



Fotografía 7 - Placas pigmentadas



Fotografía 8 - Placas sin pigmentar

Los resultados obtenidos del Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento son los expuestos en la tabla 5.

Tabla 5 – Resultados de CRD

CODIGO	A. GRUESO	A. FINO	TRATAMIENTO SUPERFICIAL	CRD - NLT-175/98 Inicial	CRD - NLT-175/98 Rodada
M01	Tordelloso	pórfido	NO	0,61	0,57
M02	Coto-CHM	pórfido	NO	0,56	0,54

M03	Coto-CHM	pórfido	0,5 Kg./m ² - bauxita 1-3 mm	0,68	0,65
M04	Coto-CHM	pórfido	0,3 Kg./m ² - bauxita 1-3 mm	0,59	0,55
M05	Coto-CHM	pórfido	0,5 Kg./m ² - bauxita - 0,3 mm	0,84	0,63
M06	Coto-CHM	pórfido	0,3 Kg./m ² - bauxita - 0,3 mm	0,82	0,65
M07	Coto-CHM	Bauxita	NO	0,63	0,49
M08	Coto-CHM	pórfido	0,150 kg/m ² - bauxita - 0,3 mm 0,150 Kg/m ² bauxita 1-3 mm	0,71	0,60

Según los valores obtenidos podemos citar las siguientes conclusiones:

El CPA del árido grueso influye en el resultado del CRD.

El CPA del árido fino también influye en el aumento de resistencia al deslizamiento.

Los tratamientos con bauxita, tanto la gruesa como la fina aumentan el CRD.

La bauxita fina tiene mejor comportamiento que la bauxita gruesa.

En la mezcla M07 el valor de CRD en la rodada después del ensayo de pista es muy bajo, confirmándose que en los firmes deformados posiblemente el CRD tiende a bajar.

3. TRAMOS DE PRUEBA

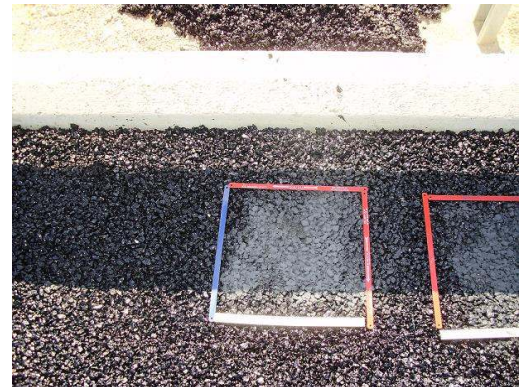
Tras los resultados obtenidos en el laboratorio, se decide realizar varios tramos de prueba de mezcla tipo BBTM-11B con áridos y granulometría normalizados con distintas dotaciones de las bauxita. El objetivo era comprobar la variación de la resistencia al deslizamiento de los firmes asfálticos de los tramos de prueba y además, ver la evolución del aspecto superficial del firme desde el punto de vista colorimétrico.

Los resultados de laboratorio nos demostraron que a mayor dotación de bauxita fina mejores resultados de CRD se obtenían. También se comprobó que la pigmentación de esta bauxita no era totalmente satisfactoria. Para diseñar los tramos de prueba se realizaron ensayos previos en testigos con muestras de las bauxitas a distintas concentraciones. Las bauxitas previamente se pigmentaron con un 3% de negro de humo.

El aspecto de la pigmentación de los testigos en la carretera (ver fotografías 9 y 10) con el 50% de bauxita fina y 50% de bauxita gruesa no era muy satisfactorio y se decidió llegar hasta el 25% y ver su evolución al paso tiempo.



Fotografía 9 - Ensayos previos



Fotografía 10 - Ensayos previos

La composición de los tramos de prueba es la siguiente:

TRAMO 0.- Tramo control sin bauxita

TRAMO 1.- Tratamiento superficial de 0,300 kg/m² de bauxita. 90% bauxita 1-3mm y 10% bauxita 0,3 mm.

TRAMO 2.- Tratamiento superficial de 0,300 kg/m² de bauxita. 75% bauxita 1-3mm y 25% bauxita 0,3 mm.

TRAMO 3.- Tratamiento superficial de 0,300 kg/m² de bauxita. 100% bauxita 1-3mm.

En las fotografías siguientes (11,12 y 13) se pueden ver el aspecto de las tres dotaciones de bauxita ya pigmentadas utilizadas en los tramos de prueba.



Fotografía -11 Bauxita tramo 1



Fotografía -12 Bauxita tramo 2



Fotografía -13 Bauxita tramo 3

3.1. UBICACIÓN Y PUESTA EN OBRA DE LOS TRAMOS DE PRUEBA

Los tramos de prueba se han realizado en el acceso Sur-Villajoyosa de la N-332 en la provincia de Alicante.

La superficie total de los tramos de prueba tratada con bauxita ha sido de 100 m² aprox.

Para realizar la dotación de la bauxita en la superficie del firme se ha utilizado un esparcidor manual (fotografía 14). Se realizaron previamente ensayos para comprobar la distribución de las bauxitas con el esparcidor (fotografía 15).



Fotografía 14 - Esparcidor manual



Fotografía 15 - Pruebas esparcidor

El esparcido de la bauxita en los tramos de prueba se realiza después de extender la mezcla y realizar la primera pasada con el rodillo (Fotografía 16 y 17).



Fotografía 16 - Extendido de la mezcla



Fotografía 17 - Esparcido de la bauxita

3.2. ENSAYOS Y RESULTADOS

Se han realizado ensayos para medir el Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD) con el péndulo TRRL según norma NLT-175 al inicio, transcurrido dos, seis y doce meses. En la fotografía 18 se observa la disposición y el aspecto de los tres tramos con bauxita.



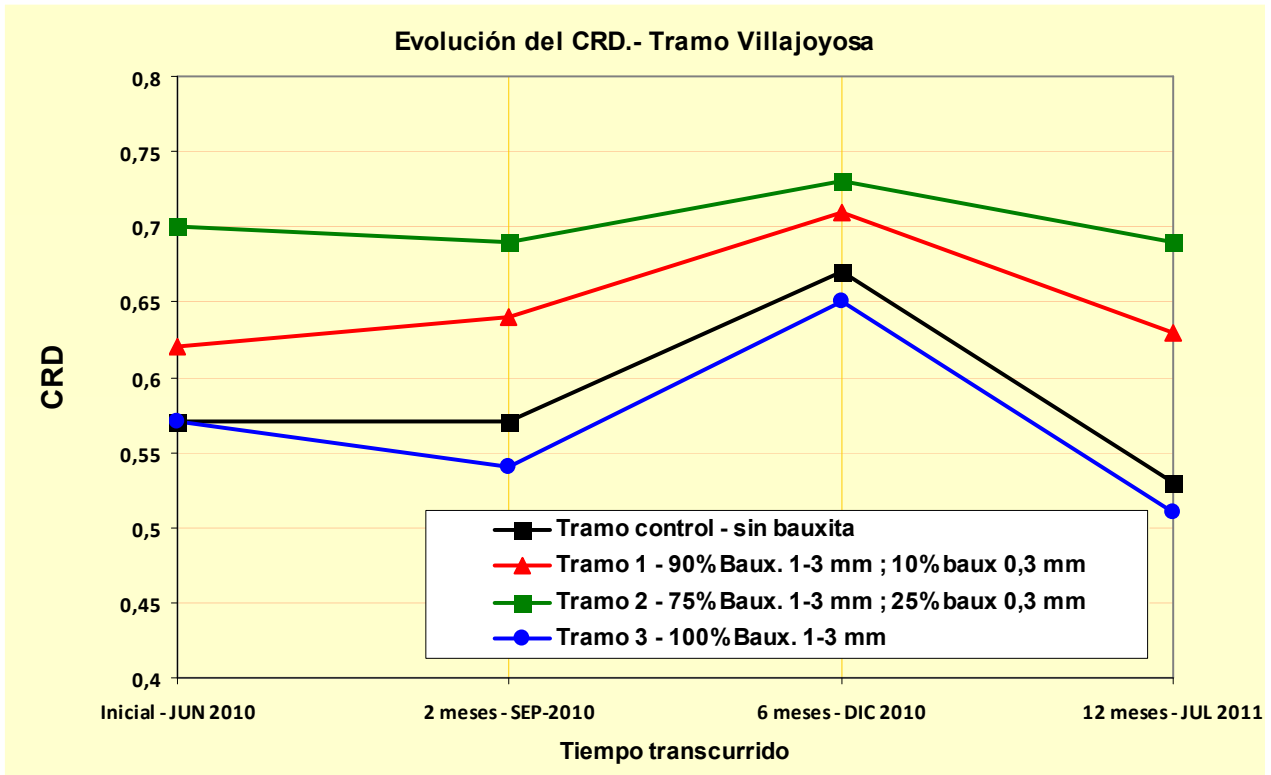
Fotografía 18 - Disposición y aspecto de los tramos con bauxita

Los resultados obtenidos son los expuestos en la tabla 5 y figura 8

Tabla 5 – Evolución del CRD en tramos de prueba

TRAMO	Evolución CRD				
	COMPOSICION-TIPO DE BAUXITA	INICIALES Junio-2010	2 MESES Septiembre-2010	6 MESES Diciembre-2010	12 MESES Julio-2011
0	Sin bauxita	0,57	0,57	0,67	0,53
1	90% 1-3 mm. 10% 0,3 mm.	0,62	0,64	0,71	0,63
2	75% 1-3 mm. 25% 0,3 mm.	0,70	0,69	0,73	0,69
3	100% 1-3 mm.	0,57	0,54	0,65	0,51

Figura 8 – Evolución del CRD en los tramos de prueba.



En la fotografía 19 se observa la realización del ensayo de CRD en los tramos de prueba.



Fotografía 19 – Ensayo de CRD

A nivel de percepción visual se observa en la fotografía 20 que al inicio había un contraste acusado de tonalidad en el tramo 2 (tramo con porcentaje mas alto de la bauxita fina), trascurrido un tiempo este contraste desaparece, según se aprecia en la fotografía 21.



Fotografía 20 – Tramos de prueba inicio



Fotografía 21 – Tramos de prueba a los seis meses

3.3. EVALUACION DE LA MACROTEXTURA

La textura de un pavimento está muy relacionada con las funciones de la superficie como la drenabilidad, la adherencia y la limitación de las molestias sonoras.

La macrotextura del pavimento no está condicionada por las características intrínsecas (mineralogía/petrografía) de los áridos, sino por la formulación de la mezcla bituminosa; esta escala de textura permite la evacuación de la lámina de agua presente sobre la superficie del firme favoreciendo la drenabilidad del mismo. También la macrotextura va a favorecer una distribución espacial de las microrrugosidades (microtextura) en la superficie, siendo esta escala la que está relacionada con el contacto neumático/superficie y a su vez con la adherencia.

Con los tratamientos superficiales podemos esperar, que añadir un nivel de textura suplementario a la envoltura formada por la capa de rodadura, que influya en la macrotextura del firme cambiando su profundidad media de la textura (PMT). Esta variación estará ligada al tamaño de las partículas utilizadas en el tratamiento superficial.

En los tramos de prueba se ha utilizado dotaciones de bauxita con tamaños de partículas distintos, por lo tanto haciendo medidas de la profundidad de la macrotextura superficial del firme según norma UNE-EN 13036-1 (fotografía 22) y ensayos de permeabilidad in situ con el permeámetro LCS según norma NLT-327/00 (fotografía 23), podemos evaluar la influencia en la macrotextura de un pavimento con el tamaño de las partículas utilizadas en los tratamientos superficiales.

Los resultados obtenidos de estos ensayos se reflejan en las tablas 6 y 7.

Tabla 6 – Evaluación de la profundidad de la macrotextura superficial (PMT)

TRAMO	UNE-EN 13036-1.- Profundidad de la macrotextura superficial	
	COMPOSICION-TIPO DE BAUXITA	PMT
0	Sin bauxita	3,7
1	90% 1-3 mm. 10% 0,3 mm.	2,9
2	75% 1-3 mm. 25% 0,3 mm.	3,5
3	100% 1-3 mm.	2,6

Tabla 7 – Medidas de permeabilidad

TRAMO	NLT-327/00.- Permeabilidad in situ de pavimentos (Permeámetro LCS)	
	COMPOSICION- TIPO DE BAUXITA	Tiempo- segundos
0	Sin bauxita	31
1	90% 1-3 mm. 10% 0,3 mm.	32
2	75% 1-3 mm. 25% 0,3 mm.	31
3	100% 1-3 mm.	34



Fotografía 22 – Utilización permeámetro LCS



Fotografía 23 – Obtención de valores de PMT

Según los resultados expuestos en las tablas 6 y 7, obtenemos las siguientes conclusiones:

- Un tratamiento superficial para potenciar la funcionalidad de la superficie del pavimento, conlleva una pequeña disminución de la profundidad media de la textura (PMT). Esta disminución es mayor conforme se utiliza porcentajes más altos de bauxita mas fina.

La drenabilidad del pavimento no ha experimentado disminución significativa con los tratamientos superficiales realizados en los tramos de prueba

Después de los resultados obtenidos, el siguiente paso será proyectar y ejecutar tramos de prueba con dimensiones superiores a los realizados para poder medir el Coeficiente de Rozamiento Transversal (CRT). En dichos tramos compararíamos la utilización en las mezclas bituminosas de árido de CPA >56 con el uso de mezclas con áridos de la zona de CPA comprendido entre 53-55 mas un tratamiento superficial con bauxita.

En los tramos de prueba pendientes de ejecución, se tiene previsto utilizar para el esparcido de la bauxita un esparcidor de precisión tipo BS 180 de Bomac, que se adapta al compactador metálico según fotografía 24



Fotografía 24 - Esparcidor precisión

4. ESTUDIO ECONÓMICO

Tomando como referencia la dotación de bauxita utilizada en el tramo 2, la valoración del tratamiento de los firmes con la dotación de las bauxitas por m² son los expuestos en la tabla 8.

Tabla 8 – Valoración del tratamiento con bauxita.

Concepto	€/Kg.	Kg./m ²	€ totales/m ²
Bauxita Rasc 1-3 mm - 0,225 Kg./m ²	0,635	0,225	0,142875
Bauxita SC-0.- 0,075 Kg./m ²	0,495	0,075	0,037125
Negro de humo.- 3%.- 0,009 Kg./m ²	2,75	0,009	0,02475
Coste de la mezcla de las bauxitas	0,25	0,30	0,075
Esparcidor- Alquiler			0,025

TOTAL (€/m²) 0,30

La utilización de áridos con CPA>56 procedentes de Tordelloso (Guadalajara) en mezclas BBTM-11B en la zona de Alicante, llevaría un sobre coste en la fabricación de dichas mezclas valorado en **1,3 €/m²** debido al transporte de los áridos.

Por lo tanto tenemos una ventaja económica de un **1€/m²** en utilizar un tratamiento superficial de bauxita en las mezclas con áridos de la zona, a utilizar áridos que el CPA esta por encima de 56 que hay que transportarlos entre 400-500 Km.

En la tabla 9, exponemos un estudio comparativo de los costes de fabricación y puesta en obra por m² de las siguientes mezclas:

- BBTM-11B con áridos de la zona geográfica con CPA entre 53-55
- BBTM-11B con áridos de la zona geográfica con CPA entre 53-55 con adición de bauxita

- BBTM-11B con áridos de Tordelloso (Guadalajara) con CPA>56.
- Tratamiento superficial con lechada bituminosa tipo LB3.
- Tratamiento superficial de alta fricción con bauxita calcinada y resinas sintéticas.

Tabla 9 – Coste de fabricación y puesta en obra.

TIPO DE MEZCLA	BBTM-11B con áridos de la zona geográfica (CPA 53-55)	BBTM-11B con áridos de la zona geográfica (CPA 53-55) más tratamiento con bauxita	BBTM-11B con áridos de Tordelloso (CPA>56)	Lechada bituminosa LB3	Tratamiento superficial de alta fricción (bauxitas y resinas)
€/m ²	3,3	3,6	4,6	1,7	60

5. CONCLUSIONES

- 1.- Con un tratamiento superficial con bauxita calcinada podemos aumentar la resistencia al deslizamiento de un firme.
- 2.- Pigmentando la bauxita con negro de humo podemos mitigar el contraste de tonalidad que provoca utilizar la bauxita sin pigmento. La coloración puede ser de otra tonalidad, solamente cambiando el pigmento.
- 3.- Según la evolución de tonalidad de los tramos de prueba a lo largo del tiempo, se podría aumentar el porcentaje de bauxita fina, que previsiblemente aumentaría el CRD.
- 4.- La utilización de los tratamientos con bauxita nos permitiría utilizar áridos de la zona (CPA<56) para las mezclas en las capas de rodadura.
- 5.- Es mas rentable económicamente realizar un tratamiento con bauxita a los firmes con áridos de la zona geográfica local que tienen CPA<56, a fabricar mezclas con áridos de CPA>56 cuyo transporte esta entre 400-500 km.
- 6.- Para disminuir costes, se puede utilizar fracciones finas de áridos con CPA alto en vez de bauxita, obteniéndose prestaciones antideslizantes suficientes para su uso.
- 7.- Este tipo de tratamiento puede constituirse como una medida de bajo coste para aumentar la resistencia al deslizamiento, siendo recomendable su utilización en zonas de alto riesgo y alta sollicitación, como fuertes pendientes, curvas peligrosas, aproximaciones a rotondas, paso de peatones, semáforos e intersecciones.
- 8.- En el caso de firmes antiguos deslizantes, pero sin fallos estructurales, se podría utilizar una variante de esta técnica, utilizando el material antideslizante con un ligante (*micro-envueltas*)