

## **CPI CATALUNYA. CAPA DE RODADURA CARRETERA BV-2411. BEGUES-AVINYONET DEL PENEDÈS**

### **MESCLA INNOVADORA TIPUS BBTM 11A AMB ÀRID SIDERÚRGIC FABRICADA A MENOR TEMPERATURA**

M<sup>a</sup> Elena Hidalgo Pérez, Eiffage Infraestructuras  
Rafael Martinez Moriano, Eiffage Infraestructuras  
Sixto López Abad, Eiffage Infraestructuras  
Mario Alberto Jimeno Mora, Servei Territorial de Carreteres de Barcelona, del Departament de Territori

#### **Resum**

Dins del programa de Ferms Sostenibles del Departament de Territori de la Generalitat de Catalunya, s'ha proposat la millora superficial del ferm en un tram de 14,9 quilòmetres de la carretera BV-2411, comprès entre les localitats de Begues i Avinyonet del Penedès. Aquest programa vol promoure, mitjançant la Compra Pública Innovadora, l'aplicació de materials i tecnologies més sostenibles tant en el disseny com en la producció, la construcció i el manteniment de ferms per a carreteres, aportant nous valors afegits a la seva funcionalitat bàsica de seguretat viària.

El tram en qüestió presenta un traçat sinuós, amb alternança de trams descendents i ascendents i pendents en general moderades. La traça discorre en gran part del tram a mig vessant, i al llarg del recorregut existeixen nombrosos revolts de radi inferior a 100 m, i fins i tot alguns de radi inferior a 50 m.

Com a particularitats socials d'aquesta carretera podem ressaltar que, d'una banda, la recuperació econòmica de la zona i la presència de diverses pedreres ha fet augmentar el trànsit de camions en aquesta via i, d'altra banda, que constitueix una carretera molt atractiva per a les pràctiques esportives de ciclistes i motoristes.



**Figura 1.** Pla general tram (esquerra) i detall previ del tram (dreta)

Tenint en compte les característiques particulars d'aquesta carretera i els requeriments establerts en els plecs del citat programa, en els quals es plantejava l'ús d'àrid siderúrgic en la composició de la mescla asfàltica per a la capa de rodadura a executar, des de l'UTE adjudicatària de l'actuació (UTE Begues Avinyonet), constituïda per EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS i ELSAN (Grup OHLA), es va establir el disseny, la fabricació i la posada en obra d'una mescla innovadora que s'ajustés als requeriments funcionals d'aquesta carretera.

La solució innovadora proposada i executada per l'UTE Begues Avinyonet està constituïda per una capa de rodadura d'espessor reduïda (2,2 cm), emprant una barreja tipus BBTM 11A [1],

l'esquelet mineral de la qual inclou àrids siderúrgics, i que ha estat fabricada i posada en obra a menor temperatura que una mescla en calenta convencional. Prèviament a l'estesa d'aquesta capa de rodadura es va executar una capa de regularització amb mescla tipus AC convencional.

En aquest article, es presenten els resultats del seguiment realitzat tant en la fase de disseny en laboratori, com en la fase de fabricació i posada en obra de la mescla innovadora.

Paraules claus: mescles asfàltiques, sostenibilitat, baixa temperatura, economia circular, residus.

## INTRODUCCIÓ

D'acord amb els objectius estratègics de la Unió Europea, la valorització dels residus dels processos industrials com ara els àrids siderúrgics, que en alguns casos presenten característiques molt similars a unes certes matèries primeres, és una pràctica que necessita ser promoguda per a resoldre d'aquesta forma una de les principals problemàtiques en la seva gestió, evitant d'aquesta manera la seva eliminació o acumulació en abocadors, i l'extracció dels recursos naturals alternatius. En aquest sentit, s'ha comprovat que un adequat tractament en l'acereria, i una classificació i selecció de les escòries en la planta d'un gestor de residus, poden proporcionar, sense problemes, àrids de qualitat per ser utilitzats en mescles bituminoses. Aquests àrids posseeixen un bon coeficient de desgast dels Àngels i un excel·lent coeficient de fricció, aquests dos fets els fan especialment utilitzables per a capes de rodadura. D'altra banda, la composició química i el caràcter bàsic de l'àrid siderúrgic els garanteix una bona adhesivitat amb els betums.

Sobre la base d'això, dins del programa de Ferms Sostenibles del Departament de Territori de la Generalitat de Catalunya, s'ha executat una capa de rodadura de mescla asfàltica fabricada a 15-20°C menys que les mescles en calent, i amb la incorporació d'àrids siderúrgics. D'altra banda, la solució executada ha tingut en compte les premisses d'aconseguir una renovació del paviment que millori l'adherència i el drenatge superficial i redueixi el soroll produït pel pas dels vehicles.

Considerant tots els aspectes i premisses exposats, la capa de rodadura dissenyada, fabricada i executada per l'UTE Begues Avinyonet en la carretera BV-2411, entre les localitats de Begues i Avinyonet del Penedès, presenta les següents característiques:

- Consisteix en una mescla per a capa de rodadura en la qual se substitueix l'àrid natural per un àrid artificial, procedent de la valorització de les escòries siderúrgiques.
- Aquesta mescla es fabrica a menor temperatura que una mescla convencional (15-20°C menys). La temperatura de fabricació objectiva és de 150°C.
- La mescla és de granulometria discontinua (tipus BBTM A) amb una grandària màxima d'àrid d'11 mm i amb betum modificat amb polímers (PMB 45/80-65).
- Per reduir la temperatura de fabricació s'empra un additiu líquid d'origen vegetal.



**Figura 2.** Detall de la compactació (esquerra) i tram finalitzat (dreta)

## 1 EXECUCIÓ DELS TREBALLS

### 1.1 Estudi previ dels materials

La mescla estudiada ha estat una mescla de tipus BBTM 11A. Aquesta mescla ha estat dissenyada i fabricada amb una combinació d'àrids gruixuts d'escòria siderúrgica i sorra de naturalesa calcària, amb betum modificat PMB 45-80/65, amb l'addició d'un additiu d'origen vegetal per a la seva fabricació a menor temperatura. A aquesta mescla, la denominarem d'ara endavant, BBTM 11A 45/80-65 ASA BT.

Referent als materials emprats en el disseny i la fabricació de la mescla:

L'àrid siderúrgic emprat procedeix de la planta de l'empresa ADEC Global (Figura 3) i les seves característiques es resumeixen en la Taula 1:



**Figura 3.** Detall de l'àrid siderúrgic per a la mescla bituminosa

**Taula 1.** Característiques de l'àrid siderúrgic

Assaig	Norma	Unitat	Especificació PG-3 Art. 543	Resultat
<b>Cares de fractura</b>	UNE-EN-933-5	%	100	100
<b>Índex d'agulla</b>	UNE-EN 933-3	%	≤20	6
<b>Coeficient dels Àngels</b>	UNE-EN 1097-2	%	≤20	15
<b>Neteja superficial (% fins)</b>	UNE-EN 933-1	%	≤0,5	0,5
<b>Densitat de les partícules</b>	UNE-EN 933-6	Mg/m <sup>3</sup>	---	3,600
<b>Coeficient de poliment accelerat</b>	UNE-EN 1097-8	Valor	≥50	58

Les característiques de la sorra calcària emprada en el disseny de la mescla es resumeixen en la Taula 2 **Error! No s'ha trobat l'origen de la referència.:**

**Taula 2.** Resum resultats assaigs d'àrids fins (sorra calcària)

Assaig	Norma	Unitat	Especificació PG-3 Art. 543	Resultat
<b>Equivalent de sorra (SE4)</b>	UNE EN 933-8	valor	>55	60
<b>Densitat</b>	UNE EN 1097-6	Mg/m <sup>3</sup>	---	2,700
<b>Absorció</b>	UNE EN 1097-6	%	---	0,52

## 1.2 Dosificació i fórmula de treball

La fórmula de treball de la mescla asfàltica tipus BBTM 11A 45-80/65 AS BT emprada com a capa de rodadura en l'obra es detalla a continuació (Taula 3):

**Taula 3 . Resum fórmula de treball**

<b>Assaig</b>	<b>BBTM 11A PMB 45-80/65 AS BT</b>
<b>Betum sobre mescla (%)</b>	4,70
<b>Densitat aparent (Mg/m<sup>3</sup>)</b>	2,720
<b>Buits en mescla (%)</b>	9,4
<b>Buits en àrids (%)</b>	22,5
<b>Relació F/B</b>	1,3
<b>Sensibilitat a l'aigua, ITSR (%)</b>	91,1
<b>Deformació permanent, WTS</b>	0,032

## 1.3 Planta de fabricació

En la taula següent es detallen las característiques de la planta emprada en la fabricació de la mescla asfàltica (Taula 4):

**Taula 4. Descripció planta de fabricació**

<b>Localització</b>	<b>Tipus</b>	<b>Model</b>	<b>Capacitat màx. producció (T/h)</b>	<b>Detalls</b>
Vallirana	Discontínua	SIM-280	280	Amb calibració prèvia per a l'ús d'àrids siderúrgics de major densitat.

En la figura següent (Figura 4) es mostren detalls de la planta on s'ha fabricat la mescla BBTM 11A 45-80/65 AS BT:



**Figura 4.** Detalls de la planta emprada





#### 1.4 Equips d'estesa i compactació

La mescla BBTM 11A 45-80/65 ASA BT s'ha estès i compactat amb els mateixos mitjans emprats en la estesa i la compactació de mescles en calent de tipus discontinu amb àrids naturals. En la taula següent (Taula 5) es resumeixen les característiques dels equips emprats:

**Taula 5.** Taula resum equips d'estesa i compactació

Obra	Estenedora	Piconadora tàndem
BV-2411	Vögele Super 1900-3i	Hamm HD 80i 10,45 T

## 2 RESULTATS D'ASSAIGS I CONTROL DE QUALITAT DE L'OBRA

### 2.1 Assaigs de control sobre els materials

Durant l'execució de l'obra, s'ha fabricat i posat en obra una mescla de referència BBTM 11A 45/80-65, amb àrids de naturalesa granítica i fabricada a temperatura de mescla en calent convencional. En resum, els resultats dels assajos especificats en el PG-3, obtinguts sobre la mostra innovadora BBTM 11A 45/80-65 amb àrid siderúrgic i reducció de temperatura i els obtinguts per una mescla de referència BBTM 11A 45/80-65 convencional, poden observar-se i resumir-se en la taula següent (Taula 6):

**Taula 6.** Resum resultats d'assaigs en mescles asfàltiques carretera BV-2411

Assaig	BBTM 11 A PMB 45/80-65 AS BT	BBTM 11A PMB 45/80-65	Unitat
Temperatura mitja de fabricació	149	165	°C
Contingut de lligant (ignició)	4,74	5,27	%
Densitat màxima	3,025	2,497	Mg/m <sup>3</sup>
Densitat aparent (SSD)	2,844	2,387	Mg/m <sup>3</sup>
Buits en mescla	6,1	4,4	%
Sensibilitat a l'aigua, ITR	91,9	91,7	%
Deformació permanent, WTS	0,049	0,042	mm/10 <sup>3</sup> cicles

En base als resultats obtinguts:

- El contingut en buits en mescla és superior al 4 % especificat.
- La resistència conservada en l'assaig de tracció indirecta després d'immersió, realitzat a quinze graus Celsius (15°C), és superior al 90 % especificat.
- La pendent mitja de deformació en pista segons la norma UNE-EN 12697-22, és inferior a la pendent de 0,07 especificada.

Las prestaciones de la mescla amb àrid siderúrgic i fabricada a menor temperatura són equivalents a les de la mescla de referència convencional.

### 2.2 Assaigs addicionals sobre les mescles

A més dels assaigs requerits en el PG-3, es van planificar assaigs addicionals per comparar el comportament de la mescla innovadora respecte a una mescla convencional: rigidesa i resistència després del polit i assaig Fènix.

### 2.2.1 Assaig de rigidesa

Els resultats dels assaigs de rigidesa (UNE-EN 12697-26. Annex C) i resistència a fatiga (UNE-EN 12697-24. Annex D) de les mostres assajades han resultat ser els següents):

**Taula 7.** Resum resultats assaigs de rigidesa

Assaigs	BBTM 11 A PMB 45/80-65		Unitat
	AS	BT	
<b>Mòdul rigidesa</b>	4.471	4.144	MPa

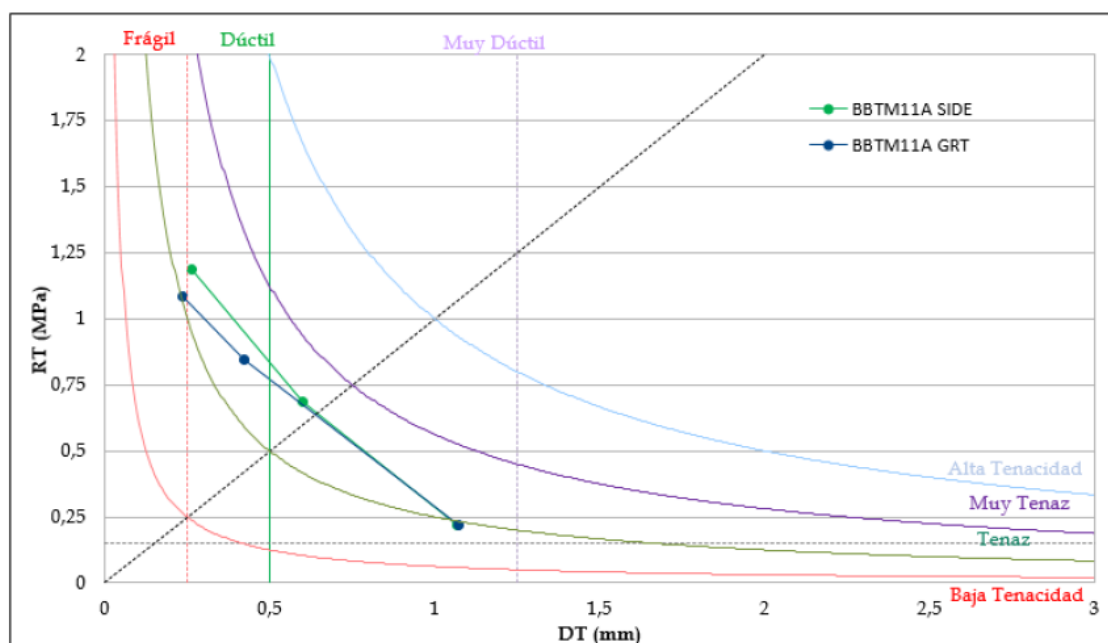
El valor de rigidesa obtingut pels dos tipus de mescla és del mateix orde de magnitud.

### 2.2.2 Assaig Fènix

Així mateix, a fi d'avaluar la resistència a fissuració de la mescla innovadora i la mescla de referència, s'han realitzat els assajos Fènix sobre dues mostres preses durant l'execució de l'obra. Aquest assaig, desenvolupat per la Universitat Politècnica de Catalunya i normalitzat pel CEDEX mitjançant la norma NLT 383/20, permet determinar el comportament de les mescles bituminoses quant a resistència i deformació a diferents temperatures, obtenint-se paràmetres relacionats amb les seves propietats mecàniques i resistents (RT), ductilitat (DT) i tenacitat (RTxDT). Els resultats obtinguts es mostren en la Taula 8 i Figura 5:

**Taula 8.** Resum resultats assaigs Fènix

Mescla	BBTM 11A PMB 45/80-65			BBTM 11A 45/80-65		
	AS	BT				
<b>Temp. assaig (°C)</b>	<b>-5</b>	<b>5</b>	<b>20</b>	<b>-5</b>	<b>5</b>	<b>20</b>
<b>DT (mm)</b>	0,3	0,6	1,1	0,2	0,4	1,1
<b>RT (MPa)</b>	1,2	0,7	0,2	0,5	0,8	0,2
<b>RTxDT (MPa·mm)</b>	0,36	0,42	0,22	0,10	0,32	0,22



**Figura 5:** Diagrama Fènix obtingut per a la mescla innovadora i la de referència



Els resultats obtinguts evidencien un comportament molt similar quant a tenacitat i ductilitat de totes dues mescles, si bé la mescla amb àrid siderúrgic presenta lleugerament una major tenacitat a baixes temperatures. Com a comentari addicional, s'indica que a 20°C, el resultat de RTxDT és lleugerament inferior al recomanat en la nota tècnica NT 01/2022 [2].

### 2.2.3 Assaig de fregament després del polit (Wehner-Schulze)

Tenint en compte que les mescles s'han emprat per a la capa de rodadura, s'han realitzat assaigs de fregament després de poliment, mitjançant l'equip Wehner-Schulze en el laboratori central de EIFFAGE a Abanilla. Els resultats de fregament en els cicles 90.000 i 180.000 es mostren en la Taula 9:

**Taula 9.** Resum resultats assaigs fregament després de polit

Mescla	BBTM 11A PMB 45/80-65 AS BT	BBTM 8A 45/80-65
<b>Fregament després polit (90.000 cicles)</b>	0,326	0,354
<b>Fregament després polit (180.000 cicles)</b>	0,314	0,333

Com pot observar-se, els resultats de fregament obtinguts per a la mescla de referència són lleugerament millors (5 %) que els obtinguts per a la mescla innovadora amb l'àrid siderúrgic, si bé aquest resultat puntual no permet fer una estimació del comportament quant al resultat futur del \*CRT, sí que podria resultar interessant analitzar-ho de manera conjunta quan es disposi de resultats.

## Control d'execució

L'estesa i la compactació de la mescla bituminosa BBTM 11A 45/80-65 AS BT s'han realitzat amb els mateixos equips i seguint el mateix protocol de compactació que per a una mescla en calent. Sobre la capa executada, s'ha determinat la macrotextura, mitjançant l'assaig de cercle de sorra o assaig volumètric (MPT). D'altra banda, s'ha realitzat un control tèrmic en obra, mitjançant mesuraments amb termòmetre de contacte a cada camió a la seva arribada a obra.

### 2.2.4 Macrotextura

S'han realitzat 159 punts de mesura per a assaigs de macrotextura mitjançant el mètode volumètric. El resum dels resultats dels assaigs de macrotextura pot observar-se en la taula següent (Taula 10):

**Taula 10.** Resum de resultats de macrotextura (MPT)

Tipus de mescla	Amidaments (uts.)	Macrotextura (mm) UNE-EN 13036-1
<b>BBTM 11A PMB 45/80-65 AS BT</b>	159	1,46

### 2.2.5 Control tèrmic d'estesa

Com ja s'ha indicat anteriorment, s'ha realitzat un control tèrmic en obra sobre el material a la seva arribada a l'estesa. En la Taula 11 es mostra el resum dels resultats obtinguts.



Taula 11. Resultats del control tèrmic en planta i en obra

Tipus de mescla	Temperatura mitja en planta (°C)	Temperatura mitja en obra (°C)
<b>BBTM 11A PMB 45/80-65 AS BT</b>	149	143
<b>BBTM 11A 45/80-65</b>	165	158

### 3 AVANTATGES MEDIAMBIENTALS DE LA MESCLA INNOVADORA

Des d'un punt de vista mediambiental, devem tenir en compte pel que fa a la sostenibilitat de la mescla innovadora dissenyada, fabricada i posada en obra:

- Menor temperatura de fabricació, el que suposa un estalvi energètic i una disminució de les emissions de CO<sub>2</sub>. En aquest sentit, respecte a la mescla convencional, s'han reduït en 45 tones les emissions de CO<sub>2</sub> el que suposa un estalvi del 14 % en el global de l'obra executada.
- Reducció de la distància de transport de matèries primeres a la planta: l'àrid siderúrgic es transporta a una distància de 200 metres (es produeix al costat de la planta asfàltica), mentrestant l'àrid granític s'obté d'una pedrera ubicada a 43 km.
- Costos ambientals de la matèria primera: l'àrid siderúrgic té menors costos ambientals per tona produïda que l'àrid granític.
- Consum de recursos naturals: la mescla innovadora redueix la necessitat d'àrids naturals en un 75 % (s'han emprat 4.200 tones d'àrid artificial reciclat).

### 4 CONCLUSIONS

En base a tot allò esmentat en aquest article, es poden establir les conclusions següents:

En quant als avantatges que presenta la mescla innovadora BBTM 11A PMB 45/80-65 AS BT:

- Bones propietats de drenatge superficial (granulometria discontinua) i alta macrotectura.
- Bon comportament en quant a resistència a la fissuració i a les deformacions plàstiques.
- Alta resistència a l'acció de l'aigua gràcies al caràcter bàsic de l'àrid siderúrgic.
- Mediambientals: foment de l'economia circular, estalvi de recursos naturals i contribució a la descarbonització.

### 5 REFERÈNCIES

[1] Plec de Prescripcions Tècniques Generals per a Obres de carreteres i ponts. PG-3. Article 543. Mescles bituminoses tipus formigó bituminós.

[2] NOTA TÈCNICA NT 01/2022. Sobre la utilització de l'Assaig Fènix en el control de qualitat de les obres de fermes amb mescles bituminoses.