

CPI CATALUNYA. CAPA DE RODADURA CARRETERA C-12. XERTA-RASQUERA

MESCLA INNOVADORA TIPUS BBTM 8A AMB ALTA TAXA DE POLS DE CAUTXÚ D'NFVU FABRICADA A MENOR TEMPERATURA

M^a Elena Hidalgo Pérez, Eiffage Infraestructuras
Rafael Martínez Moriano, Eiffage Infraestructuras
Sixto López Abad, Eiffage Infraestructuras
Ivette Fibla Coloma, Servei Territorial de Carreteres de les Terres de l'Ebre, del Departament de Territori

Resum

La carretera C-12 constitueix un eix estructurant que proporciona competitivitat a les denominades Terres de l'Ebre a la província de Tarragona. Aquest eix, de màxima importància econòmica i social per a aquest territori, ha de ser segur i sostenible. Per això, la gestió i el manteniment d'aquesta infraestructura han d'estar basats en una economia circular que permeti aprofitar els recursos al màxim i reduir la generació de residus al mínim, amb un impacte ambiental i social positiu.



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

Tenint en compte les característiques particulars d'aquesta carretera, dins del programa de Ferms Sostenibles del Departament de Territori de la Generalitat de Catalunya, es va proposar la millora superficial del ferm en un tram de 20,5 quilòmetres de la C-12, entre les localitats de Xerta i Rasquera, mitjançant mesclures asfàltiques altament modificades amb pols d'NFVU (pneumàtics al final de la seva vida útil). Aquesta actuació, de la qual va ser adjudicatària EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS, inclou la redacció del projecte constructiu i l'execució de l'obra en un termini inferior a 12 mesos.

La solució innovadora proposada i executada per EIFFAGE ha estat la d'una capa de rodadura d'espessor reduïda (2,1 cm), que empra una barreja tipus BBTM 8A [1] amb alta taxa de pols d'NFVU fabricada i posada en obra a menor temperatura que una mescla en calent 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.

1 Introducció

Des de finals de 2019 la Comissió Europea aposta per la sostenibilitat i l'economia circular. Documents com l'Acord Verd Europeu o el Pla d'Acció d'Economia Circular, afirmen la necessitat d'esforçar-se a reduir la petjada de carboni i duplicar la taxa d'ús de material circular en la dècada vinent. En aquest sentit, l'experiència espanyola de l'ús de la pols de cautxú procedent d'NFVU en carreteres durant les dues últimes dècades és àmplia. Aquesta tecnologia és sostenible, amigable amb el medi ambient i contribueix al model d'economia circular amb el qual Europa s'ha compromès.

En base a 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 amb la incorporació d'una alta taxa de pols de cautxú procedent de la gestió de pneumàtics al final de la seva vida útil (NFVU), i fabricada a menor temperatura que la que correspondria a una mescla altament modificada amb cautxú en calent. 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 les premisses exposats, la capa de rodadura dissenyada, fabricada i executada per EIFFAGE a la carretera C-12, entre les localitats de Xerta i Rasqueta, presenta les característiques següents:

- Consisteix en una mescla altament modificada amb cautxú fabricada a menor temperatura que la corresponent mescla en calent. La temperatura de fabricació màxima establerta per contracte ha estat de 150°C.

- La mescla és de granulometria discontinua (tipus BBTM 8A) amb una grandària màxima d'àrid de 8 mm, la qual cosa permet la seva aplicació en espessors baixes.

- El percentatge de pols d'NFVU afegit és del 0,7 % sobre mescla (13 % sobre el betum).

- Per reduir la temperatura de fabricació s'empra un additiu líquid d'origen vegetal.

- Per facilitar la digestió de la pols d'NFVU en la mescla s'empra pols de cautxú de granulometria molt fina (<0,5 mm) i origen 100 % procedent de cobertes de camió. A més, s'additiva el betum amb un activant per millorar la digestió del cautxú.



Figura 2. Detalls de l'estesa (esquerra) i tram finalitzat (dreta)

2 Execució dels treballs

2.1 Estudi previ dels materials

La mescla estudiada ha estat una mescla de tipus BBTM 8A. Aquesta mescla ha estat dissenyada i fabricada amb una combinació d'àrids gruixuts verges de naturalesa pòrfida-

granítica i sorra de naturalesa calcària, amb betum de grau 50/70 additivat amb un activant en refinaria i amb l'addició de pols d'NFVU 100 % procedent de cobertes de camió pel procediment de via seca (addicionat directament al mesclador). Pel que fa als materials emprats en el disseny i la fabricació de la mescla:

La pols d'NFVU emprada procedeix d'una planta de l'empresa GMN (Lleida) (Figura 3).



Figura 3. Detall pols d'NFVU per a la mescla bituminosa

Taula 1. Propietats físiques de la pols d'NFVU

Assaig	Unitat	Resultat
Densitat	gr/cm3	1,1-1,2
Densitat aparent	Kg/m3	< 400
Humitat	%	0,7
Forma / aspecte		Esponjós

Les característiques dels àrids es resumeixen en les taules següents (2, 3 i 4):

Taula 2. Resum resultats en assaigs de granulometria dels àrids i fil·ler

Tamís (mm)	(% que passa)			
	Àrid 4/8	Àrid 2/6	Àrid 0/2	Fil·ler recup.
11,2	100	100	100	100
8	89	100	100	100
5,6	19	95	100	100
4	1	56	100	100
2	1	6	93	100
0,500	1	1	40	100
0,063	0,3	0,6	19,0	83,0

Taula 3. Resum resultats assaig àrids gruixuts

Assaig	Norma	Unitat	Especificació PG-3 Art. 543	Resultat
Cares de fractura	UNE-EN-933-5	%	100	100
Índex d'agulla	UNE-EN 933-3	%	≤20	12
Coefficient dels Àngels	UNE-EN 1097-2	%	≤20	12
Neteja superficial (% fins)	UNE-EN 933-1	%	≤0,5	0,3
Densitat de las partícules	UNE-EN 933-6	Mg/m3	---	2,720
Coefficient de poliment accelerat	UNE-EN 1097-8	Valor	≥50	57

Taula 4. Resum resultats assaigs d'àrids fins

Assaig	Norma	Unitat	Especificació PG-3 Art. 543	Resultat
Equivalent de sorra (SE4)	UNE EN 933-8	valor	>55	60
Densitat	UNE EN 1097-6	Mg/m ³	---	2,680
Absorció	UNE EN 1097-6	%	---	0,82

2.2 Dosificació y fórmula de treball

La fórmula de treball de la mescla asfàltica tipus BBTM 8A 50/70 + NFVU activat emprada com rodadura en l'obra ha estat la següent (Taula 5):

Taula 5. Resum fórmula de treball

Assaig	BBTM 8A 50/70 BT C (*)
Betum sobre mescla %	5,30
Additiu (pols NFVU) % s/m	0,7
Densitat aparent (Mg/m ³)	2.280
Buits en mescla (%)	8,9
Buits en àrids (%)	20,8
Relació F/B	1,4
Sensibilitat a l'aigua. ITSR (%)	91
Deformació permanent. WTS	0,061

(*) Nota: BBTM 8A 50/70 BT C (Baixa Temperatura) C (Cautxú)

2.3 Planta de fabricació

En la taula següent es resumeixen les característiques de la planta emprada en la fabricació de la mescla asfàltica (Taula 6):

Taula 6. Descripció planta de fabricació

Localització	Tipus	Model	Capacitat màx. producció (T/h)	Detalls
Valls	Discontínua	Intrame RM 200	200	Amb dosificador d'additius sòlids

En la figura següent (Figura 4) es mostren els detalls de la planta on s'ha fabricat la mescla BBTM 8A 50/70 BT C:



Figura 4. Detalls de la planta emprada. (Esquerra: vista general planta Eiffage Valls. Dreta: dosificador d'additius sòlids per a dosificació d'NFVU)



2.4 Equips d'estesa i compactació

La mescla BBTM 8A 50/70 BT C s'ha estès i compactat amb els mateixos mitjans emprats per a l'estesa i la compactació de mescles en calent de tipus discontinu. En la taula següent (Taula 7) es resumeixen les característiques dels equips emprats:

Taula 7. Taula resum equips d'estesa i compactació

Obra	Estenedora	Piconadora tàndem
C-12	Vögele Super 1900-3i	Hamm HD 80i 10,45 T

De manera excepcional, l'estenedora s'ha equipat amb el sistema de control termogràfic PAVE-IR de MOBA, el qual genera un perfil tèrmic de la carretera en temps real. Aquest sistema incorpora un escàner de temperatura d'alta precisió que crea un complet perfil tèrmic de la capa estesa amb un ample de fins a 13 m.

3 Resultats d'assaigs i control de qualitat de l'obra

3.1 Assaigs de control sobre els materials

En l'execució de l'obra, s'ha fabricat i posat en obra una mescla de referència BBTM 8A 45/80-65. En resum, els resultats dels assaigs especificats en el PG-3, obtinguts sobre la mostra innovadora BBTM 8A BT C i els obtinguts per la mescla de referència BBTM 8A 45/80-65 poden observar-se en la taula resum següent (Taula 8):

Taula 8. Resum resultats mitjos dels assaigs sobre mostres preses en la carretera C-12. Xerta-Rasquera

Assaig	BBTM 8A 50/70 BT C	BBTM 8A 45/80-65	Unitat
Temperatura mitja de fabricació	145	172	°C
Contingut de lligant (ignició)	5,42	5,25	%
Densitat màxima	2,471	2,478	Mg/m ³
Densitat aparent (SSD)	2,297	2,289	Mg/m ³
Buits en mescla	7,2	7,6	%
Sensibilitat a l'aigua (ITSR)	91,6	90,5	%
Deformació permanent WTS	0,049	0,068	mm/10 ³ cicles

En base als resultats obtinguts:

- El contingut de buits en mescla és superior al mínim (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.
-

3.2 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, resistència després de polit, fatiga i assaig Fènix.

3.2.1 Assaigs de rigidesa i resistència a la fatiga

Els resultats de l'assaig de rigidesa (UNE-EN 12697-26. Annex C) i resistència a la fatiga (UNE-EN 12697-24. Annex D) de les mostres assajades han resultat ser els següents (Taula 9):

Taula 9. Resum resultats assaigs addicionals

Assaig	BBTM 8A 50/70 BT C	BBTM 8A 45/80-65	Unitat
Fatiga. Valor de ϵ_6	131	178	$\mu\text{m/m}$
Mòdul rigidesa	4.436	4.861	MPa

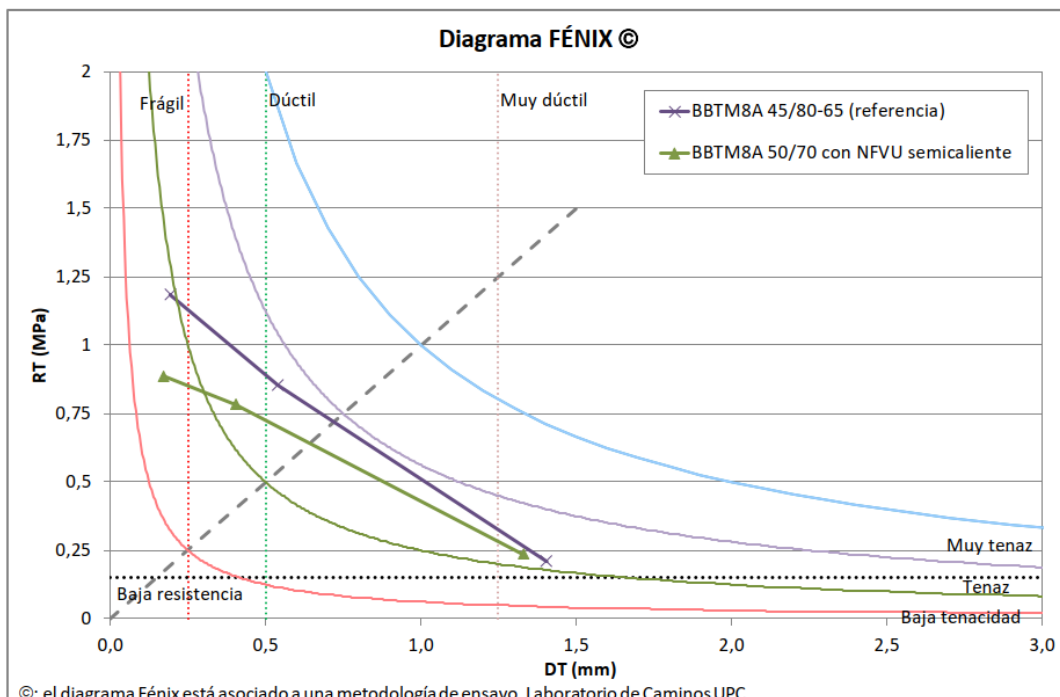
En relació amb la resistència a la fatiga, la mescla innovadora presenta un valor de la deformació per un milió de cicles inferior al que s'obté per la mostra de referència amb betum modificat 45/80-65. No obstant això, en els dos casos, el valor obtingut és superior a 100 $\mu\text{m/m}$, establert com valor límit inferior per a les mescles d'alt mòdul en l'article 542 del PG-3. Quant al mòdul de rigidesa, els valors obtinguts pels dos tipus de mescla són del mateix ordre de magnitud.

3.2.2 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 assaigs 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 deformabilitat 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 10:

Taula 10. Resum resultats assaigs Fènix

Mescla	BBTM 8A 50/70 BT C			BBTM 8A 45/80-65		
Temp. assaig (°C)	-5	5	20	-5	5	20
DT (mm)	0,17	0,40	1,33	0,19	0,54	1,4
RT (MPa)	0,89	0,78	0,24	1,18	0,85	0,21
RTxDT (MPa·mm)	0,15	0,31	0,31	0,22	0,46	0,29



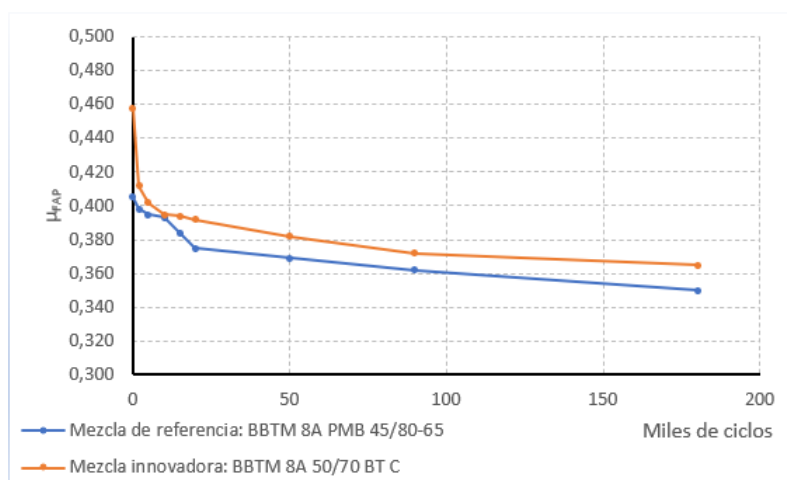
Arran dels resultats obtinguts s'observa que la mescla amb pols de cautxú presenta lleugerament una menor tenacitat i ductilitat a baixes temperatures que la mescla de referència, si bé compleix els valors recomanats per a *DT i *RTxDT en la nota tècnica *NT 01/2022 [2].

Assaig de fregament rere poliment (Wehner-Schulze)

Tenint en compte que les mescles s'han emprat en capa de rodadura, s'han realitzat assajos de fregament rere poliment, mitjançant l'equip Wehner-Schulze en el laboratori central d'EIFFAGE, a Abanilla. Els resultats de fregament en els cicles 90.000 i 180.000 es mostren en la Taula 11:

Taula 11. Resum resultats assaigs fregament rere poliment

Mescla	BBTM 8A 50/70 BT C	BBTM 8A 45/80-65
Fregament rere poliment (90.000 cicles)	0,372	0,362
Fregament rere poliment (180.000 cicles)	0,365	0,350



Com pot observar-se, els resultats de fregament obtinguts per a la mescla de referència són lleugerament inferiors que per a la mescla innovadora el que indica que, a priori, l'addició de pols de cautxú no afecta de manera negativa la resistència al lliscament de la mescla.

3.3 Control d'execució

L'estesa i la compactació de la mescla bituminosa BBTM 8A 50/70 BT C s'ha realitzat amb els mateixos equips i seguint el mateix protocol de compactació que per a una mescla en calent discontinua. Sobre la capa executada, s'ha determinat la macrotectura, mitjançant assaig de cercle de sorra o assaig volumètric (MPT). D'altra banda, com ja s'ha esmentat, addicionalment, l'estenedora s'ha equipat amb un sistema de control termogràfic PAVE-IR.

Macrotectura

S'han realitzat 183 punts de mesura per determinar la macrotectura de la capa de rodadura amb mescla innovadora, per mitjà del mètode volumètric definit en l'UNE EN 13036-1. El resum dels resultats dels assaigs de macrotectura poden observar-se en la taula següent (Taula 12):

Taula 12. Resum del resultats de macrotectura (MPT)

Tipus de mescla	Mesures (uts.)	Macrotectura (mm). UNE-EN 13036-1
BBTM 8A 50/70 BT C	183	1,3

3.3.1 Control tèrmic d'estesa (Pave IR de MOBA)

Com ja s'ha indicat anteriorment, les estenedores s'han equipat amb un sistema de control termogràfic PAVE-ANAR, el qual crea un perfil tèrmic de la carretera en temps real [3]. En la figura següent (Figura 5) es mostra un tram d'exemple del resultat de l'escàner i el perfil de temperatures complet de l'obra.

A l'hora d'interpretar els resultats obtinguts amb l'escàner de temperatura, cal tenir en compte que la temperatura que dona l'equip és una temperatura superficial de la capa, mentre la temperatura de l'interior de la capa és entre 5-10°C superior.

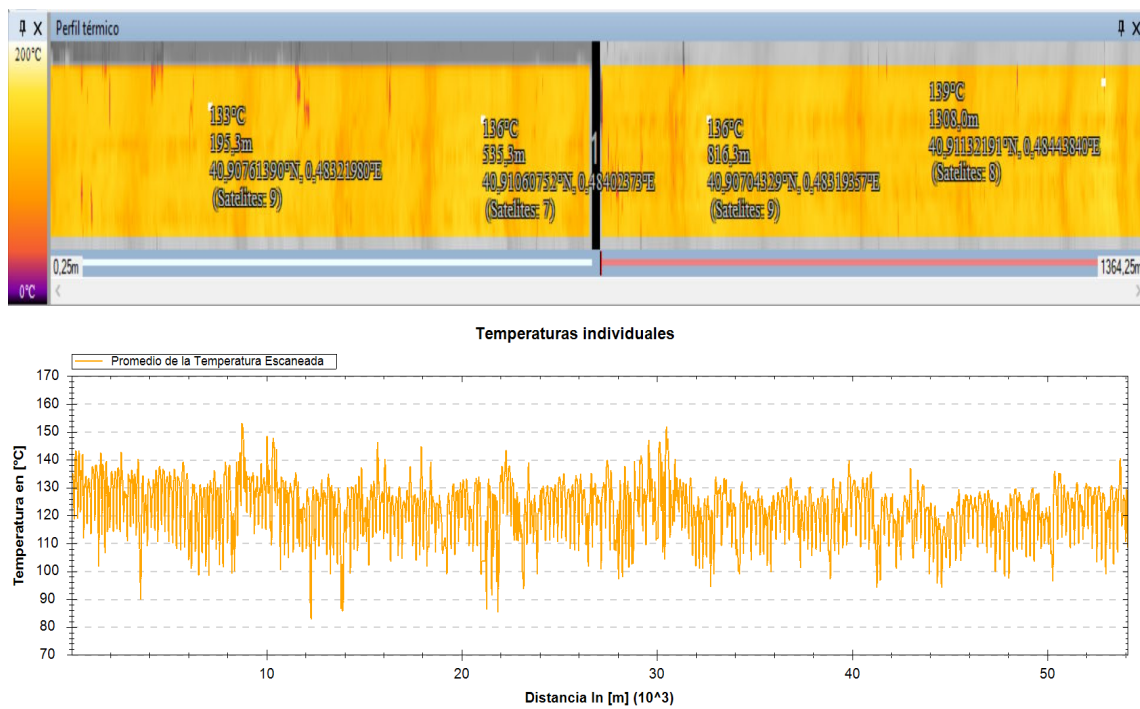


Figura 5. Resultats termogràfics carretera C-12 (Gràfica superior: perfil escàner termogràfic d'un tram; Gràfica inferior: mitjana de la temperatura obtinguda per l'escàner a l'ample del carril)

En el perfil tèrmic s'observa clarament que la temperatura d'estesa de la mescla ha estat inferior a l'habitual per a una mescla en calent.

4 Avantatges mediambientals de la mescla innovadora

Són dos els punts claus que, des d'un punt de vista mediambiental, haurem de tenir en compte quant a la sostenibilitat de la mescla innovadora dissenyada, fabricada i posada en obra:

1. La integració en la seva composició de pols de cautxú procedent d'NFVU que contribueix al desenvolupament de l'economia circular, reciclant un residu procedent d'un sector industrial diferent del de les mescles asfàltiques. En aquesta actuació s'han emprat 63,6 tones de pols d'NFVU que corresponen al reciclatge de 12.000 pneumàtics usats.
2. Reducció de CO₂: s'han deixat d'emetre 106 tones de CO₂ respecte a una mescla convencional, gràcies a la reducció de la temperatura de fabricació, la qual cosa suposa un 19,% de reducció d'emissions de gasos d'efecte d'hivernacle.

I tot això amb una mescla bituminosa on les prestacions mecàniques no posen en perill la seva durabilitat.



5 Conclusions

En base a tot això exposat en aquest article, es poden establir les conclusions següents.

Quant als avantatges que presenta la mescla innovadora BBTM 8A BT C:

- Bones propietats de drenatge superficial (granulometria discontinua) i alta macrotectura.
- Elevada resistència a les deformacions plàstiques i disminució de la susceptibilitat tèrmica a altes temperatures (addició de pols d'NFVU).
- Bona resistència al fregament.
- Bon comportament quant a resistència a la fissuració.

Mediambientals: foment de l'economia circular i contribució a la descarbonització. S'ha pogut demostrar, a més, que la baixada de la temperatura de fabricació és compatible amb l'ús de pols de cautxú a alta taxa, no presentant-se cap problema durant la posada en obra de la mescla bituminosa.

A causa de la grandària màxima nominal de tan sols 8 mm pot ser estesa en gruixos baixos, la qual cosa suposa una excel·lent alternativa a les rehabilitacions no estructurals que hagin de desenvolupar-se. Això comporta un estalvi en el consum d'àrids verges. D'altra banda, comporta estalvis en el transport (menys tones de mescla), amb la seva repercussió en les emissions de CO2 degudes a aquest transport.

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 l'ús de l'Assaig Fènix en el control de qualitat de les obres de ferms amb mescles bituminoses.

[3] Termografia en superfície. Procediment MOBA.