

COMPRA PÚBLICA VERDA DE MESCLES BITUMINOSAS TIPUS SMA

Jorge Ortiz Ripoll, Arnó Infraestructuras
Ricard Llutart Peri, Arnó Infraestructuras
Jaume Carbó Audí, Esencat Fractal
Roger Jané Campllong, Esencat Fractal
Francisco Pérez González, Parma Ingeniería
Carlos Esguevillas Cuadrado, Servei Territorial de Carreteres de Lleida, del Departament de Territori

RESUM

Les actuacions per a la rehabilitació del ferm de la carretera T-710, entre Falset i la Vilella Baixa (Tarragona), emmarcades dins del programa de compra pública d'innovació, en el pla de fermes sostenibles 2022, de la Generalitat de Catalunya han comprès la redacció del projecte i l'execució de les obres, i conclouran amb la monitorització i el seguiment de l'evolució de l'estat del ferm durant els propers cinc anys. Després de diverses actuacions prèvies, s'ha posat en obra una capa de trànsit de 3 cm de gruix, de mescla bituminosa en calent tipus SMA-11 PMB 45/80-65, amb una dotació de betum propera al 6 %, utilitzant fibres de cel·lulosa com a inhibidor d'escorriments. Amb aquest contracte s'ha posat a punt una nova solució de rehabilitació, adaptada a les necessitats de la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya i s'han assajat nous models d'especificacions. També s'ha innovat utilitzant indicadors de servei, d'estat i de gestió en la valoració de les ofertes i per fer el seguiment de les obres, i amb la implantació de la metodologia BIM segons el Manual BIM de Generalitat de Catalunya a totes les fases de l'actuació: projecte, construcció, obra executada i operació. Finalment, s'ha redactat un nou plec de prescripcions tècniques per al projecte de mescles bituminoses tipus SMA destinades a nous contractes de compra pública verda.

MOTS CLAU

Compra pública verda, mescles bituminoses, SMA, fibres de cel·lulosa.

1. INTRODUCCIÓ

El pla anomenat de Ferms Sostenibles s'emmarca dins del Programa de compra pública d'innovació de les estratègies de recerca i innovació per a l'especialització intel·ligent a Catalunya RIS3CAT, aprovat pel Govern de la Generalitat el juny de 2016, que té com a objectiu general impulsar la demanda d'innovació, per part de les administracions públiques catalanes, mitjançant el disseny i l'execució de projectes pilot demostradors i innovadors. Els objectius concrets del pla de ferms sostenibles consisteixen a rehabilitar els ferms i altres elements constitutius de la carretera mitjançant tècniques innovadores, que millorin el comportament i el perfil ambiental de les solucions convencionals. També comprenen l'elaboració de les prescripcions tècniques necessàries per aplicar les experiències innovadores a altres actuacions i la difusió dels resultats obtinguts. Les solucions assajades han estat basades en les propostes rebudes per la Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat en una consulta oberta al mercat realitzada el 2017 i resposta per 23 entitats. L'any 2019 es van invertir 2 milions d'euros en els dos primers projectes, adreçats a reduir la temperatura de fabricació de les mescles bituminoses i a l'any 2021 es van adjudicar 12 noves actuacions, executades el 2022, que han suposat una inversió de 20 milions d'euros. Entre aquestes darreres es troba la que és objecte de divulgació en aquest text, en la que s'ha construït una capa de trànsit de mescla bituminosa tipus SMA-11, amb betum PMB 45/80-65 i fibres de cel·lulosa, el que constitueix una solució no emprada fins ara a la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya. Com la resta de mescles bituminoses utilitzades en aquesta obra, la mescla SMA ha estat estesa després d'aplicar una beurada de calç, diluïda i estabilitzada, per garantir la integritat del reg d'adherència i l'absència de qualsevol contaminació a l'entorn de les obres. La Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat també ha innovat fent un seguiment per indicadors, incloent-hi indicadors funcionals, d'afectació al trànsit, disponibilitat de mitjans, control de qualitat i ambientals, i amb la implantació de la metodologia BIM en totes les fases de l'actuació: projecte, construcció, obra executada i operació [1].

Les fibres de cel·lulosa actuen com a estabilitzador del lligant bituminós permetent fixar elevades proporcions de betum sense que es produeixin escurriments mentre la mescla es troba a temperatures elevades, és a dir, durant el transport o en les operacions de posada en obra. D'aquesta manera, en aquest cas s'ha pogut dosificar fins a un 6 % de betum en una mescla tipus SMA-11, que dona lloc a una mescla bituminosa discontinua amb un contingut de buits similar, o fins i tot inferior, als valors típics de les mescles contínues. Amb aquest tipus de mescles i la utilització d'àrids de gran qualitat es pot obtenir un important conjunt d'avantatges [2, 3, 4]:

- Una elevada resistència al lliscament durant un llarg període de temps, gràcies a la macrotextura superficial proporcionada per una granulometria discontinua i a les característiques (CPA) de l'àrid gruixut.
- Una bona resistència a les deformacions permanents com a conseqüència del contacte pedra amb pedra, proporcionat pel seu esquelet mineral i d'una relació gruix de capa/grandària màxima de l'àrid inferior a la utilitzada amb les mescles contínues.
- Major confort de circulació que amb les mescles bituminoses tradicionals, ja que el contacte pedra amb pedra, a més de facilitar l'obtenció d'una bona regularitat transversal i longitudinal, també les fa menys compactables per al trànsit: la post-compactació en servei és mínima i la superfície de la capa manté la geometria obtinguda en completar-se la posada en obra durant més temps.
- Major visibilitat i menor risc d'aquaplaning que amb els paviments de mescles contínues ja que la macrotextura de la mescla SMA facilita l'evacuació de l'aigua superficial, reduint els riscos d'enlluernaments nocturns, augmentant la visibilitat de les marques vials i limitant les esquitxades d'aigua.
- Major durabilitat que les mescles discontinues tipus BBTM o PA alternatives i que les mescles tipus formigó bituminós habituals, ja que els elevats continguts de betum característics de les mescles SMA units a unes baixes proporcions de buits en mescla, donen lloc a paviments molt resistents a l'acció de l'aigua, a la resta d'agents atmosfèrics i als fundents. També són mescles

molt resistents a qualsevol tipus de fissuració i que, per la seva elevada cohesió, no solen patir desprendiments d'àrid ni pelades superficials. El gruix més gran de la pel·lícula de lligant que envolta els àrids també redueix l'envelliment a llarg termini del betum.

- Finalment, els paviments construïts amb mescles SMA presenten un soroll de rodolament inferior als obtinguts amb les mescles contínues convencionals i similar als paviments de mescles tipus BBTM.

Entre els inconvenients ha d'esmentar-se en primer lloc un cost econòmic que és notablement més elevat que el d'una capa de trànsit convencional, degut al seu contingut més gran de betum, la freqüent necessitat d'incorporar fibres de cel·lulosa o algun altre inhibidor d'escorriments de betum, la necessitat d'utilitzar àrids gruixuts de qualitat elevada, especialment quan la categoria de trànsit pesant és alta. En segon lloc, que el temps que triga a desaparèixer el betum que envolta les cares dels àrids exposades superficialment és més gran que en qualsevol altra capa, perquè l'espessor de la pel·lícula de lligant que envolta els àrids també és superior. Especialment quan s'utilitzen betums modificats i en carreteres de poc trànsit es poden necessitar més de sis mesos, perquè puguin assolir-se els coeficients de fregament esperats, en funció del CPA dels àrids i de la macrotextura de la capa. Per evitar aquest inconvenient, una pràctica habitual a diversos països europeus consisteix a aplicar un tractament superficial amb un material abrasiu, per exemple, àrids d'elevat CPA amb mides compreses entre 1 i 3 mm ja durant la compactació de la capa. D'aquesta manera es pot augmentar la seva resistència al lliscament a la fase inicial, tot i que diversos estudis han mostrat que, generalment, el coeficient de fregament transversal (CRT) d'una mescla SMA és suficient, fins i tot en aquesta fase [2].

2. DESCRIPCIÓ DE L'ACTUACIÓ

El projecte i les obres de rehabilitació del ferm de la carretera T-710 PK 0+000 al 0+710 i 9+900 al 14+300, al tram Falset – la Vilella Baixa, amb un pressupost de 1,2 milions d'euros i designada com a Lot 11 del projecte de ferms sostenibles 2021-2022, van ser adjudicats a ARNÓ INFRAESTRUCTURES el 10 de novembre de 2021. El projecte constructiu ha estat redactat per PARMA ENGINYERIA i ESENCAT FRACTAL va exercir d'assistència tècnica de la direcció d'obra. El projecte va ser aprovat el 19 d'abril de 2022 i les obres van executar-se entre maig i juliol del mateix any. Durant la fase d'explotació, a l'octubre de 2022, es van completar els assaigs d'acceptació (CRT, IRI i Ecodyn), es van validar els indicadors de totes les fases, i es van presentar els darrers lliurables BIM de les fases de construcció i obra executada, a més dels de difusió i la certificació final. Entre els documents presentats amb el començament de la fase d'explotació cal destacar un plec de prescripcions tècniques per a mescles bituminoses tipus SMA, redactat per facilitar l'aplicació d'aquesta nova solució de rehabilitació en futures contractacions de compra pública verda de la Generalitat de Catalunya.

La carretera T-710 és una via convencional que pertany a la xarxa bàsica secundària, de calçada única i dos carrils de circulació, un per sentit. La calçada té una amplada total de 9 m, component dos carrils de 3,50 m i dos vorals d'1 m. El ferm objecte de rehabilitació és flexible, constituït per una capa de mescla bituminosa, de 5 a 6 cm de gruix, disposada sobre una capa de base granular. D'acord amb l'estudi de deflexions i els resultats de la inspecció visual, donant compliment a la Norma 6.3 IC de rehabilitació de ferms, es van projectar els tres tipus d'operacions següents:

- Fresat de 6 cm del paviment existent i reposició amb mescla AC 22 base G 50/70 de 6 cm de gruix en zones localitzades (fotografia 1).
- Recrescut amb 5 cm capa intermèdia de mescla AC 16 bin S 50/70 del paviment entre els PK 9+900 al 14+140 i 14+220 al 14+300 (fotografia 2).
- Estesa d'una nova capa de trànsit, de 3 cm de gruix, de mescla SMA-11 PMB 45/80-65 entre els PK 9+900 al 14+300 (excepte al tram de referència, situat del PK 10+150 al 10+650).

L'estesa de la capa de trànsit innovadora es va iniciar el 6 de juliol de 2022, després d'haver-se completat les actuacions prèvies i construït un tram de prova, el 16 de juny anterior, quan es va verificar la fórmula de treball i es va establir el pla de compactació (fotografia 3). A més, entre els PK 10+150 al 10+650, es va estendre una capa de trànsit de 4 cm de gruix de mescla AC 16 surf S 50/70, considerada com a mescla de referència, que s'utilitzaria per comparar el seu comportament amb el de la capa de trànsit innovadora.

A totes les mescles bituminoses l'àrid gruixut utilitzat va procedir de la pedrera La Ponderosa de Riudecols, on s'explota un jaciment de granodiorita. Com a àrid fi es van utilitzar sorres de naturalesa calcària o, en alguns casos, combinacions de sorres calcària i granodiorítica. Els regs d'adherència han estat protegits mitjançant l'aplicació d'una beurada de calç, diluïda i estabilitzada, per assegurar el manteniment íntegre de la pel·lícula de lligant residual i evitar qualsevol contaminació a les obres o al seu entorn, com a conseqüència de la circulació dels vehicles de transport de les mescles bituminoses (fotografia 4).



Fotografies 1 i 2: fressat i reposició en zones localitzades (esquerra) i posada en obra de la capa intermèdia (dreta).



Fotografia 3: construcció del tram de prova.



Fotografia 4: aplicació de la beurada de calç per protegir el reg d'adherència.

1. Fórmula de treball de la mescla SMA-11 amb fibres de cel·lulosa

La mescla bituminosa va compondre-se fent servir àrid fi calcari procedent de l'explotació de *Canteras La Ponderosa* a Alcover, àrid gruixut de naturalesa plutònica (granodiorita) de la cantera de Riudecols, betum PMB 45-80/65 de CEPESA ASFALTOS i fibres de cel·lulosa TOPCEL® de CFF. Les fibres han estat subministrades en forma de pellets (fotografia 6) i tenen les propietats descrites en la taula 1.



Fotografies 5 i 6: fibres de cel·lulosa soltes (esquerra) i en forma de pellets (dreta).

Taula 1: propietats de las fibres de cel·lulosa utilitzades (TOPCEL® 1004).

PROPIETAT	VALOR	MÈTODE
Contingut de fibra	95±3 %	calculat
Contingut de cel·lulosa en la porció fibra	>80 %	calculat
Cera natural	1,5-2,5 %	calculat
Densitat aparent	420-490 g/dm ³	DIN 53466
Contingut d'humitat	≤ 6 %	DIN EN 20287
Residu per ignició (contingut de cendres)	10-20 %	DIN 54370
Granulometria (garbellat pel tamís 4,5 mm)	≥93 %	DIN 66165

En la figura 1 es mostra la corba granulomètrica seleccionada per a la fórmula de treball i en la taula 2 les propietats volumètriques i mecàniques més rellevants, de la corresponent mescla bituminosa.

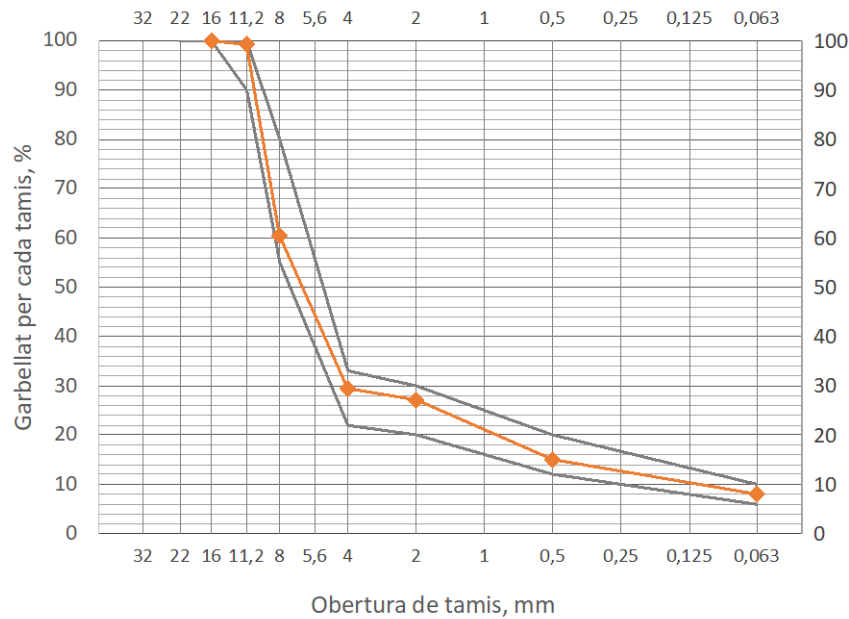


Figura 1: corba granulomètrica i fus de la fórmula de treball de la mescla SMA-11.

Taula 2: propietats de la mescla SMA-11 PMB 45/80-65.

PROPIETAT	UT.	VALOR	ESPECIFICACIÓ	OBSERVACIONS
Contingut de betum s/m	%	5,8	5,6	Per àrids 2,65 g/cm ³
Contingut de fibres de cel·lulosa, s/m	%	0,5	-	TOPCEL®
Buits en mescla (UNE-EN 12697-8)	%	4,3	4-6	
Buits en àrids (UNE-EN 12697-8)	%	17,4	-	
Buits reblerts (UNE-EN 12697-8)	%	75,2	-	
Densitat màxima (UNE-EN 12697-5)	g/cm ₃	2,480	-	
Densitat aparent (UNE-EN 12.697-5)	g/cm ₃	2,375	-	
Resistència def. perman. (UNE-EN 12697-22)	mm	0,07	TE≤0,07	WTS aire, 10 ³ cicles
Sensibilitat a l'aigua (UNE -EN 12697-12)	%	92,2	>90	
Pèrdua de partícules (UNE-EN 12697-17)	%	4,4	<20	Drenants
Escorriment de betum (UNE-EN 12697-18)	%	0	No	
Relació pols mineral/betum		1,3	1,0 a 1,2	Recomanació

2. Fabricació i posada en obra de la mescla innovadora

La mescla SMA-11 PMB 45/80-65 fou fabricada en una central discontinua, marca INTRAME UM-160, instal·lada a la pedrera La Ponderosa de Riudecols (fotografia 7). Les fibres de cel·lulosa es van

incorporar des de les sitges d'additius secs de la central de fabricació. La posada en obra es va realitzar amb mitjans convencionals: una estenedora autopropulsada i dos compactadors tàndem, sense que fos necessari adoptar pautes diferents de les habitualment utilitzades durant l'estesa i la compactació de les mescles bituminoses tipus BBTM (fotografia 8).



Fotografia 7: central de fabricació de la mescla SMA 11 PMB 45/80-65 amb fibres de cel·lulosa.



Fotografia 8: estesa de la capa de trànsit amb mescla SMA-11.

En total, entre els dies 6 i 11 de juliol de 2022, es van posar en obra 2.856 t de mescla bituminosa SMA-11 PMB 45/80-65.

3. Resultats dels assaigs

El control de qualitat de la mescla bituminosa innovadora es va basar en assaigs granulomètrics, de contingut de betum i fibres, mesura de densitats màxima i aparent de provetes compactades amb 50 cops per cara, contingut de buits, sensibilitat a l'aigua, resistència a la deformació permanent i escorriment de lligant, sobre mostres de mescla bituminosa preses en obra. Mitjançant testimonis

extrets del paviment es va mesurar la densitat de la capa i el seu grau de compactació, i a la superfície acabada, la macrotextura, la resistència al lliscament i a l'IRI.



En la taula 3 es presenta un resum dels resultats obtinguts amb els assaigs de control d'execució i en la taula 4 els corresponents a l'índex de regularitat internacional (IRI).

Tabla 3: resultats dels assaigs de control d'execució de la mescla SMA-11.

Propietat	Norma	Valor mitjà
Contingut de betum	UNE-EN 12697-1	5,7 % s.m.
Contingut de fibres	-	0,21 % s.m.
Densitat màxima	UNE-EN 12697-5	2,475 g/cm ³
Densitat aparent	UNE-EN 14243-6 B	2,327 g/cm ³
Buits a l'aire	UNE-EN 14243-8	6,0 %
Buits en àrids	UNE-EN 12697-8	18,8 %
Buits reblerts	UNE-EN 12697-8	68,1 %
Escorriments	UNE-EN 12697- 18	0 %
Resistència conservada (sensibilitat agua)	UNE-EN 12697- 12	94,8 %
Densitat aparent de testimonis	UNE-EN 12697-6	2,266 g/cm ³
Grau de compactació	-	98 %
Macrotextura	UNE-EN 13036-1	1,2 mm
CRT	UNE 41201 IN	0,66

Taula 4: Índex de Regularitat Internacional (NLT-330).

Carril	Mitjana	Desviació típica
Dret	1,17	0,23
Esquerre	1,26	0,21

4. Anàlisi dels resultats dels assaigs

Els resultats dels assaigs de control d'execució es van considerar satisfactoris i prou propers als establerts amb la fórmula de treball. Encara que es van mesurar continguts de fibres inferiors als previstos, no es va detectar cap mena d'escoriment, ni en els assajos de laboratori, ni durant les inspeccions visuals de les caixes dels vehicles de transport després de la descàrrega de la mescla SMA, complint-se absolutament l'objectiu de la incorporació de les fibres. També s'han mesurat continguts de betum lleugerament més baixos i, com a conseqüència, proporcions de buits en mescla properes al límit superior de l'interval especificat. En tot cas, s'han obtingut graus de compactació correctes, la mescla acabada presenta un aspecte magnífic (fotografia 9) i la compacitat *in situ* és suficient per no comprometre la durabilitat de la capa construïda.

Es van obtenir excel·lents resultats quant a coeficient de fregament transversal (CRT) i índex de regularitat internacional (IRI), segons mostren les taules 3 i 4. Tot i que encara no ha desaparegut la pel·lícula de betum que recobreix les cares dels àrids exposades superficialment, els resultats obtinguts en cadascun dels lots compleixen els requisits establerts com a criteris d'acceptació i rebuig a l'article 544 del PG-3 i, per descomptat, el llinar mínim ofert a la licitació per al període de garantia, confirmant les conclusions referides a la suficient resistència a lliscament inicial de les capes de trànsit amb mescles tipus SMA.

3. SEGUIMENT PER INDICADORS, TRAÇABILITAT I METODOLOGIA BIM

1. Seguiment per indicadors i traçabilitat

El desenvolupament dels treballs ha estat avaluat mitjançant els indicadors de servei, d'estat i de gestió utilitzats a la licitació per a l'avaluació de les ofertes presentades i, si escau, com a referència per al càlcul de les penalitzacions per incompliment. Tots els indicadors estan integrats al BIM, i es mantenen i han estat mantinguts actualitzats permanentment pel contractista, que també és responsable d'analitzar-ne l'evolució.

Segons va establir el Plec de clàusules administratives del projecte, s'han fet servir tres tipus d'indicadors, referits als aspectes que s'indiquen a continuació:

- Indicadors de servei: durada de les prestacions funcionals, superfície, temps i horari d'afectació a la carretera durant l'execució de les obres, i emissions de CO₂ i CO₂eq en la fabricació, el transport i la posada en obra de les mescles bituminoses.
- Indicadors d'estat: valors mínims d'IRI, macrotextura i CRT durant el període de garantia, nombre de paràmetres específics considerats en la formulació de la mescla, la demanda energètica i el consum de combustible en la fabricació, el transport i la posada en obra de totes les mescles bituminoses, composició de l'equip de treball (personal propi i actors complementaris), mitjans materials disponibles i campanyes d'auscultació addicionals.
- Indicadors de gestió: abast dels drets de propietat, superfícies tractades en àmbits urbans i interurbans, creació de la plataforma de treballs compartida, entrega d'informes d'IRI, CRT i de composició de les mescles bituminoses.

A més, s'ha comptat amb dos grups d'indicadors, proposats pel contractista, per avaluar l'organització dels equips de personal i maquinària, els terminis d'execució o l'adopció de mesures de seguretat, entre altres aspectes, així com l'eficiència en la gestió de les obres. A títol d'exemple, a la figura 2 es mostren els resultats relacionats amb les emissions de gasos amb efecte hivernacle (GEI) de les mescles bituminoses de referència i SMA-11. A la figura 4 s'han comparat les emissions per unitat de superfície dels dos tipus de mescla tenint en compte els diferents gruixos de capa i suposant que la durabilitat de la capa de mescla SMA-11 supera en un 25 % la de la capa convencional, cosa que es pot considerar una hipòtesi prudent segons les conclusions de l'estudi realitzat per la *European Asphalt Association* (EAPA) [3]. Amb aquestes correccions, les emissions del paviment de mescla SMA (3,1 kg de CO₂eq/m²) són un 18 % inferiors a les del paviment de referència (3,8 kg de CO₂eq/m²).

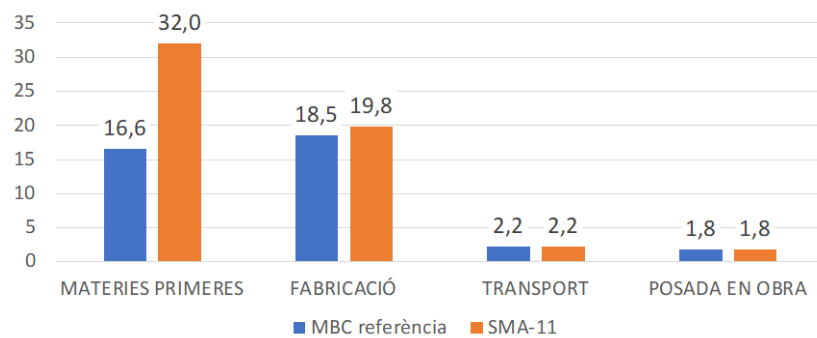


Figura 2: comparació de les emissions de GEH de les mescles bituminoses de referència i SMA-11 per unitat de massa (kg de CO₂eq/t).

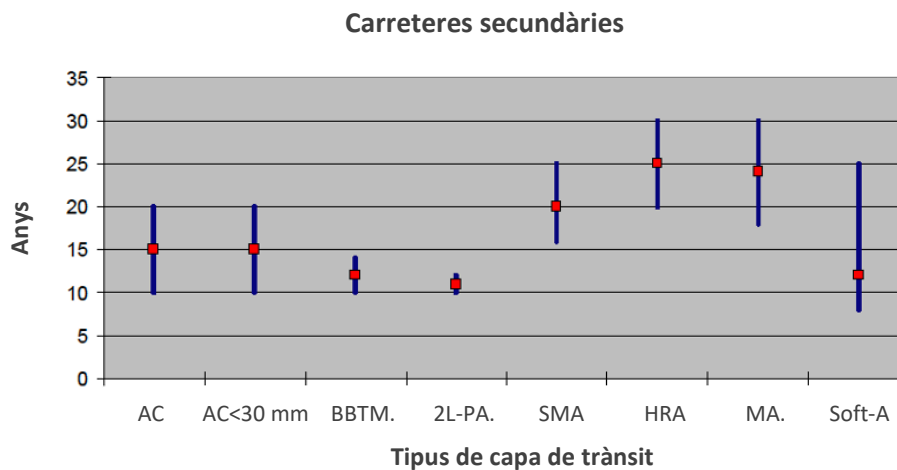


Figura 3: durabilitat de les capes de trànsit en carreteres secundàries segons l'estudi *Long-life Pavement, Technical Version* (EAPA, 2007). Valors mitjans en vermell; l'extrem inferior de las línies blaves assenyalala el valor corresponent al 15 % més baix i el superior a l'assolít pel 85 % de la població mostral.

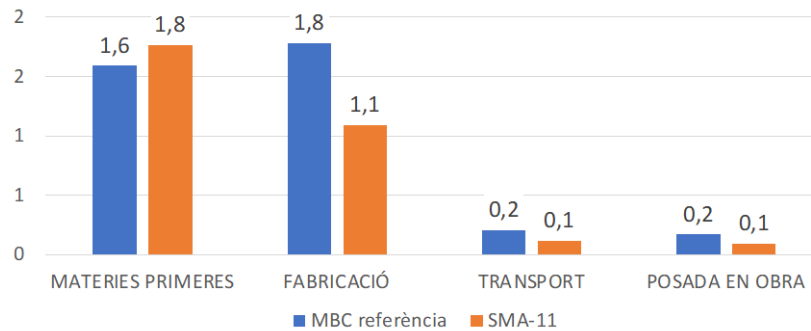


Figura 4: comparació de les emissions de GEH de les mesclures bituminoses de referència i SMA-11 per unitat de superfície (kg de CO₂eq/m²).

El protocol de traçabilitat va ser desenvolupat pel contractista, en el qual es van establir els procediments i els registres necessaris per garantir el seguiment, l'evolució i el destí dels materials emprats en la construcció del ferm, així com dels residus generats durant el desenvolupament de les activitats, i el manteniment dels indicadors.

2. Metodologia BIM

El Plec de clàusules administratives de la licitació per procediment obert del contracte de projecte i execució d'obres PTOP-2022-3 (per al conjunt dels 12 lots) va establir l'obligatorietat d'aplicar la metodologia BIM, a fi de posar-la a punt per al projecte, l'execució i l'operació de les actuacions de rehabilitació de ferms de la Generalitat de Catalunya. La descripció dels requisits concrets quant a l'entorn comú de dades i en relació amb el pla d'execució BIM (PEB), desenvolupat a cada lot, es troba al Plec de prescripcions tècniques particulars del Pla sectorial de Ferms Sostenibles on, entre altres especificacions, s'estableix que el PEB ha de complir les directrius del Manual BIM de la Generalitat de Catalunya.

El PEB desenvolupat en aquest cas s'ha basat en un modelatge geomètric, o representació gràfica dels elements constructius involucrats en l'actuació, i un modelatge no geomètric mitjançant el qual es va definir la informació que inclou cada objecte del model BIM, tots dos permanentment actualitzats i disponibles per a tots els agents intervinents a les diferents fases de l'actuació (projecte, construcció, obra executada, operació). El model geomètric permet generar vistes en planta del conjunt de l'actuació, del ferm (fresat i reposició, capa intermèdia, microfresats, capa de trànsit, ...), conté les diferents seccions transversals, la representació en planta de la senyalització i seguretat viària, i vistes 3D del conjunt de l'actuació. El modelatge no geomètric comprèn la resta dels lliurables BIM establerts al PEB i compartits en una plataforma col·laborativa, desenvolupada a aquest efecte en l'aplicació *Teams* de Microsoft: dates d'execució, resultats dels assaigs de control de qualitat, fotografies, vídeo, seguiment d'indicadors, actes de reunions, etc. [5].

Concretament, el desenvolupament del model BIM d'aquest projecte es va planificar en tres fases:

1. Amb la redacció del projecte es van estudiar, modelar i parametritzar totes les actuacions previstes.
2. Durant l'execució de les obres es va continuar desenvolupant el model, completant-se la descripció dels treballs d'acord amb la parametrització realitzada. Les activitats de supervisió,

els registres de traçabilitat, la divisió per lots i el control dimensional i temporal de les unitats d'obra s'han basat en el model desenvolupat en aquesta fase.

3. Un cop executades les obres s'han incorporat els registres dels controls de recepció, a més d'elements i sistemes de l'entorn que no han estat objecte del projecte, però poden resultar d'utilitat en les fases d'exploació i manteniment.

El model BIM també inclou una valoració ambiental de les mescles bituminoses, orientada especialment per comparar el perfil ambiental de la mescla innovadora amb la mescla de referència, o materials i procediments constructius alternatius.

Es considera que la metodologia BIM utilitzada ha servit per assegurar la qualitat de l'actuació i per generar una informació completa, precisa i ben estructurada, amb el format adequat per ser utilitzada amb total garantia en la presa de decisions al llarg de tot el procés constructiu. A més, ha permès crear un model viu, apte per afegir, modificar o ampliar, en qualsevol moment, tota la informació paramètrica o geomètrica que conté.

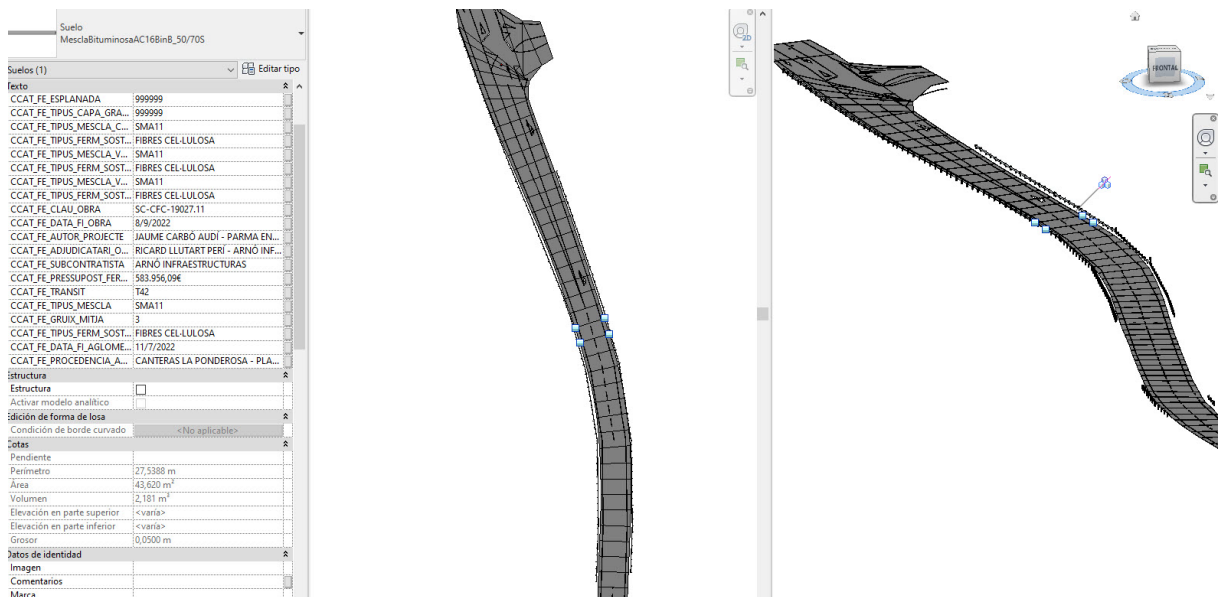


Figura 1: un objecte BIM.

4. COMPRA PÚBLICA VERDA

Entre els objectius del present projecte de compra pública d'innovació es troba també facilitar que les mescles bituminoses tipus SMA formin part del catàleg de solucions disponibles per part dels projectistes en futurs contractes de compra pública verda de Generalitat. L'experiència obtinguda en aquesta ocasió ha de servir per posar a punt licitacions on es tinguin en compte criteris ambientals que afavoreixin l'aplicació de les alternatives de rehabilitació més respectuoses amb el medi ambient. Aquest objectiu també ha donat peu a redactar noves especificacions tècniques o a modificar les existents, i a la inclusió de noves unitats al banc de preus de la Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat de la Generalitat de Catalunya.

1. Noves licitacions

Les dotze actuacions dutes a terme a la segona fase del Pla de Forns Sostenibles han propiciat la creació d'un grup de treball on s'ha posat a punt una metodologia comuna per calcular els principals impactes ambientals de la producció i la posada en obra dels diferents tipus de mescles bituminoses utilitzats. Amb això s'espera millorar la qualitat i l'objectivitat de les valoracions dels criteris d'adjudicació avaluable mitjançant fórmules a les properes licitacions de contractes de compra pública verda.

2. Especificacions tècniques per a mescles bituminoses tipus SMA amb fibres de cel·lulosa

D'acord amb les obligacions contractuals, un cop finalitzades les obres, el contractista ha redactat un plec de prescripcions tècniques per a l'aplicació de mescles bituminoses tipus SMA amb fibres de cel·lulosa, en futurs contractes de compra pública verda. El plec proposat és l'article 544 del PG-3, publicat mitjançant ordre circular OC 3/2019 de 18, amb les excepcions que s'indiquen a continuació, numerades segons els epígrafs corresponents del mateix article, i destinades a prevenir l'adopció de mesures que puguin causar impactes ambientals innecessaris o comprometre l'eficiència dels processos productius, és a dir, oposats al primer objectiu de qualsevol projecte de compra pública verda.

544. 2.3.1. Característiques generals

S'afegeix el text següent: *en la fabricació de mescles bituminoses tipus SMA es pot emprar el material procedent del fresat de mescles bituminoses en calent, en les proporcions i criteris que s'indiquen en el mateix epígraf de l'article 542.*

Es corregeix la prescripció sobre l'equivalent de sorra de l'àrid combinat, considerant suficient complir el valor de blau de metilè especificat, és a dir, eliminant el requisit *i simultàniament, l'equivalent de sorra (Annex A de la norma UNE-EN 933-8) haurà de ser superior a 45 (SE₄>45)* de l'assaig d'equivalent de sorra, atesa la naturalesa fonamental del primer assaig davant del caràcter molt més empíric del segon.

544.2.3.2.2 Procedència de l'àrid gruixut

Se suprimeix el requisit referit a *una única procedència i naturalesa de l'àrid gruixut* per no introduir barreres a la reutilització de mescles bituminoses o a l'ús d'àrids artificials, ni descartar mescles d'àrids de qualitat suficient.

542.2.3.3. Àrid fi

Es defineix l'àrid fi com la part de l'àrid total garbellada pel tamís 2 mm suprimint-se la frase *i retinguda pel tamís 0,063 mm* per prevenir que els fins de la sorra tinguin consideració d'un material diferent sobre el qual s'han d'establir especificacions particulars que dificultin el seu aprofitament i per ajustar-se a la definició de la normativa UNE (UNE-EN 13043).

544.2.3.4 Pols mineral d'aportació

Es modifica el títol original d'aquest epígraf (*Pols mineral*) perquè aquí es refereix només a la pols mineral d'aportació, atès que la pols mineral de recuperació es troba sota control mitjançant les prescripcions establertes sobre l'àrid fi del qual forma part i no requereix satisfer-ne d'altres.

544.2.3.4.2 Procedència (de la pols mineral)

Se suprimeix la referència als *preceptius sistemes d'extracció de la central de fabricació*, dient en el seu lloc, *sistemes de control d'emissions de partícules de la central de fabricació*, per descriure més correctament els equips de retenció de fins amb què compten les centrals de fabricació i evitar interpretacions que puguin donar lloc a usos ineficients.

S'eliminen les proporcions de pols mineral d'aportació establertes a la taula 6. Només es permet utilitzar pols mineral d'aportació quan no es puguin complir els requisits establerts sobre la mescla bituminosa acabada, utilitzant pols mineral de recuperació o quan sigui necessari introduir-lo per assolir la proporció total de pols mineral prevista a la fórmula de treball.

544.7. Especificacions de la unitat acabada

S'eliminen les prescripcions de macrotextura superficial i resistència al lliscament, perquè suposen introduir greus riscos de sobre-especificació. En particular, es considera que el valor del CRT no és adequat com a criteri d'acceptació o rebuig a causa de la seva elevada variació estacional, baixes repetibilitat i reproductibilitat, i perquè fins que no desapareix la pel·lícula de lligant que recobreix les cares dels àrids superficialment exposades no es pot relacionar completament amb el CPA dels àrids. El temps necessari perquè això passi pot ser molt superior als dos mesos previstos al PG-3, particularment en capes de trànsit elaborades amb elevades proporcions de betum, quan s'utilitzen betums modificats amb polímers i en carreteres de baixa intensitat de trànsit.



Fotografia 8: imatge de l'obra acabada.

REFERÈNCIES

1. Gómez, A. (2021): *Ferms sostenibles 2022*. Reunió celebrada el 22 d'octubre de 2021 mitjançant la plataforma de comunicació compartida.
2. EAPA (2018): *Heavy duty surfaces – The arguments for SMA*. European Asphalt Pavement Association - Rue du Commerce 77, 1040 Brussels, Belgium.
3. EAPA (2007): *Long-Life Asphalt Pavements – Technical Version*, European Asphalt Pavement Association - Rue du Commerce 77, 1040 Brussels, Belgium
4. Kandhal, P. S. I Chakaraborty, S. (1996): *Effect of Asphalt Film Thickness on Short- and Long-Term Aging of Asphalt Paving Mixtures*. National Center for Asphalt Technology. NCAT Report 96-01
5. NC (2019): *Manual de BIM*. Generalitat de Catalunya