



Solució innovadora: Capa de trànsit de mescla bituminosa en calent ultrafina

Sergi Rubí Navarro, Pabasa Euroasfalt, SA

Òscar Guamis Morillo, Servei Territorial de Carreteres de Barcelona, del Departament de Territori

0.-Resum de l'article

El present article resumeix les experiències i paràmetres principals de l'execució del contracte per a la redacció i l'execució de la millora de les característiques superficials i obres complementàries de la carretera N-141c, del PK 40+490 al 46+990 (enllaç C-17) Tona- Malla. Aquesta carretera és de calçada única amb un carril en cada sentit i té un trànsit de categoria T31. En aquesta s'ha executat una capa de rodament discontinua ultrafina per tal de gestionar els recursos disponibles de la forma més eficient possible.

Aquestes actuacions entren dins del Programa de Compra Pública d'Innovació (CPI), emmarcat dins l'estratègia d'investigació i d'innovació per a l'especialització intel·ligent, RIS3CAT, de la Generalitat de Catalunya. El seu objectiu és potenciar la innovació per impulsar l'economia i la competitivitat; aquest contracte rep el suport del cofinançament del programa FEDER 2021-2027. L'objectiu de l'actuació és desenvolupar nous mètodes i procediments a fi que aquests siguin més sostenibles mediambientalment i econòmicament. També és un objectiu donar una millor funcionalitat i seguretat viària als fermes de les carreteres. Amb tot, s'ha reduït la despesa en el consum de matèries primeres, amb l'estalvi econòmic associat i s'ha aconseguit reduir les emissions de CO₂ eq en un 26,53 %.

1.- Introducció

Aquest document vol recollir les experiències obtingudes a la finalització del contracte de projecte, obra i seguiment del Lot 1, que és un dels 12 que s'inclou dins de l'ordre d'estudi SC-CFC-19027, amb el títol de "Rehabilitació del ferm a diverses carreteres de la xarxa viària de la Generalitat de Catalunya. Pla sectorial de fermes sostenibles 2019. Compra Pública Innovadora".

L'ordre d'actuació SC-CFC-19027 s'inclou en el marc del Pla Sectorial de Fermes Sostenibles, que es defineix com el conjunt d'actuacions per promoure la incorporació de nous materials i noves tecnologies sostenibles en el disseny, en la producció, en la construcció i en el manteniment de fermes per a les carreteres de la Generalitat de Catalunya, donant prioritat al foment de la inversió empresarial en I+D+i, el desenvolupament de vincles i sinergies entre empreses, centres d'investigació i desenvolupament en el sector de l'ensenyament superior i en la inversió en desenvolupament de productes i serveis. Al mateix temps, aquest Pla s'emmarca en el Programa de Compra Pública d'Innovació, de les estratègies de recerca i innovació per a l'especialització intel·ligent a Catalunya (RIS3CAT), que té com a objectiu principal impulsar la demanda d'innovació per part de l'Administració pública de la Generalitat, mitjançant el disseny i l'execució de projectes pilot demostradors i innovadors. Aquesta actuació està cofinançada pel programa FEDER 2021-2027.

L'actuació oferta és la utilització d'una mescla bituminosa en calent ultrafina (AUTL), com a capa de trànsit per a la rehabilitació del ferm segons el projecte SC-CFC-19027.1 de "*Millora de les característiques superficials i obres complementàries. N-141c, del 40+490 al 46+990 (enllaç C-17). Tona- Malla*". Aquest tram de la N-141c té un trànsit T31.



Amb aquesta capa de mescla bituminosa en calent ultrafina s'aconsegueixen els objectius següents:

- Caràcter sonoreductor: estimació de reduccions en el soroll respecte de mescles convencionals entre 3 i 5 dB.
- Millora de la seguretat: la utilització d'àrids d'alta qualitat i el disseny de la mescla confereixen a aquestes capes una elevada macrotextura i microtextura, la qual cosa permet obtenir elevades resistències al lliscament, millorant el seu comportament sota condicions de pluja, menor risc d'aquaplaning i cortines d'aigua.
- Comoditat: millora en la comoditat dels usuaris de la via degut a la millora en la regularitat superficial.
- Durabilitat: la utilització de betums i regs modificats i el seu major contingut respecte barreges discontinües convencionals les fan més resistents a la fissuració i a l'acció abrasiva del trànsit, major elasticitat i millor comportament a la fatiga i a l'envelliment.
- Ecoeficient: capes amb menys consum de matèries primeres que generen un estalvi de recursos naturals, amb el conseqüent estalvi d'emissions de gasos d'efecte hivernacle i de partícules en suspensió.

La capa ultrafina, objecte del contracte, s'ha dissenyat amb una mida màxima d'àrid de 8 mm, per estendre una capa amb una dotació de 32 Kg/m² que representa un gruix mig d'1,5 cm.

2.- Objecte

L'objectiu principal de l'actuació és poder comprovar les millores que aporta aquesta capa ultrafina respecte a una de convencional. A fi de poder realitzar aquest contrast es realitza un tram amb mescla bituminosa tipus BBTM 11B en la mateixa carretera, amb una dotació de 65 kg/m². D'aquesta forma hem observat tant les diferències en execució com en els paràmetres que defineixen i caracteritzen aquesta capa innovadora.

En l'actuació també es contempla un important objectiu mediambiental basat en l'avaluació de la sostenibilitat mediambiental, referenciat aquest, a la reducció de la petjada de carboni.

3.- Capa ultrafina AUTL, materials, fabricació i posada en obra

Les feines per al disseny i l'execució d'una capa ultrafina s'han basat en el disseny d'una mescla discontinüa en calent amb àrids d'alta qualitat i grandària màxima de 8 mm, s'ha generat un fus especialment dissenyat per a aquest tipus de capa, es va decidir utilitzar betum modificat, reg d'adherència amb emulsió de betum modificat termoadherent i un sistema d'estesa amb estenedora d'última generació.

L'òptim funcionament del sistema depèn de tres elements: mescla – reg – posada en obra, junt amb un estudi correcte de la superfície de suport: deformabilitat, sots, fissuració, impermeabilitat i, amb la regularitat superficial inicial, són els aspectes que s'han estudiat per tal de poder obtenir el resultat objectiu del contracte.

Abans d'executar la capa ultrafina a la carretera de referència es va fer un estudi de l'estat inicial. En el resultat d'aquest estudi, es va considerar la necessitat d'una rehabilitació estructural en trams localitzats, els quals mostraven un estat acusat de desgast estructural i valors de deflexió superiors a 125, també en zones que no presenten elevats valors de deflexió, però els quals sí que presenten símptomes greus de deteriorament superficial de fissures i clivellament de malla gruixuda. En aquests casos, s'han executat treballs de fresat i reposició del ferm amb espessors de 7 o 10 cm segons el tram. La mescla escollida per executar la rehabilitació estructural va ser l'AC22 BIN 50/70 S.



Finalment, com a solució de rehabilitació superficial i responent a la proposta innovadora es va realitzar un microfresat previ a la capa de rodament de 1,45 cm, a fi de mantenir la rasant actual de la carretera i assegurar una correcta regularitat longitudinal.

L'emulsió a utilitzar és una C60BP3 TER amb la caracterització següent, mostrada a la taula 3.1:

Característiques	Unitat	Norma UNE EN	mín.	màx.
Emulsió Original				
Polaritat de les partícules	-	1430	Positiva	
Índex de ruptura	g	13075-1	70	130
Contingut de lligant per cont. d'aigua	%	1428	58	62
Temps de fluència (2 mm, 40 °C)	s	12846	15	80
Tendència a la sedimentació (7 dies)	%	12847	-	10
Residu de tamisat (0,5 mm)	%	1429	-	0,1
Adhesivitat	%	13614	90	-
Residu per evaporació segons UNE EN 13074				
Penetració (25°C)	0,1 mm	1426	-	50
Punt de reblaniment	°C	1427	55	-
Cohesió (pèndul Vialit)	J/cm ²	13588	0,5	-
Recuperació elàstica	%	13398	40	-

Taula 3.1: Característiques de la C60BP3 TER

La dotació es va definir per l'estat del ferm de suport que en aquest cas va ser de 630 gr/m² d'emulsió sobre camió cubà, que equival a 380 gr/m² de betum residual.

El lligant hidrocarbonat emprat va ser PMB 45/80-65 (segons la taula 212.2 del PG3).



Característiques	Unitat	Norma UNE EN	mín.	màx.
Betum Original				
Penetració (25 °C; 100 g; 5s)	0,1 mm	EN 1426	45	80
Punt de reblaniment	°C	EN 1427	65	
Punt de fragilitat Fraass	°C	EN 12593	-	-15
Estabilitat al emmagatzematge:		EN13399		
· Diferència Punt reblaniment	°C	EN 1427	-	5
· Diferència penetració (25 °C)	0,1 mm	EN 1426	-	9
Recuperació elàstica a 25 °C	%	EN 13398	70	-
Punto de inflamació	°C	EN 2593	235	-
Força Ductilitat (5°C)	J/cm ²	EN 13589 EN 13703	3	-
Residu després de pel·lícula fina y rotatòria				
Variació de masa	%	EN 12607-1	-	1,0
Penetració (25 °C; 100 g; 5 s)	% p.o.	EN 1426	60	-
Increment punt de reblaniment	°C	EN 1427	-	10
Disminució punt de reblaniment	°C	EN 1427	-	5

Taula 3.2: Característiques del betum PMB 45/80-65

Les temperatures de treball del lligant van ser:

- Temperatura de la mescla: 160 – 170°C.
- Temperatura d'emmagatzematge i ús del lligant: 160 – 170°C.
- Temperatura de compactació: 150 – 165°C.
- Temperatura màxima d'escalfament: 180°C.

El percentatge de betum sobre mescla es defineix en la fórmula de treball, pot variar en funció dels àrids.

El fil·ler d'aportació utilitzat compleix les especificacions de l'article 543 i de la Norma UNE-EN 13108-9 "*Mezclas bituminosas ultrafinas (AUTL)*", i van ser de naturalesa calcària.



Característiques	Unitat	Norma UNE EN	mín.	màx.
Propietats Geomètriques				
Granulometria	2,0mm	%	933-10	100
	0,125mm	%	933-10	85
	0,063mm	%	933-10	70
Blau de Metilè	BM	933-9	1,0	3,0
Densitat aparent	g/cm ³	1097-3	0,5	0,8
Propietats Químiques				
Reactivitat Àlcali/Sílíce		146507-1	No reactiu	
Composició química	CaCO ₃	%	98,96	
	MgCO ₃	%	0,59	
	FeO ₃	%	0,044	

Taula 3.3: Característiques del fil·ler d'aportació

L'àrid fi va complir especificacions de l'article 543 del PG3 i EN13043, tal com mostra la taula 3.4. El fus granulomètric podria ser AF-0/3-T-C i/o AG-0/4-T-C.

Característiques	Unitat	Norma UNE EN	mín.	màx.
Equivalent de sorra		933-8	60	
Blau de Metilè	g/kg	933-9		7
Matèries estranyes			exempt	
Desgast LA àrid gruixut procedència		1097-2		25
Absorció d'aigua				2

Taula 3.4: Característiques de l'àrid fi

L'àrid gruixut va complir especificacions de l'article 543 del PG3 i EN13043, tal com mostra la taula 3.5. La mida emprada va ser AG-4/8-T-G per poder ajustar amb AG-3/6-T-G.

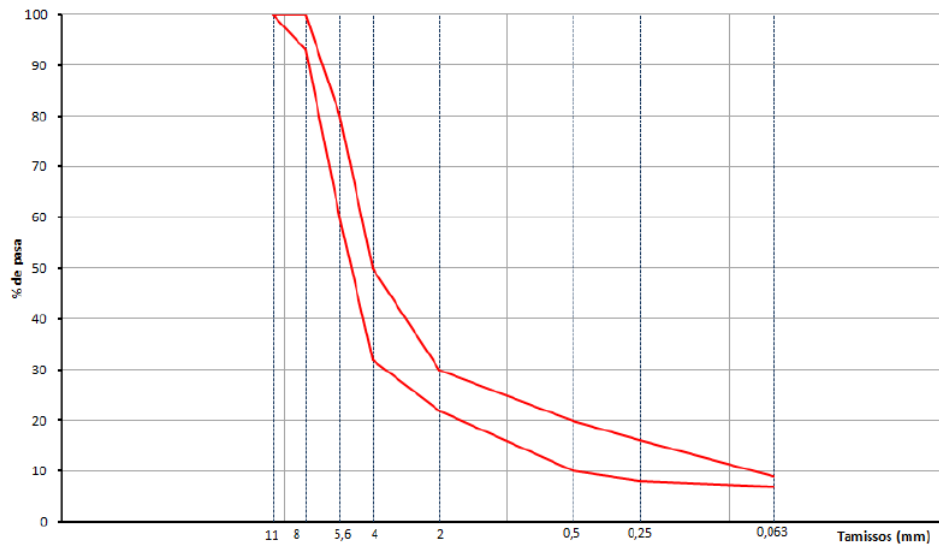
Característiques	Unitat	Norma UNE EN	mín.	màx.
Cares de Fractura (Angulositat)	%	933-5	100	
Índex de Llesques (Forma)		933-3		20
Desgast Los Angeles		1097-2		20
Coefficient Poliment Accelerat		1097-8	50	
Contingut de fins (passa tamís 0,063mm)	%	933-1		0,5

Taula 3.5: Característiques de l'àrid gruixut



El fus de la mescla es detalla a continuació:

FUS GRANULOMETRIC . Tamisat acumulat (% en massa)								
Tamis UNE - EN 933-2	11,2	8	5,6	4	2	0,5	0,25	0,063
Límit superior	100	100	80	50	30	20	16	9
Límit inferior	100	93	60	32	22	10	8	7



Taula 3.6: Fus granulomètric de la mescla

La mescla va quedar caracteritzada tal com es defineix en la taula 3.7:

Fórmula de treball	Unitat	Norma UNE EN	mín.	màx.
Densitat	g/cm ³		2,20	2,28
Contingut betum sobre mescla	%		5,1	5,4
Contingut betum sobre àrid	%		5,4	5,7
Relació filler/betum			1,3	1,5
Forats mescla	%	12697-8	8	
Forats àrids	%	12697-8	18	
Forats reblerts	%	12697-8	50	
Pèrdua de partícules	%	12697-17		12
Escorriment de lligant	%	12697-18		0,2
Sensibilitat a l'aigua	%	12697-12	85	
Resistència a les deformacions plàstiques	mm	12697-22		0,07

Taula 3.7: Caracterització de la mescla

Les especificacions sobre la capa acabada van ser les indicades en la taula 3.8:

Especificacions de la unitat acabada	Unitat	Norma UNE EN	mín.	màx.
Macrotextura superficial	mm	13036-1	1,0	1,5
Resistència al lliscament transversal	mm	41201IN	65	75

Taula 3.8: Especificacions de la capa acabada

La posada en obra és la fase que més influència té sobre l'acabat correcte de la superfície tractada, i es va tenir especial cura amb:

- Estat de la superfície de base: és imprescindible un estudi inicial de la capa de suport per determinar les necessitats d'actuació i així poder obtenir el millor acabat i garantir la perfecta unitat amb el nou parquet de ferm. Prèviament es van fer reparacions estructurals mitjançant apedaçats i un microfresat de la calçada sencera.
- Reg d'adherència: en aquest tipus d'actuació, el reg d'adherència té una influència cabdal en el resultat final de l'actuació. D'aquesta manera es va prescriure la dotació justa. És important no posar més quantitat de la necessària per no tenir problemes d'exudacions ni una menor quantitat per evitar problemes d'adherència entre capes. En el cas de l'estudi, i per les característiques de la via, abans de realitzar el reg d'adherència, es va realitzar l'aspiració de la calçada, tal com s'observa en la fotografia 3.1.



Fotografia 3.1: Aspirat de la calçada microfresada abans d'aplicar el reg d'adherència

La qualitat del reg d'adherència ve donada per la utilització d'una emulsió bituminosa d'altres prestacions tipus C60BP3 TER amb betum modificat i termoadherent. La dotació depèn, com s'ha dit anteriorment, de l'estat de la superfície de suport. Un estudi previ ens va determinar la dotació òptima indicant-nos que podria estar entre 300 gr/m² de lligant residual i 600 gr/m², en el cas d'aquesta obra s'ha realitzat amb una mitjana de 380 gr/m² de lligant residual (630 gr/m² dotació en cisterna de reg autopropulsada).

La utilització de rampes automatitzades per aplicar el reg garanteix la qualitat i la correcta distribució de l'emulsió. Es tracta de regles controlades des de la cabina de la cisterna d'emulsió amb un equip informàtic que varia la velocitat de la bomba de l'emulsió i, per tant, el cabal en funció de la velocitat del camió cisterna i de la dotació definida. Les rampes amb doble fila de polvoritzadors permet una distribució uniforme de l'emulsió a tota l'amplada de la calçada.

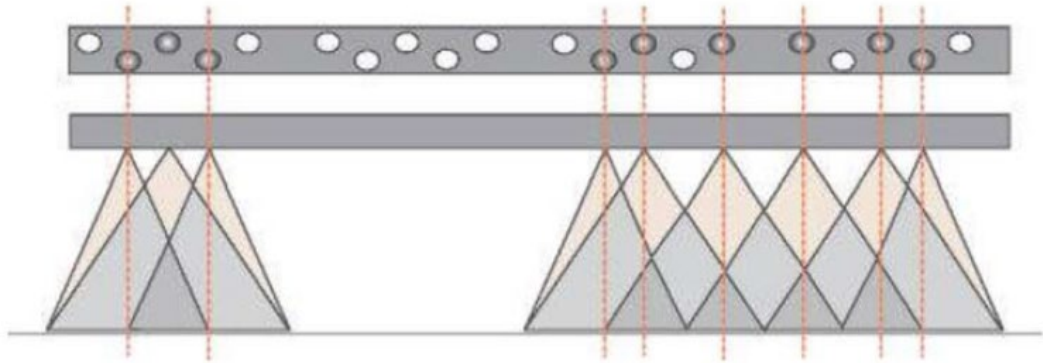


Figura 3.1: Esquema funcionament distribució del reg

A més, la utilització de rampa de reg autònoma muntada sobre camió independent de l'estenedora de la mescla permet la necessària inspecció visual de la superfície regada, i així, la possibilitat de poder fer els preceptius assajos de dotació d'emulsió, per tal de comprovar que el reg s'ha efectuat de manera homogènia i sense cap obturació en els difusors, que seria motiu d'una distribució irregular del reg, o fins i tot zones de la superfície sense regar. Aquestes operacions no són possibles d'executar quan el reg s'efectua des de rampes de reg directament incorporades a l'estenedora.

A l'estar executant una capa ultrafina, el betum residual del reg queda adherit a la capa suport, un cop aquest ha trencat, a l'entrar en contacte amb la mescla estesa a temperatures per sobre de 150°C, aquests es fusionen, obtenint un conjunt solidari amb una proporció final de lligant bituminós superior al 7%. D'aquesta manera, tot el conjunt solidari aconseguit fa que es redueixi el risc de fatiga prematura.

- Equip d'estesa: el regle d'estesa ha de tenir un *tamper* amb un angle més gran d'inclinació que l'habitual, a fi d'obtenir un ajustament òptim de la regularitat, millorant el comportament de flotació de la xapa allisadora i l'entrada de material a l'estesa. Aquestes parts es mostren dins la figura 3.2, que són parts fonamentals alhora de treballar amb capes d'entre 1 i 2 centímetres de gruix.

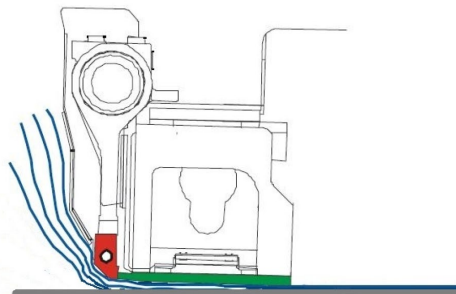


Figura 3.2: Posició del *tamper* (vermell) i planxa allisadora (verd)

Aquest *tamper* va ubicat dins del regle flotant, a més, aquest regle està dotat d'un sistema d'escalfament regular de les xapes allisadores.



- Equip de compactació: es fan servir els equips de compactació estàndard, utilitzats el de la compactació de capes de rodatge. En la compactació es fa servir un corró metàl·lic vibratori i un compactador de pneumàtics. El corró metàl·lic es fa servir proper a l'estenedora per tal de distribuir correctament l'esquelet mineral de la mescla i garantir una correcta planimetria. Gràcies al ràpid refredament de la capa, degut al seu poc gruix, aquets corró ha d'anar a molt poca distància de l'estenedora. La funció principal del compactador de pneumàtics és la d'aconseguir una correcta unió entre la mescla estesa, l'emulsió bituminosa i la capa de suport, assegurant un contacte total i perfecte entre els tres elements. Aquest equip també és l'encarregat del tractament de les juntes, ja siguin transversals o longitudinals.

4.- Resultats i validació

Els resultats i conclusions obtingudes de l'obra de rehabilitació del ferm a la carretera N-141c del PK 40+490 al PK 46+990, serien:

- **Macrotectura:** en la taula següent podem veure els resultats dels amidaments efectuats pel laboratori extern acreditat sobre la capa ultrafina executada:

Capa ultrafina		Carril	Volum sorra [mm ³]	Diàmetre cercle [mm]	Profunditat mitjana textura [mm]
Punt					
1	2.Tona	25,000	171,0	1,1	
2	2.Tona	25,000	171,0	1,1	
3	2.Tona	25,000	163,0	1,2	
4	2.Tona	25,000	161,0	1,2	
5	2.Tona	25,000	171,0	1,1	
6	2.Tona	25,000	165,0	1,2	
7	1. Malla	25,000	149,0	1,4	
8	1. Malla	25,000	161,0	1,2	
9	1. Malla	25,000	165,0	1,2	
10	1. Malla	25,000	151,0	1,4	
11	1. Malla	25,000	157,0	1,3	
12	1. Malla	25,000	161,0	1,2	
13	2.Tona	25,000	161,0	1,2	
14	2.Tona	25,000	167,0	1,1	
15	2.Tona	25,000	163,0	1,2	
16	1. Malla	25,000	173,0	1,1	
17	1. Malla	25,000	167,0	1,1	
18	1. Malla	25,000	169,0	1,1	
Mitja				1,2	

Taula 4.1: Valors de la macrotectura de la capa ultrafina



En la taula següent veiem la macrotextura del tram de contrast realitzat en un tram de BBTM 11B:

BBTM 11B				
Punt	Carril	Volum sorra [mm ³]	Diàmetre cercle [mm]	Profunditat mitjana textura [mm]
1	2. Tona	25,000	123,0	2,1
2	1. Malla	25,000	119,0	2,2
3	2. Tona	25,000	134,0	1,8
Mitja				2,0

Taula 4.2: Valors de la macrotextura del tram de contrast BBTM 11B

A la taula 4.2 podem veure el tram de referència executat amb BBTM 11B. Estem dins del que s'indica a la taula 543.15 del PG3, que demana que el valor sigui superior a 1,5 mm.

En analitzar la taula 4.1, observem que tots els valors es troben entre 1,1 mm i 1,4 mm; amb això es pot concloure que la mescla de la capa ultrafina té una macrotextura més propera a una mescla tipus BBTM A que a una BBTM B (valors de macrotextura superiors a 1,1 mm i per sota de 1,5 mm, és la referència a partir de la qual es valoren les BBTM B), amb la qual cosa es pot deduir el valor sonoreductor de la microcapa.

- **Índex de regularitat internacional (IRI):** en la taula 4.3 es poden comparar els valors d'IRI, just una vegada s'ha fet la rehabilitació estructural i s'ha executat la microcapa. L'IRI resultant de l'actuació es troba dins de l'especificació de la taula 543.15 del PG3 en el que es preceptiu, en actuacions de mescles convencionals, per a la rehabilitació estructural amb gruixos igual o inferiors a 10 cm, en vies que no siguin autopistes o autovies.

Resultats IRI	Via	PK inici	PK final	Percentatge d'hectòmetres inferiors a:						Mitjana	Desviació
				<1,5	<1,8	<2,0	<2,5	<3,0	<3,6		
Acabat reforç estructural	1. Malla	40+490	46+990	0	0	0	8	31	62	3,27	0,66
	2. Tona	46+990	40+490	0	0	8	46	77	100	2,54	0,51
Acabada l'estesa capa de rodatge	1. Malla	40+490	46+990	38	69	77	92	100	100	1,63	0,56
	2. Tona	46+990	40+490	92	100	100	100	100	100	1,03	0,26
Criteri acceptació per a vies amb ferms rehabilitats estructuralment que no siguin autopistes ni autovies amb reforç igual o inferior a 10 cm						>=50	>=80	=100			

Taula 4.3: Millor d'IRI una vegada executada la capa ultrafina

- Gruix de capa: la taula següent 4.4 resumeix els resultats dels gruixos extrets pel laboratori extern homologat:

Ubicació	Gruix [cm]
PK 46+488 sentit Tona	1,5
PK 42+040 sentit Tona	1,3
PK 46+685 sentit Malla	1,7
PK 42+037 sentit Malla	1,8
PK 41+617 sentit Tona	1,7
PK 41+625 sentit Malla	1,5
Mitja	1,58

Taula 4.4: Gruix de la microcapa

La taula 4.4 mostra que la capa executada seria aproximadament la meitat d'una BBTM B o BBTM A, d'acord amb el que marcava un dels objectius del projecte executat.

- CRT: aquest assaig, mitjançant equip SCRIM, ens ha donat una mitjana de 54,5. Cal dir que no s'ha pogut realitzar en condicions òptimes i, tractant-se d'una via amb trànsit T31, encara conserva la capa superficial de betum PMB 45/80-65. En tot cas, dels assaigs complementaris realitzats amb el pèndol TRRL s'ha pogut constatar, en les sis determinacions del coeficient de resistència al lliscament dutes a terme, sempre valors superiors a 65, obtenint un valor mig de 69.

5.- Avaluació del cycle de vida

En aquest apartat s'avalua la diferència dels impactes ambientals associats a fer servir la capa ultrafina en comptes de la BBTM 11B convencional. A fi d'avaluar aquestes diferències, es va fer servir el tram de 500 ml de BBTM 11B de tram de referència executat a la obra.

En les anàlisis s'estudia l'abast tipus "cradle to gate", és a dir, des de l'extracció de les matèries primeres fins a l'aplicació, estesa i compactació de la mescla asfàltica a la carretera:

- MP: obtenció i processament de les matèries primeres.

5.1. Els materials necessaris per executar 500 ml de cada mescla serien els indicats a la taula

Materials per tram de 500 ml de BBTM 11B				
Fabricació [tona]	Matèries primeres, MP			
	Àrid fi [t]	Àrid gruixut [t]	Betum [t]	Fíl·ler [t]
234,945	46,989	178,558	11,072	9,398

Materials per tram de 500 ml de capa ultrafina				
Fabricació [tona]	Matèries primeres, MP			
	Àrid fi [t]	Àrid gruixut [t]	Betum [t]	Fíl·ler [t]
112,323	31,45	74,133	6,560	6,739

Taula 5.1: Matèries primeres per executar 500 de calçada



Els factors d'impacte considerats han estat els següents:

Categoria d'impacte	Consum energètic [Mj/t]	Escalfament global [Kg CO ₂ eq/t]
Àrids	77	2,68
Fíl·ler	77	2,68
Betum PMB 45/80-65	8.519,4	465

Taula 5.2: Factors d'impacte utilitzats per al càlcul en la fase d'extracció de matèries primeres

- TMP: transport de les matèries primeres des del punt de distribució fins al centre de producció de Pabasa Euroasfalt SA, ubicat al terme municipal de Massanes (Girona).

Les diferents distàncies dels subministradors a la planta de producció de les mescles asfàltiques han estat les reflectides a la taula següent 5.3:

Material	Origen	Destí	Distància [Km]
Àrid gruixut	cantera	planta asfàltica	24,5
Àrid fi	cantera	planta asfàltica	42,2
Fíl·ler aportació	planta processament	planta asfàltica	119
Betum	refineria	planta asfàltica	159

Taula 5.3: Distàncies dels centres de producció de les matèries primeres al centre de producció de Pabasa Euroasfalt

Es fan servir els factors d'impacte següents per al càlcul de la fase de transport:

Vehicle	Consum energètic [MJ/t·Km]	Escalfament global [Kg CO ₂ eq/t·Km]
Cisterna	1,06	0,09
Camió banyera	1,03	0,08

Taula 5.4: Factors d'impacte utilitzats per al càlcul en la fase de transport de les matèries primeres

- FAB: fabricació de les mescles asfàltiques, on el màxim consum és el fuel per a l'escalfament dels àrids, que és molt superior al consum energètic de funcionament de la resta d'instal·lacions, incloent el manteniment de la temperatura del betum. Per aquest motiu, i donat que les 2 mescles es fabriquen a la mateixa temperatura, es fan servir els factors d'impacte següents:

Mescla	Consum energètic [MJ/t]	Escalfament global [Kg CO ₂ eq/t]
Mescla BBTM 11B i capa ultrafina	255,56	21,18

Taula 5.5: Factors d'impacte utilitzats per al càlcul de les emissions en la fase de fabricació



- TRA: transport de les mescles asfàltiques, emulsió i maquinària a l'obra en execució.

A la taula següent es mostren els factors d'impacte dels vehicles fets servir:

Vehicle	Consum energètic [MJ/t·Km]	Escalfament global [Kg CO2 eq/t·Km]
Camió banyera	1,03	0,08
Camió reg	1,69	0,14
Góndola	1,03	0,08

Taula 5.6: Factors d'impacte emprats per al càlcul de les emissions en el transport dels materials i maquinària a l'obra

- EST: estesa i compactació de les mescles a la N-141c.

Els factors d'impacte considerats per a l'avaluació en les feines de l'estesa i la compactació són:

Màquina	Consum energètic [MJ/h]	Escalfament global [Kg CO2 eq/h]
Fresadora	2.716,6	210,86
Escombradora	978,86	77,43
Estenedora	1.080,46	81,45
Compactador pneumàtic	754,2	57,35
Compactador tàndem	1.163,07	80,76
Camió de reg	1.104,04	89,03
Camió de 400 hp	1.104,04	89,03
Camió aspiradora	1.104,04	89,03

Taula 5.7: Factors d'impacte emprats per al càlcul de les emissions en les feines de l'estesa i la compactació

Amb aquests amidaments de materials, distàncies, rendiments i factors d'impacte mostrats, s'arriba al següent perfil ambiental de la BBTM 11B, per cada tona treballada, segons la taula 5.8:

Categoria d'impacte	Unitat	Total	Valor absolut per tona				
			MP	TMP	FAB	TRA	EST
Consum energètic	MJ/t	1.267,12	521,46	40,58	267,50	72,25	365,33
Escalfament global	kg CO2 eq/t	86,65	26,90	3,36	22,18	5,98	28,23
Categoria d'impacte	Unitat	Total	Contribució per etapa				
			MP	TMP	FAB	TRA	EST
Consum energètic	% respecte total	100,00 %	41,15 %	3,20 %	21,10 %	5,70 %	28,83 %
Escalfament global	% respecte total	100,00 %	31,04 %	3,88 %	25,59 %	6,91 %	32,58 %

Taula 5.8: Perfil ambiental en l'execució per tona de BBTM 11B



Realitzant els mateixos els càlculs per a la capa ultrafina, obtenim els valors següents:

Categoria d'impacte	Unitat	Total	Valor absolut per tona				
			MP	TMP	FAB	TRA	EST
Consum energètic	MJ/t	1.895,12	625,73	44,37	268,11	72,45	884,47
Escalfament global	kg CO2 eq/t	133,16	32,50	3,68	22,23	6,00	68,75
Categoria d'impacte	Unitat	Total	Contribució per etapa				
			MP	TMP	FAB	TRA	EST
Consum energètic	% respecte total	100,00 %	33,02 %	2,34 %	14,15 %	3,82 %	46,67%
Escalfament global	% respecte total	100,00 %	24,41 %	2,76 %	16,69 %	4,51 %	51,63 %

Taula 5.9: Perfil ambiental en l'execució per tona de capa ultrafina

En la taula 5.10, podem comparar fent servir un tram de 500 ml de calçada de cada solució:

Categoria d'impacte	Unitat	Total	Valor absolut per 500 ml de BBTM 11B				
			MP	TMP	FAB	TRA	EST
Consum energètic	MJ/t	297.702,34	122.514,07	9.534,20	62.847,50	16.974,89	85.831,68
Escalfament global	kg CO2 eq/t	20.359,12	6.319,19	789,80	5.210,64	1.406,02	6.633,47
Categoria d'impacte	Unitat	Total	Valor absolut per 500 ml de microcapa				
			MP	TMP	FAB	TRA	EST
Consum energètic	MJ/t	212.864,87	70.283,57	4.983,82	30.114,34	8.137,53	99.345,61
Escalfament global	kg CO2 eq/t	14.957,21	3.650,96	412,85	2.496,79	674,03	7.722,58

Taula 5.10: Amidaments de consum energètic i escalfament global de 500 m de calçada executada amb BBTM 11B i amb capa ultrafina

A la taula 5.10 s'observa que en les dues mesclades, l'estesa (EST) juga un paper important de cara a l'avaluació de l'impacte ambiental, malgrat això, el percentatge d'impacte de les matèries primeres (MP) és molt més significatiu en la mescla convencional que en la innovadora; passa el mateix en els fases de transports i fabricació. Aquest fet té sentit atès que a la solució innovadora tenim menys tones de producte per m² de superfície tractada. Si analitzem la fase de fabricació (FAB), l'impacte que produeix la mescla convencional és de l'ordre del doble del que produeix la mescla innovadora.

En analitzar els resultats globals, la mescla convencional produeix 297.702,34 MJ de consum energètic en comparació amb els 212.864,87 MJ de consum energètic de la innovadora, fet que suposa un increment del 39,86 % en consum energètic que si s'utilitza la solució ultrafina.

Per tant, si analitzem aquests resultats, s'observa que la mescla ultrafina suposa una reducció de consum energètic del 28,50 %, comparant-la amb la solució convencional BBTM 11B. És evident el



benefici ambiental que aporta la nova mescla, tenint en compte que s'actua sobre la mateixa superfície.

Si analitzem els valors en termes de l'esclafament global, tenim que la mescla bituminosa BBTM 11B produeix 20.359,12 kg de CO₂ eq en comparació als 14.957,17 kg de CO₂ eq que produeix la mescla ultrafina. Aquest fet suposa que la mescla innovadora redueix en gairebé un 26,53 % els kg de CO₂ eq les emissions a l'atmosfera comparant-la amb la solució convencional.

La mescla innovadora té un menor impacte en totes les etapes del cicle de vida analitzades excepte en l'etapa d'aplicació o estesa (EST), on la mescla innovadora té un major impacte degut a una major utilització horària per metre de calçada executada.

La mescla BBTM 11B té un major impacte en l'etapa de fabricació (FAB), ja que té un major consum de combustible associat a una major quantitat de tones de producte de cara a realitzar la mateixa actuació, passant de la mateixa manera a la fase d'MP i les dues fases de transport (tant TMP com TRA).

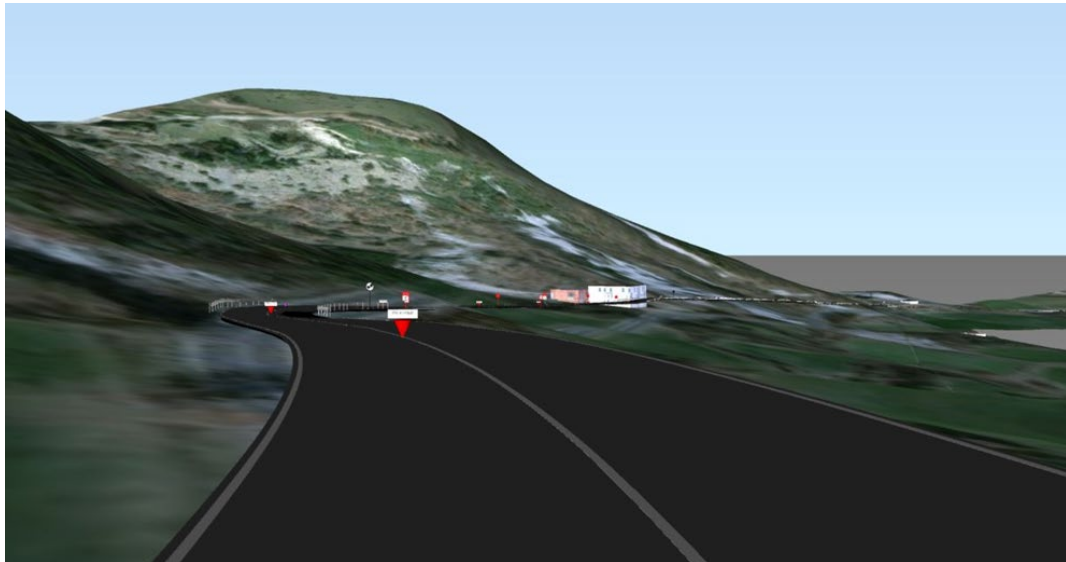
6.- Entorn col·laboratiu i BIM

Per a un millor seguiment del desenvolupament de totes les fases del projecte, tots els actors del contracte, que van des del Director Facultatiu de les obres, Projectista, Director Tècnic, BIM Manager, Assistència Tècnica i cap dels Treballs entre d'altres, s'ha fet servir un entorn de treball virtual col·laboratiu.

El Microsoft Teams va ser l'entorn de treball virtual col·laboratiu escollit, amb aquest ens podíem comunicar de forma àgil i ràpida i, a més, tota la informació generada quedava emmagatzemada en un conjunt de carpetes consensuades per tots els actors implicats. Amb aquest sistema es va poder fomentar i facilitar la participació de tots els actors en tot moment i així prendre les decisions de la forma més consensuada possible. Aquest procediment es va fer servir en les tres fases d'actuacions, que han estat: la redacció del projecte, l'execució de l'obra i el posterior seguiment del paràmetres a estudiar. Aquesta última fase encara està en desenvolupament, ja que té un durada de cinc anys.

Durant les dues primeres fases, la redacció de projecte i l'execució de l'obra, s'ha emprat la metodologia BIM, amb l'objectiu d'incorporar un sistema d'actualització constant de l'estat de les diverses feines i/o actuacions. Una vegada es va acordar el BEP entre tots els actors implicats, es va treballar en un entorn molt regulat en tots els subsistemes, donant una gestió àgil, tot i la gran quantitat de dades que s'han recopilat i gestionat.

Aquesta metodologia de treball ens ha permès treballar també en un entorn gràfic 3D com es veu a la imatge següent:



Imatge 6.1: Exemple visual de la metodologia BIM

7.- Conclusions

El present article resumeix les principals característiques tècniques en el desenvolupament del contracte que ha generat la redacció i execució del projecte de *“Millora de les característiques superficials i obres complementàries. N-141c, del 40+490 al 46+990 (enllaç C-17). Tona- Malla”*.

Segons s’ha pogut veure en els apartats anteriors, dins d’aquest contracte hem pogut comprovar la viabilitat de l’execució de capa ultrafina discontinua en una carretera convencional amb trànsit T31.

S’ha millorat en la seguretat de la via degut als bons paràmetres de macrotextura i resistència al lliscament obtinguts. La gran millora de l’IRI també ajuda, junt amb la macrotextura i microtextura, a minorar els accidents de trànsit i dona una major comoditat als usuaris de la via.

Pot ser destacable la rebaixa en els índex de sonoritat d’entre 3 i 5 dB, gràcies a què la macrotextura obtinguda està dins dels paràmetres de les mescles sonoreductores.

S’estima una gran durabilitat per la utilització de regs i betums modificats amb un contingut sobre mescla final, per sobre de les mescles convencionals. Aquests reg i betum donen més resistència a la fissuració superficial i són més resistents a l’abració del trànsit, aconseguint un millor comportament a fatiga del paviment.

La sostenibilitat queda demostrada en l’estalvi en el consum de matèries primeres i, com s’ha vist en l’avaluació del cicle de vida, s’han reduït les emissions de CO₂ eq en un 26,53 % respecte una capa de rodatge convencional discontinua.

La utilització d’un entorn col·laboratiu digital de dades, junt amb la metodologia BIM, ha dotat a tot el conjunt de les activitats d’una participació activa dels agents, a més d’una plataforma d’emmagatzematge i treball de dades molt àgil, dinàmica i pràctica que ha donat una resolució ràpida de dubtes i problemes de diverses tipologies o natures.

L’únic condicionant que hem vist a l’hora d’executar una capa ultrafina sobre un ferm existent ha sigut el propi estat d’aquest ferm existent. En el nostre cas, degut a la seva degradació estructural i de regularitat, ha sigut necessària la realització d’una petita campanya de reforç estructural.



8.- Bibliografia

[1] Generalitat de Catalunya:

<https://www.accio.gencat.cat/ca/serveis/innovacio/internacional/compra-publica-innovacio/>

[2] Projecte SC-CFC-19027.01 Millora de les característiques superficials i obres complementàries N-141c, del 40+490 al 46+990 (Enllaç C-17). Tona – Malla.

[3] Plec de Prescripcions Tècniques Generals per obres de carreteres i ponts (PG-3).

[4] Plec de Prescripcions Tècniques Generals PGI-10 de Infraestructures de la Generalitat de Catalunya.