



Experiència en l'execució d'un microaglomerat en fred com a capa de rodament sobre un reciclat en fred amb emulsió

Mar Subarroca, FIRTEC, SA

Alfredo Bovis, FIRTEC, SA

José Manuel Pardo Losada, FIRTEC, SA

Mario Alberto Jimeno Mora, Servei Territorial de Carreteres de Barcelona, del Departament de Territori

Introducció

En el marc del contracte de compra pública d'innovació gestionat per la Generalitat de Catalunya, l'empresa FIRTEC S.A. ha dut a terme la redacció del projecte i execució de l'obra REFORÇAMENT DEL FERM I OBRES COMPLEMENTÀRIES A LA BV-1001 DEL PK 0+375 AL 13+830. TRAM: CALAF – SANT GUIM DE FREIXENET (Clau SC-CFC-19027.9). El contracte forma part del Pla de Fers Sostenibles i marcava com aspecte innovador a abordar la consideració de mescles bituminoses en fred.

Per a la seva execució, i a la vista del context, s'ha seleccionat l'aplicació d'un reciclat en fred amb emulsió del ferm existent, l'aplicació d'una capa ultrafina com a capa intermitja i finalment com a capa de rodament una mescla eco-innovadora designada MICROF 6 C60BP4 MIC BIO. La principal innovació introduïda correspon a la definició d'una corba granulomètrica dissenyada per l'optimització de les prestacions i en l'ús d'una emulsió altament modificada que inclou l'addició de biolligants.

Context

Per a la definició de la solució, han estat considerats condicionants establerts pel plec de condicions particulars de l'obra i altres condicionants relatius al contorn i funcionalitat de la via sobre on s'aplicava la innovació.

En concret, com a condicions particulars, es definia la necessitat de que la mescla innovadora fos una mescla fabricada i posada en obra a temperatura ambient. Les bondats d'aquest sistema d'aplicació, segons definia el plec, versarien en una reducció dels riscos laborals associats a l'execució, una disminució de les emissions en el procés de fabricació. Aspectes inclosos també en la descripció de la solució preveïen l'aplicació de solucions del tipus mescles obertes en fred, amb emulsió o reciclat en fred in situ amb emulsió.

No obstant, el requeriment afegit d'auscultació de la solució innovadora a partir d'indicadors sobre la qualitat de les prestacions superficials de la mescla, no feia possible considerar la solució del reciclat en fred in situ amb emulsió com a mescla innovadora objecte de la compra pública, ja que aquesta mescla té aplicació com a capa base del ferm asfàltic.

L'aplicació de mescla oberta en fred fabricada amb emulsió va considerar-se també inapropiada per les condicions de l'entorn de l'obra. El traçat amb presència de girs i el tràfic de vehicles pesants en un tram del traçat, associats a l'activitat de la cantera i la planta de tractament de residus comprometien la solució. A més, per tal de garantir requeriments en quant a prestacions superficials en el moment inicial i durant el període de garantia, la mescla seleccionada hauria de ser aplicada en espessors de 4 a 6 cm i les limitacions pressupostàries no feien possible l'encaix d'aquesta solució si es pretenia abordar la reparació del ferm existent.



La carretera BV-1001 té el seu inici al terme municipal de Calaf i discorre en direcció sud – oest creuant el nucli de Sant Martí de Sesgueioles i acabant al municipi de Sant Guim de Freixenet, connectant amb la carretera B-100z. Té una longitud de 13.830 m amb una secció transversal variable entre 6,5 i 8 m. Existeixen dos trams en travessies a Sant Martí de Sesgueioles i Sant Guim, on es troba flaquejada per zones de pàrquing o vorades.

La mescla bituminosa del ferm existent està formada per mescles bituminoses en calent, amb àrids de diferents naturaleses, principalment silicis a la capa de rodament. En el ferm actual s'han realitzat vàries campanyes d'apedaçats que en el moment de l'actuació es trobaven en un estat correcte si bé en algunes s'havia detectat inici de fissuració bastant deteriorat. També es distingeix en un tram, a l'inici, una campanya de microaglomerat, tot i que aquest tractament ja està molt desgastat. L'estudi posterior, a més, va revelar la presència d'una capa tipus tractament superficial no cohesionada en mig de la secció de ferms que condicionava el comportament estructural.

Es va valorar que l'estat estructural del ferm existent era suficient, presentant deformacions únicament a les rodades dels carrils, sense grans deformacions longitudinals ni assentaments puntuals. No obstant, la capa de mescla bituminosa que conforma la capa de rodament es troba deteriorada, presentant fissuracions en molts punts de manera homogènia. D'altra banda, la capa existent de mescla en fred no cohesionada condicionava el comportament estructural de la mescla.

Pel que fa la a la sol·licitació de la via, es tracta d'una via d'ús veïnal, amb un volum de pesats formats principalment per vehicles agrícoles i camions que donen servei a una cantera i un abocador, anteriorment esmentats, els quals estan ubicats a prop del nucli de Sant Martí i tenen l'accés des de la BV-1001. Es distingeixen dos trams en funció del tipus de trànsit de la carretera:

- Tram del 0+345 fins al 8+600 : 133,1 IMDp Categoria de trànsit pesat T 31
- Tram del 8+600 fins al 13+830: 32,9 IMDp Categoria de trànsit pesat T 41

Definició de la solució

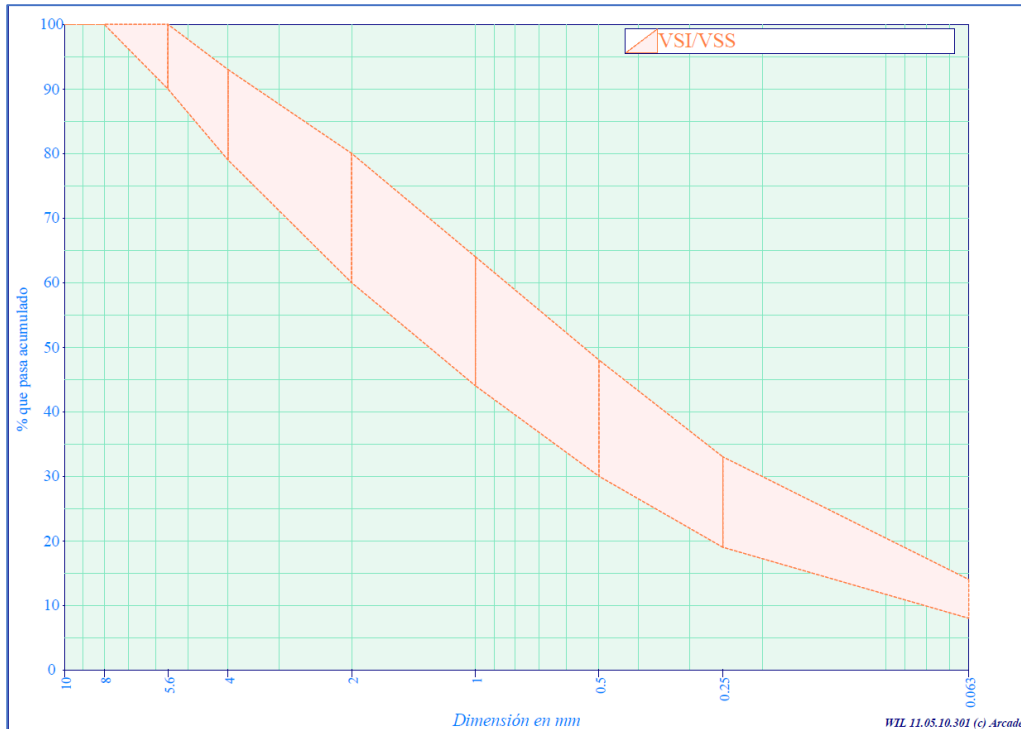
La solució executada va consistir en la realització d'un reciclat en fred amb emulsió del ferm existent en espessor variable en funció de l'estat i característiques del paviment existent. Sobre el mateix, s'estén una capa de mescla ultrafina tipus AUTL 8 i sobre aquesta, la mescla innovadora tipus MICROF 6 que incorpora una emulsió bituminosa, altament modificada i biolligants d'origen vegetal.

Són diverses les innovacions aportades en aquesta solució que són desenvolupades a continuació:

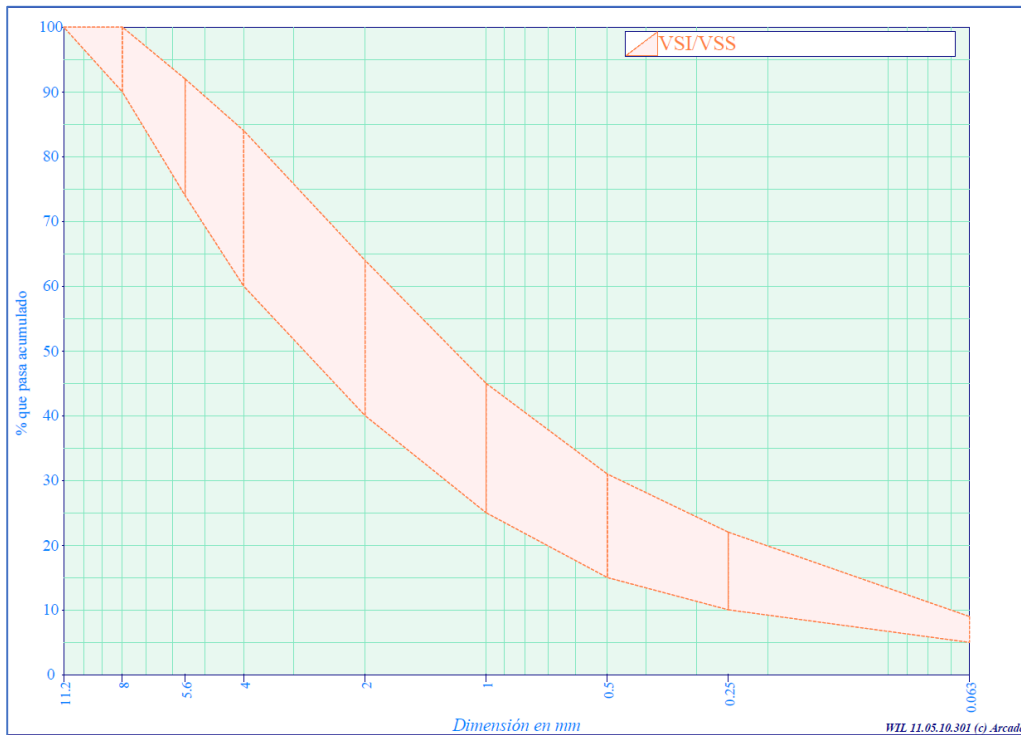
FUS GRANULOMÈTRIC MICROF 6

Va ésser definida una granulometria diferent de les recollides en plec de vigents per a MICROF, amb l'objectiu d'optimitzar la dotació i prestació de la mescla. El fus definit és una solució intermitja entre les contemplades en el plec MICROF 5 i MICROF 8. La mescla MICROF 5 no té previst normativament la seva aplicació com a capa superficial o única, considerant la seva reduïda dotació quan s'aplica en capa única i el menor grau de macrotectura assolit en el cas d'aplicació de les dues capes per a aquest tipus de tractament. Altrament, l'experiència determina que la mescla tipus MICROF 8 presenta una especial sensibilitat a la pèrdua de partícules grosses quan són sotmeses a l'acció del tràfic després de la seva apertura, en especial quan la dotació de capa presenta espessors variables per manca de regularitat superficial del ferm existent. Com a disseny millorat per a l'aplicació de la solució es proposa la definició d'un fus que

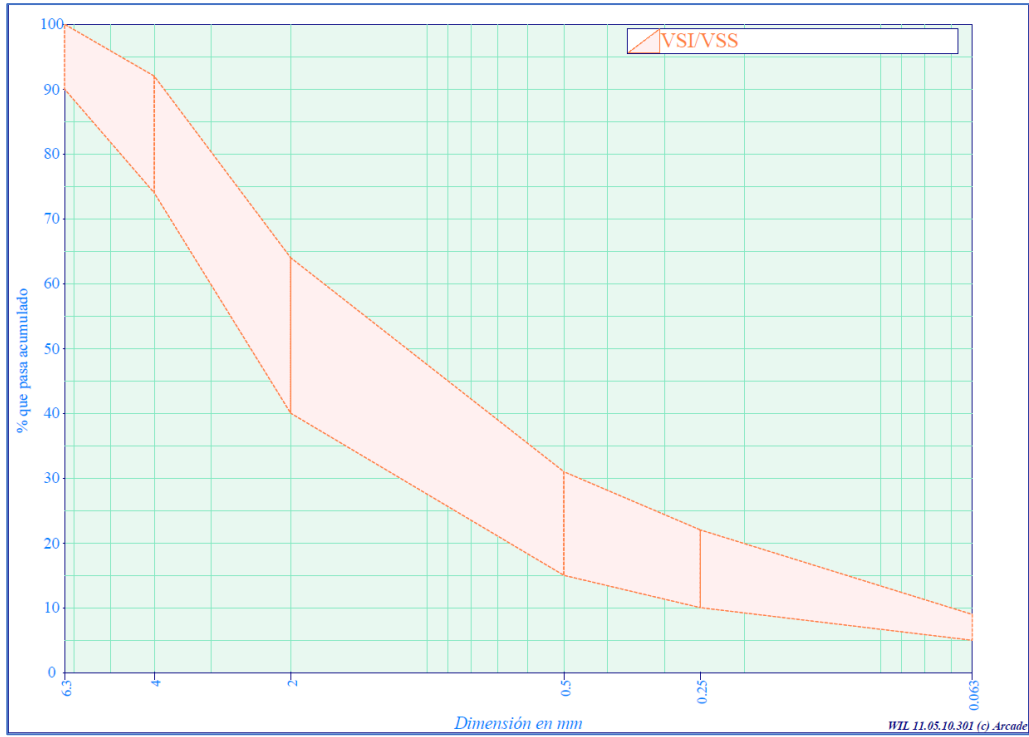
millori les prestacions de les opcions existents en el marc normatiu actual. Amb aquesta finalitat, es preveu l'aplicació d'una mescla amb una granulometria més similar a la pròpia de MICROF 8 en la part fina del fus, però limitant la mida màxima nominal emprada.



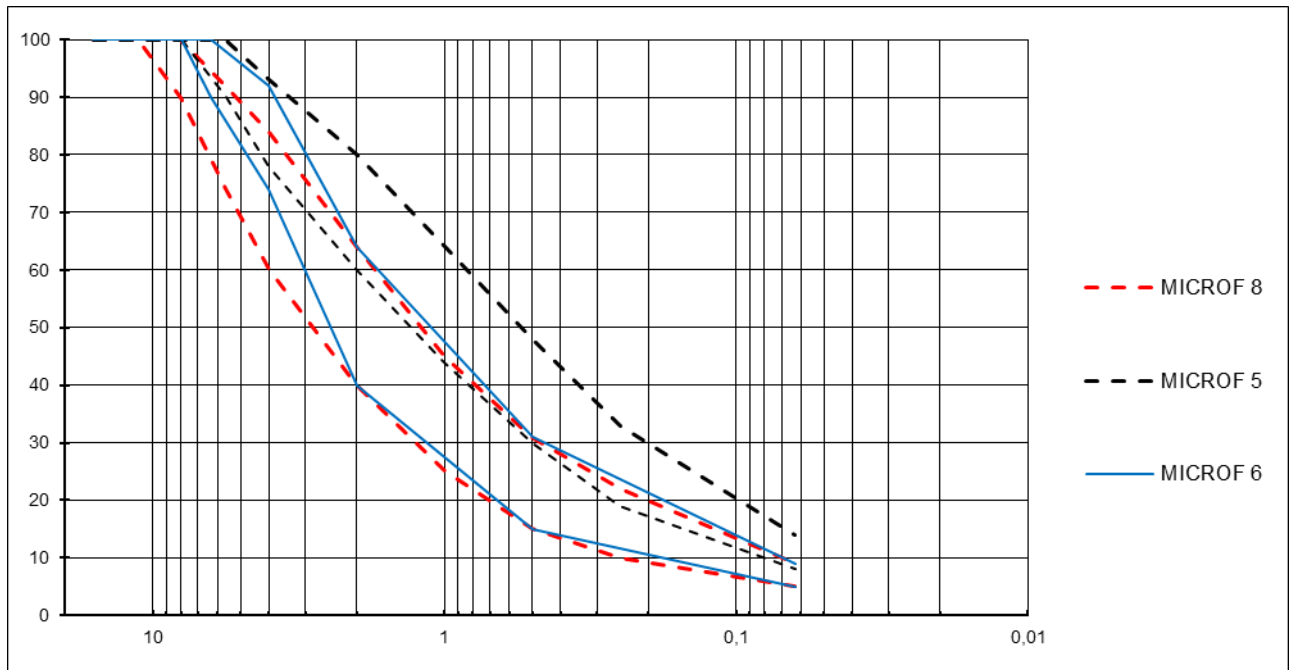
Imatge 1. Fus granulomètric MICROF 5 (Article 540 PG-3)



Imatge 2. Fus granulomètric MICROF 8 (Article 540 PG-3)



Imatge 3. Fusos granulomètrics MICROF 6 emprat amb una solució innovadora



Imatge 4. Representació comparativa de fusos MICROF 5 i 8 respecte al de la mescla innovadora

DISSENY DE L'EMULSIÓ

El disseny de l'emulsió bituminosa inclou dos aspectes claus vinculats a la innovació reportada per part de la solució.

El primer dels aspectes és la inclusió en la seva formulació d'un lligant d'origen vegetal que permet una substitució parcial del lligant bituminós i que contribueix a la millora de les prestacions de l'emulsió. Més enllà dels beneficis ambientals associats al seu ús, tècnicament el producte reporta una modificació reològica del betum d'origen mineral en condicions de prestació de servei i permet dotar a la mescla final de microaglomerat d'una major resistència a l'abradió.

L'altre aspecte innovador, correspon a la formulació de l'emulsió contemplant la incorporació d'additius que incideixen en la reologia del lligant i que li confereixen un elevat grau de modificació. Aquesta, es tradueix en unes prestacions superiors a les pròpies d'emulsions convencionals pel que fa a la ductilitat del lligant residual (grau de recuperació elàstica del lligant), i a la seva sensibilitat al rebliment (temperatura d'anell i bola).

S'inclou, tot seguit, el recull de prestacions declarades per l'emulsió desenvolupada.

Características		Unidades	Norma	Especificación	
				Min.	Máx.
Características de la emulsión					
Polaridad de las Partículas			UNE EN 1430	Positivo	
Contenido de ligante	Por contenido de agua	%	UNE EN 1428	58	62
	Por destilación		UNE EN 1431	58	-
Contenido de aceite destilado		%	UNE EN 1431	-	≤2
Tiempo de fluencia, 2 mm a 40° C		s	UNE EN 12846	15	70
Residuo de tamizado	tamiz 0.5 mm	%	UNE EN 1429	-	≤ 0.1
Índice de ruptura		-	UNE EN 13075-1	110	195
Tendencia a la sedimentación (7 días)		%	UNE EN 12847	-	≤10
Adhesividad		% cubrición	UNE EN 13614	≥90	-
Características del ligante recuperado por evaporación (EN 13074-1)					
Penetración		0.1mm	UNE EN 1426	-	≤100
Punto de reblandecimiento		°C	UNE EN 1427	≥55	-
Recuperación elástica a 25°C		%	UNE EN 13398	≥55	-

Taula 1. Prestacions de l'emulsió C60BP4 MIC PLUS

DEFINICIÓ DE LA SECCIÓ

A més de les innovacions registrades en la pròpia mescla innovadora, també la definició de la secció té un component innovador. Segons l'Ordre circular 6.3 IC, l'aplicació de reciclat en fred amb emulsió va lligat a l'estesa de capes de rodament de mescla bituminosa en calent de tipus (S) o (D) de gruixos considerables, si bé és cert que l'Ordre circular 40/2017 obre la possibilitat a l'aplicació de capes de microaglomerat com a capa de rodament en vies de baixa intensitat de trànsit.



La definició de la secció va estar condicionada com hem esmentat perquè es va considerar necessari el tractament del ferm existent, amb un nivell de fissuració elevat, i pel fet que les limitacions pressupostàries i de contorn feien descartar el fresat i reposició amb mescla en fred. L'aplicació de la solució, incloent l'estesa d'una capa ultrafina va permetre el sanejament del ferm existent tot mantenint la capacitat estructural de la via i aconseguint un grau adequat de regularitat superficial, tot considerant la reduïda capacitat de correcció que implicaria l'estesa de la capa de rodament tipus MICROF. A més, es va preveure que una vegada esgotada la vida útil de la capa de microaglomerat, la capa ultrafina pogués fer funcions de capa de rodament, sense deixar exposada la capa de reciclat.

AUTL 8

L'aplicació d'una mescla ultrafina és també innovador, pel fet que el desenvolupament del marc normatiu que regularà la seva aplicació és actualment en curs i pel fet d'aplicar un espessor reduït després del reciclat en fred. La selecció de la mida màxima nominal 8 es va fonamentar en la major capacitat d'aquesta respecte a l'11, per corregir la regularitat superficial del ferm.

Disseny de les mescles

Reciclat en fred amb emulsió

Per a la correcta execució del reciclat en fred, és fonamental un disseny escaient de la solució, fonamentat en un estudi previ del paviment a reciclar i en la definició d'una formulació adequada de la mescla, tot seleccionant una emulsió compatible.

La caracterització del ferm existent es va realitzar en diverses fases segons el procediment següent:

1. Estudi de dades prèvies i inspecció visual, per tal de definir trams amb comportament potencialment diferencial.

Es va realitzar una anàlisi de les dades prèvies sobre el paviment a partir dels informes sobre testimonis disponibles. Es disposava de fotografies dels testimonis que permetien extreure informació sobre el nombre i tipus de capes i sobre l'espessor d'aquestes, però no hi havia coherència entre les imatges i les dades reportades, pel que es va pensar en un possible problema de traçabilitat.

En una primera visita a obra es van extreure testimonis en ubicacions molt properes a les de la primera campanya, per aclarir aquest punt, i això va permetre traçar correctament els individus.

A partir dels testimonis previs i els extrets en aquesta campanya es va determinar l'existència de dos trams potencialment diferents. En el primer, ubicat en pk 0 a pk 3+000, es disposava d'una secció de gruix considerable d'asfalt que feia viable el reciclat dels 6 cm superiors.

S'estima des d'aquest punt fins al pk 8+595, per sota de la capa d'asfalt existent es localitza una capa d'una mescla oberta no cohesionada, probablement un tractament superficial, que requeria la seva total inclusió en la capa de reciclat, per garantir el treball solidari de les capes en el ferm rehabilitat.



2. Extracció de material del ferm existent per a la seva anàlisi i definició de zones homogènies

L'extracció del material es realitza mitjançant l'ús de maquinària d'obra tot cercant les condicions d'execució que permetin disposar d'un material de les característiques el més similars possibles al que serà obtingut durant el procés d'execució de l'obra.



Imatge 5. Detall de dues dels sondatges executats

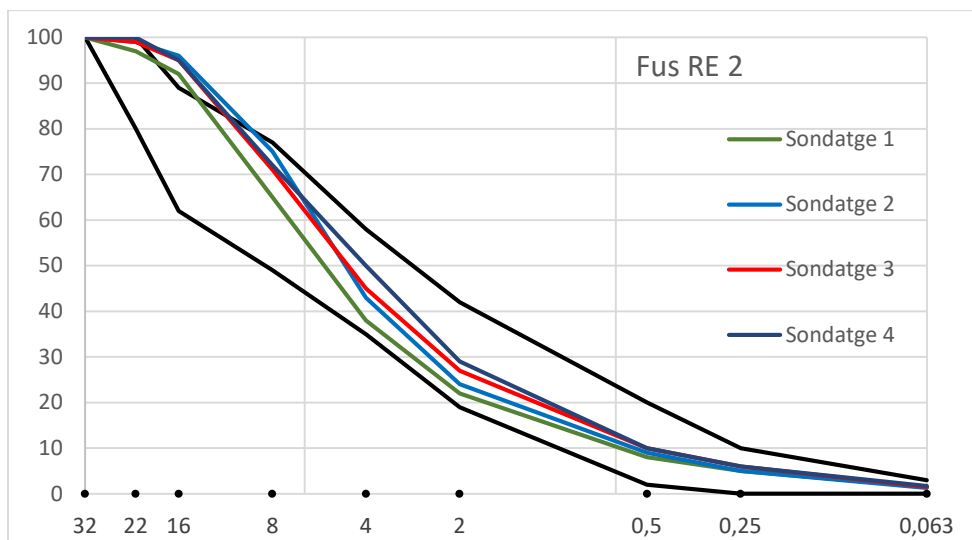
El material enretirat va ser homogeneïtzat i reduït, tot garantint la representativitat fins assolir una massa d'assaig que permetés la caracterització. Els assaigs executats inclouen la caracterització de la granulometria del material fresat, la determinació del contingut de lligant del material, i les característiques del lligant recuperat.

Per tal de caracteritzar el lligant recuperat, es va realitzar la seva extracció mitjançant dissolució amb un dissolvent volàtil (Diclorometà), i posteriorment es va recuperar el lligant per destil·lació en condicions de baixa pressió, per evitar oxidació del lligant.

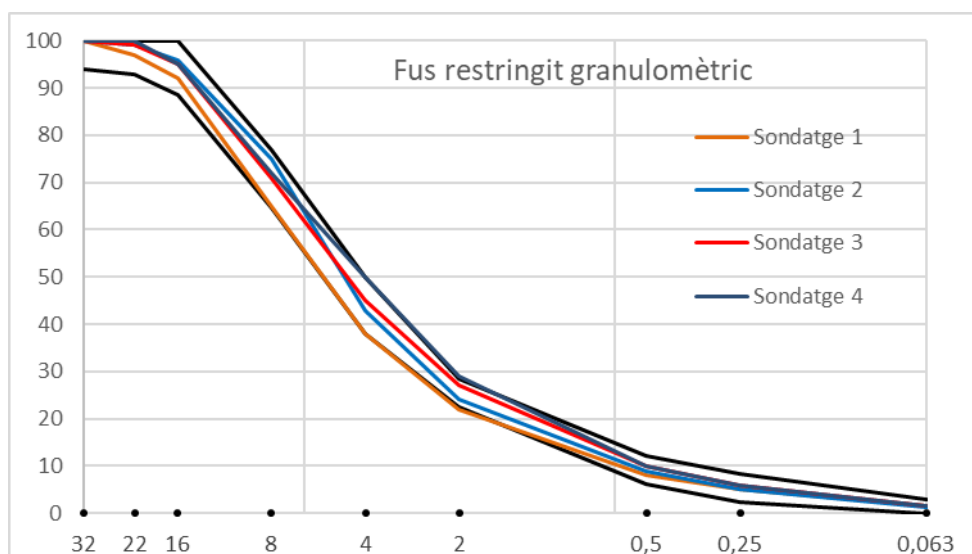
Les dades assolides pels materials caracteritzats foren les següents:

Garbell	RE 2		Sondatge 1	Sondatge 2	Sondatge 3	Sondatge 4	Mitjana	Límits
32	100	100	100	100	100	100	100	+/- 6
22	80	100	97	99	99	100	99	
16	62	89	92	96	95	95	95	
8	49	77	65	75	71	72	71	
4	35	58	38	43	45	50	44	
2	19	42	22	24	27	29	26	+/- 3
0,5	2	20	8	9	10	10	9	
0,25	0	10	5	5	6	6	6	
0,063	0	3	1,5	1,3	1,5	1,7	1,5	+/- 1,5
Contingut de lligant			4,53	4,26	4,20	4,26	4,3	*
Penetració			25	20	9	2	14,0	*
Temperatura de Rebliment Anell i Bola			59,5	63,7	79,2	>90	67,5	*

Taula 2. Caracterització del material a reciclar



Imatge 6. Representació de la granulometria del material a reciclar



Imatge 7. Representació de la granulometria del material a reciclar en fus restringit per valorar l'homogeneïtat del material

Tot i que tots els paràmetres avaluats que disposen de criteri definit per a la valoració de la homogeneïtat no indicaven la necessitat d'avaluar dues tipologies de mescla, les diferències observades en les característiques del lligant residual van conduir a la definició de dos lots.

Per facilitar l'operativa durant l'execució de l'obra, es va tractar de dissenyar una formulació única per al reciclat, que permetés obtenir una mescla reciclada adequada a partir dels materials de les dues naturaleses identificades.

El primer pas per a la determinació de la fórmula de treball fou el disseny de l'emulsió. Es van considerar dos aspectes claus:

- **El grau d'envelliment del lligant recuperat:** Els valors de penetració i anell i bola mostraven un elevat grau d'envelliment. L'aportació de lligant d'aportació es realitzaria de manera moderada, ja que una aportació elevada d'emulsió comprometria la sostenibilitat econòmica de la solució i comprometria l'estabilitat del ferm. Es va considerar doncs escaient la inclusió d'agents rejuvenidors en el lligant de l'emulsió, que contribuïssin a recuperar l'equilibri del lligant, finalment present en la mescla.
- **Execució en període estival:** Les elevades temperatures del paviment i la resta d'elements que intervenen en el procés de reciclat propicien un trencament de la emulsió més ràpid que deixa menys marge de maniobra per a l'adequada estesa i compactació de la mescla, podent condicionar l'acabat pel que fa a la regularitat i la densitat de la mescla obtinguda. Va valorar-se, doncs, la necessitat de disposar d'una emulsió que garantís maximitzar el treball de la mescla en el moment de la seva execució.

A més, es va considerar adequada la inclusió d'agents biolligants que contribueixen a l'increment de la cohesió de la mescla final i milloren l'adherència del nou lligant sobre el material granular reciclat.

La fabricació de diferents emulsions bituminoses i el tanteig previ d'aquestes, tot fabricant mescla reciclada, va permetre la selecció prèvia d'una emulsió bituminosa a partir de la qual es va passar a la determinació del percentatge d'aportació òptim dels diferents ingredients, a partir de la caracterització amb assaigs mecànics.

L'emulsió seleccionada disposava de les prestacions següents:

Características	Unidades	Norma	Especificación		
			Min.	Máx.	
Características de la emulsión					
Polaridad de las Partículas		UNE EN 1430	Positivo		
Contenido de ligante	Por contenido de agua	%	UNE EN 1428	58	62
	Por destilación		UNE EN 1431	58	-
Contenido de aceite destilado	%	UNE EN 1431	-	≤2	
Tiempo de fluencia, 2 mm a 40°C	s	UNE EN 12846	15	70	
Residuo de tamizado	tamiz 0.5 mm	%	UNE EN 1429	-	≤ 0.1
Índice de ruptura	-	UNE EN 13075-1	≥ 170		
Tendencia a la sedimentación (7 días)	%	UNE EN 12847	-	≤10	
Adhesividad	% cubrición	UNE EN 13614	≥90		
Características del ligante recuperado por evaporación (EN 13074-1)					
Penetración	0.1 mm	UNE EN 1426	≤ 220		
Punto de reblandecimiento	°C	UNE EN 1427	≥38		

Taula 3. Característiques de l'emulsió bituminosa per a reciclat en fred in situ

Pel que fa al disseny de la fórmula de treball del reciclat en fred, es va tenir en compte la normativa 8/2001, que havia estat el marc regulador de l'aplicació de tècniques de reciclat en obres de conservació fins a l'aparició de la OC 40/2017. Segons la versió 2001, la determinació de la fórmula de treball preveia:

1. Determinació del contingut d'aigua a partir de la dada de % d'humitat òptima establerta mitjançant assaig de *Proctor* modificat sobre el material fresat
2. Determinació del contingut òptim a partir de l'assaig a immersió compressió de provetes fabricades i assajades segons la norma NLT-162, després d'un període de curat de 3 dies a 50°C, garantint els resultats següents:

TABLA 20.2 – VALORES MÍNIMOS DE RESISTENCIAS EN INMERSIÓN-COMPRESIÓN (NLT-162)

CATEGORÍA DEL TRÁFICO PESADO	EN SECO (MPa)	TRAS INMERSIÓN (MPa)	CONSERVADA (%)
T1 (sólo capas de base) y T2 y (*)	3	2,5	75
T3, T4 y arcenes	2,5	2	70

(*) Vías de servicio no agrícolas de autopistas y autovías interurbanas.

Imatge 8. Detall de requisits exigits en OC8/2001 per a disseny de mescles RFE

La revisió del any 2017 aporta un seguit de canvis en l'annex referent a reciclat de mescles en fred i, concretament per al disseny, implica diferents canvis:

- Compactació de provetes amb compactació giratòria, definint el nombre de cicles en funció de la corba del reciclat.
- Curat equivalent a les condicions de la versió anterior.

-Trencament amb tracció indirecta a 15°C, segons norma 12697-12, requerint els següents resultats:

TABLA 20.3 VALORES MINIMOS DE RESISTENCIA EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA (norma UNE-EN 12697-12)

CATEGORIA DEL TRÁFICO PESADO	RESISTENCIA MEDIA (MPa) (**)		RELACIÓN DE RESISTENCIA (ITSR) (%)
	SECA (ITS _d)	HÚMEDA (ITS _w)	
T1 (CAPAS DE BASE) T2 Y (*)	1,7	1,3	75
T3, T4 Y ARCENES	1,2	0,9	70

(*) Vías de servicio no agrícolas de autopistas y autovías interurbanas.

(**) Sobre un número de probetas no inferior a tres (≥ 3) para cada tipo de resistencia.

Imatge 9. Detall de requisits exigits en OC40/2017 per a disseny de mescles RFE

Des de l'aparició de la revisió l'any 2017 es van realitzar nombrosos contrastos dels dos sistemes de disseny per part de diferents laboratoris de les organitzacions que fabriquen, executen o controlen la qualitat de reciclats en fred. Aquests estudis van revelar que en cap cas era possible assolir els valors mínims de resistència requerits en la taula 20.3, per part de mescles que s'ajustin a la definició de mescles reciclades en fred, segons els paràmetres establerts per la mateixa normativa.

En conseqüència, des de l'Associació Tècnica d'Emulsions Bituminoses es va constituir un grup de treball, coordinat per Sorigué, per elaborar una proposta sectorial consensuada per a la revisió de la metodologia i que pogués ser d'utilitat per a la revisió de la normativa.

A data d'avui, s'han realitzat tasques de contrast entre laboratoris, per a diferents mescles reciclades, per tal de validar la proposta elaborada i s'ha traslladat proposta sectorial per a la revisió de la normativa. Mentrestant, i per a l'execució del projecte, es va mantenir el mètode de disseny contemplat en versió de l'any 2001 de l'ordre circular.

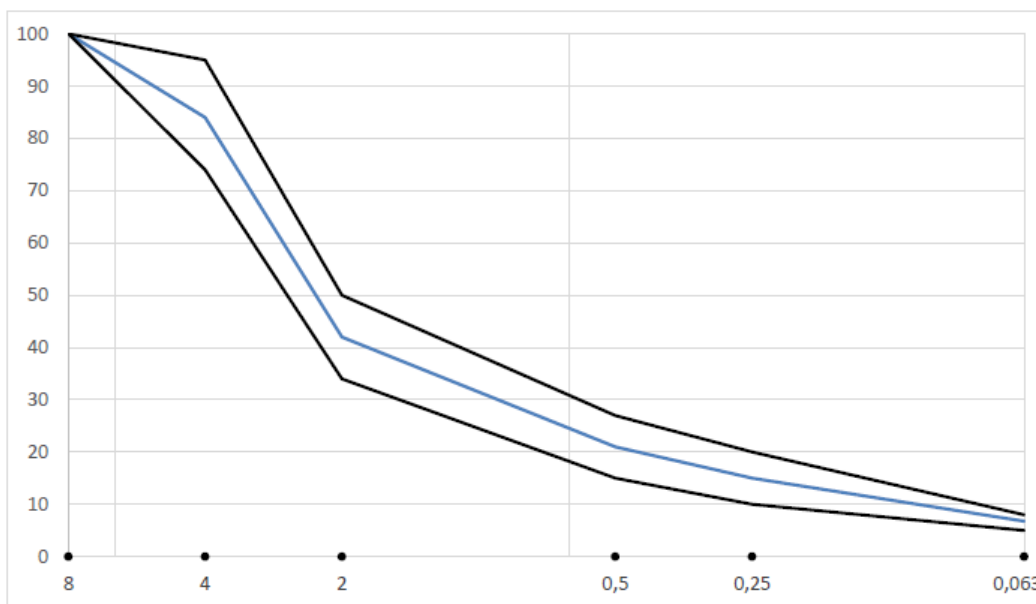
Per a la validació de la fórmula de treball va ser caracteritzada la resistència conservada de la mescla amb diferents continguts d'emulsió, considerant el contingut òptim el 3,3% d'emulsió aportada sobre àrid.

Els resultats de resistència assolits per als materials de les tres procedències foren els següents:

GRANULOMETRIA DELS ÀRIDS COMBINATS

GARBELL	% PASSA
8	100
4	84
2	42
0,5	21
0,25	15
0,063	6,8

FUS	
100	100
74	95
34	50
15	27
10	20
5	8



Imatge 10. Granulometria de disseny de la mescla AUTL 8

El lligant emprat va ser un betum modificat tipus PMB 45/80-65 en una dotació de 5,8% en massa, sobre mescla, i es va avaluar la sensibilitat a l'aigua de la mescla segons la norma UNE-EN 12697-12 i la resistència a la deformació permanent mitjançant l'assaig UNE-EN 12697-22, obtenint uns resultats respectivament de 91,1% i 0,061 mm/1000 cicles. No disposant de valors normalitzats de referència i, considerant els requerits per a les mescles tipus BBTMA, es va validar el disseny.

Microf 6

Per a la formulació de la mescla, partint dels dos materials anteriorment esmentats, es va procedir en primera instància a la determinació del percentatge d'aportació òptim de ciment, aigua i additiu.

El sistema de definició de la formulació preveu per tanteig trobar l'equilibri òptim entre els components, per tal d'assolir un adequat grau d'envolta, una ruptura "neta" de l'emulsió, un temps de treball escaient i una cohesió a curta edat satisfactòria.

Per als valors establerts com a òptims, es procedeix a l'execució dels assaigs de disseny previstos en el capítol 540 de PG-3:

Consistència

L'assaig de consistència (segons norma UNE-EN 12274-3) ens serveix per avaluar si la formulació seleccionada disposarà de treball suficient, en els instants posteriors a la seva fabricació, per tal de ser estesa d'una manera uniforme, donant cobertura a tota la superfície a tractar i sense generar problemes d'arrossegament que es traslladin en irregularitats superficials. Alhora, ens permet garantir que la fluència no serà excessiva i podrà regular-se la superfície coberta per la mescla, sense risc de pèrdua d'aquesta en els llindars de la superfície d'actuació.

Cohesió

L'assaig de cohesió (segons norma UNE-EN 12274-4) ens dona una idea del temps transcorregut des de la col·locació de la mescla fins a la seva posada en servei. És, doncs, un indicador del grau d'afectació al tràfic, especialment pel que fa a les interseccions i entrades a la via que no poden ser resoltes amb l'establiment de passos alternatius.

Abrasió

Finalment, la resistència a l'abrasió (segons norma UNE-EN 12274-5) ens dona idea de la resistència a la pèrdua de partícules que experimentarà la capa després de la seva posada en servei i ve condicionat per aspectes com la granulometria, dotació de la mescla i la cohesió material granular-ligant.

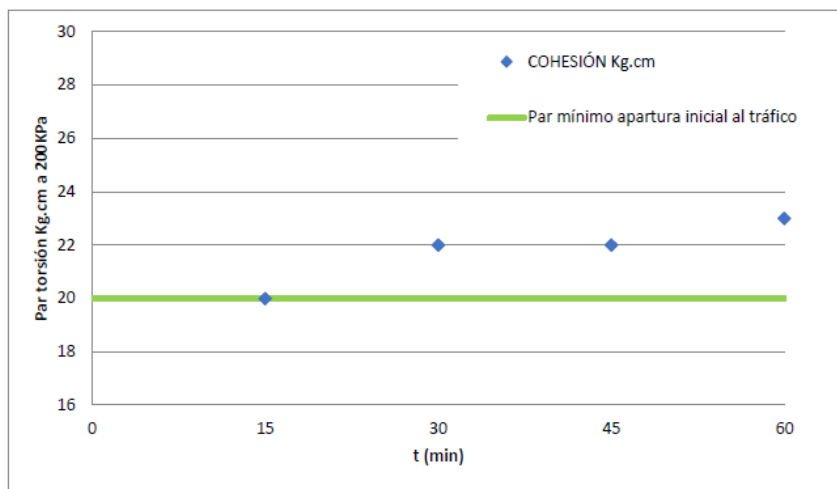
Es presenten, tot seguit, els resultats assolits per a la mescla per als paràmetres anteriorment definits.

FLUËNCIA(mm) UNE-EN 12274-3

Escolament de l'abeurada UNE EN 12274-3	mm
	12

COHESIÓ (min) UNE-EN 12274-4

t(min)	15	30	45	60
Par torsió (Kg.cm) 200KPa	20	22	22	23



DESGAST (g/m²) UNE-EN 12274-5

Pèrdua de l'abradió per vía húmida UNE EN 12274-5	g/m² 422
--	-------------------------------

ASSAIG	CATEGORIA TRAFIC PESAT			
	TO y T1	T2	T3 y arc	T4
DESGAST (g/m ²)	≤ 350	≤ 450	≤ 550	≤ 650

Valoració tècnica i ambiental de la solució

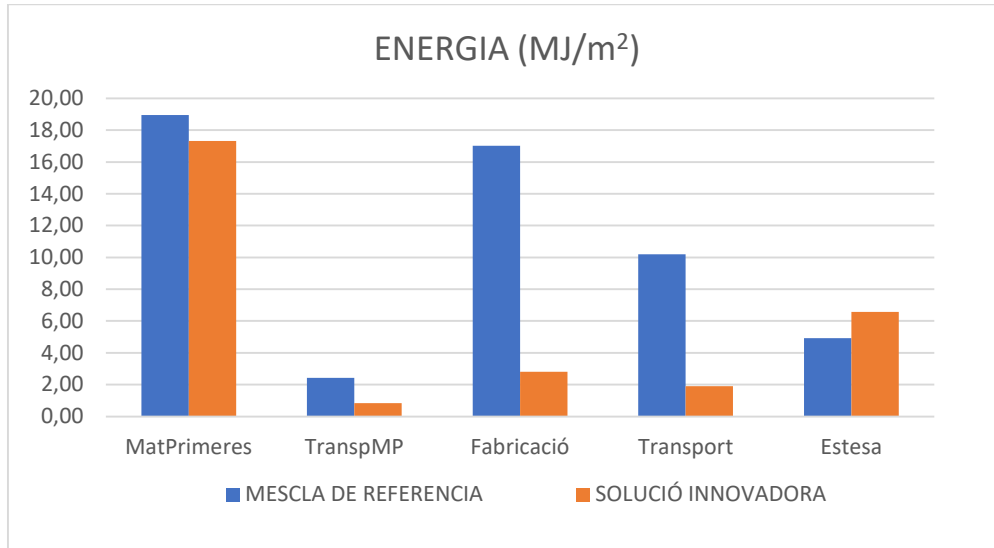
Un cop executats els treballs previs, l'execució de la solució innovadora va tenir lloc durant els mesos de juny i juliol de 2022. No es va detectar la necessitat d'ajustos significatius sobre la solució proposada si bé, com és habitual, les tècniques en fred requereixen d'ajustos en la quantitat de components aportats. És a dir, el percentatge d'aigua en el cas del reciclat i el percentatge de ciment, additiu o aigua en el cas del *Microf*. Cal considerar les elevades temperatures en els dies d'execució que dificultaven tant la pròpia aplicació d'aquestes solucions com el seu comportament en edats primerenques.

Sobre la solució innovadora executada es van realitzar assaigs d'auscultació a fi d'avaluar l'afectació sobre les prestacions finals proporcionades a la carretera que van permetre garantir el compliment dels valors exigibles pel tipus de capa i via.

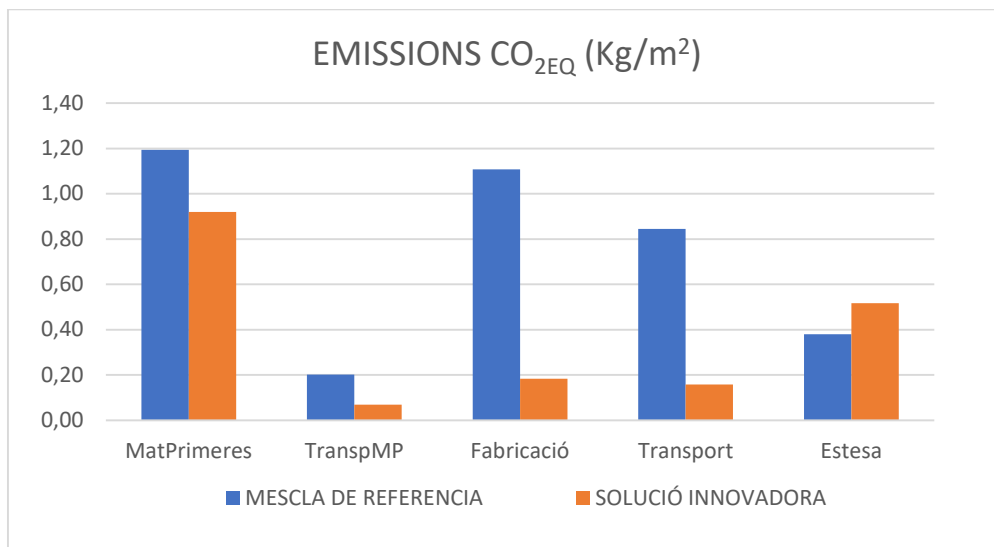
Adicionalment, transcorreguts dos mesos des de l'execució, es va realitzar una visita de seguiment a fi d'avaluar l'estat de la via, observant en general un resultat molt favorable, amb absència d'exsudacions, delaminacions, roderes, o marques lineals.

Des del punt de vista ambiental, l'aplicació de la solució, que inclou mesclades fabricades en fred i una d'aquestes a més, in-situ, representa una clara millora respecte a solucions alternatives.

Durant la redacció del projecte, es va elaborar un estudi comparatiu sobre el consum d'energia associat a la fabricació de la mescla innovadora i la de referència (fresat i reposició de 5 cm amb AC16 SURF S), que va concloure les següents dades estimades:



Imatge 11. Representació de la valoració ambiental de la solució innovadora respecte a la solució de referència pel que fa a la demanda energètica per m² d'intervenció



Imatge 12. Representació de la valoració ambiental de la solució innovadora respecte a la solució de referència pel que fa a emissions de CO_{2eq} per m² d'intervenció

La comparativa en consums i emissions és desfavorable si referenciem en tones, però la menor quantitat de dotació per m² requerit per a aquesta solució fa poc representativa aquesta ràtio i es considera més escaient la comparativa per superfície intervinguda. Cal considerar, però, l'aportació estructural que suposa l'aplicació de la solució alternativa respecte a la innovadora, especialment en els trams on l'espessor del reciclat és de 10 cm. Una anàlisi que inclogués la consideració de la durabilitat de la capa i del ferm en el seu conjunt, així com de la necessitat posterior, ens permetria una perspectiva completa sobre la millora global que representa aquesta solució.



Durant l'execució de l'obra han estat registrats consums de materials i hores de maquinària a fi d'obtenir una dada més fidel pel context real de l'obra, obtenint una lleugera millora respecte a les dades reportades en fase de projecte.

Conclusions

L'execució de l'obra ha permès testar en condicions reals l'execució d'una mescla de microaglomerat en fred sobre la que s'han previst millores en el disseny pel que fa a granulometria, procedència del material granular i característiques del lligant emprat. A més, aquesta capa innovadora forma part d'una secció també innovadora, en incloure un espessor inferior a 2 cm de mescla en calent. Els resultats assolits evidencien la consecució dels objectius en la fase actual, havent atès a les millores requerides pel context de l'obra i emprant solucions adequades al requeriment del plec de prescripcions.

La solució ha permès assolir millores en les prestacions superficials de la carretera pel que fa a regularitat, macrotextura i fregament, a la vegada que han permès protegir les prestacions estructurals de la carretera en actuar sobre les fissures existents en el ferm, que facilitaven l'accés de l'aigua a les capes de base.

Alhora, des del punt de vista ambiental, s'ha evidenciat una millora significativa en la fase constructiva per l'ús de la solució innovadora respecte a la mescla de referència, que ha permès un estalvi de l'ordre d'un 50% d'estalvi de les emissions.