



## **Microaglomerats en fred eco-innovadors**

Mar Subarroca Gella, Sorigué

Marta Domènech Miquel, Sorigué

Aida Garcia Boria, Sorigué

Antoni Conejero Cárcerles, Servei Territorial de Carreteres de Girona, del Departament de Territori

### **Introducció**

En el marc del contracte de compra pública d'innovació gestionat per la Generalitat de Catalunya, la empresa SORIGUÉ S.A. ha dut a terme la redacció del projecte i l'execució l'obra MILLORA DEL FERM A LA GI-612, DEL PK 0+000 AL 8+026. TRAM: EL PORT DE LA SELVA-LLANÇÀ (Clau SC-CFC-19027.5). 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'una mescla eco-innovadora designada MICROF 6 R60 C60BP4 MIC BIO. La principal innovació introduïda correspon a la inclusió de material fresat en una taxa del 60 % 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 a l'entorn i funcionalitat de la via sobre on s'aplicava la innovació.

En concret, com a condicions particulars, es definia la necessitat 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 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 del contorn de l'obra. Per 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. El sobrecreixement de la capa en aquesta espessor resultava un problema pel fet que en un dels laterals de la via se situa una cuneta trepitjable que no admet sobre-gruix, i en l'altre lateral es presenten accessos amb fort desnivell transversal que tampoc admeten increments de cota. Les limitacions pressupostàries no permetien considerar tampoc fresats i reposicions.



La solució microaglomerat en fred sí permetia adaptar-se a les limitacions pel que fa al recreixement provocat per la seva aplicació, considerant la reduïda dotació de la mescla a estendre en comparació amb les solucions alternatives.

Pel que fa a les condicions del contorn de l'obra van ésser considerats altres condicionants com l'afectació a l'usuari, el traçat i la geometria de la via i el seu estat inicial.

La carretera GI-612 connecta la població de Llançà amb Port de la Selva. Té una longitud de 8.026, un ample mig de 7,25 m i està formada per una sola calçada amb dos carrils de circulació. La carretera presenta un traçat sinuós i generalment pla. Existeix un gran nombre d'accessos connectats a la via, la velocitat de circulació mitja és baixa i és freqüent que calgui intervenir efectuant traçats de reduït radi de curvatura.

La mescla bituminosa del ferm existent està formada per mescles bituminoses en calent i s'evidencia que s'han realitzat diverses campanyes d'apedaçats. També resten en el paviment testimonis de l'aplicació d'una capa de microaglomerat.

Els vehicles més comuns que hi circulen, són turismes i petites furgonetes. Segons les dades publicades en l'informe del Pla d'Aforaments de l'any 2020 del Departament de la Vicepresidència i de Polítiques Digitals i Territori, ens indica que tenim una IMD de 3.319 veh./dia, a l'any 2013, amb una taxa de pesats del 3.95 %. La categoria de trànsit de la via és, per tant, T 32.

Pel fet d'estar situada en una zona amb gran activitat turística, el tràfic de vehicles s'incrementa en gran mesura en època estival. Aquest condicionant i les dates límits per a l'execució de l'obra fixa la necessitat d'execució en una finestra temporal reduïda.

Amb relació a la necessitat d'intervenció de la via, s'havien realitzat estudis de caracterització previs per identificar l'estat, pel que fa a regularitat superficial, textura i grau de fregament. També estructuralment, es disposava d'estudis previs sobre la deflexió del paviment.

Pel que fa a la regularitat superficial, els resultats disponibles marcaven valors de irregularitat elevats. L'assaig previ realitzat en data 27 de març de 2020, ofería un resultat de 3.41 de valor mitjà per al carril dret i de 4.44 per al carril esquerre, això suggeria la necessitat d'intervenció en la millora d'aquest paràmetre.

Tot i això, la inspecció visual prèvia va evidenciar que la carretera es trobava en un estat geomètric acceptable i que no presentava deformacions importants ni longitudinalment ni transversalment.

Pel que fa als valors de macrotextura i coeficient de lliscament, es disposava d'estudis previs que indicaven valors de coeficient de lliscament en general superiors a 50 i macrotextura mesurada amb texturòmetre làser superior a 0,5.

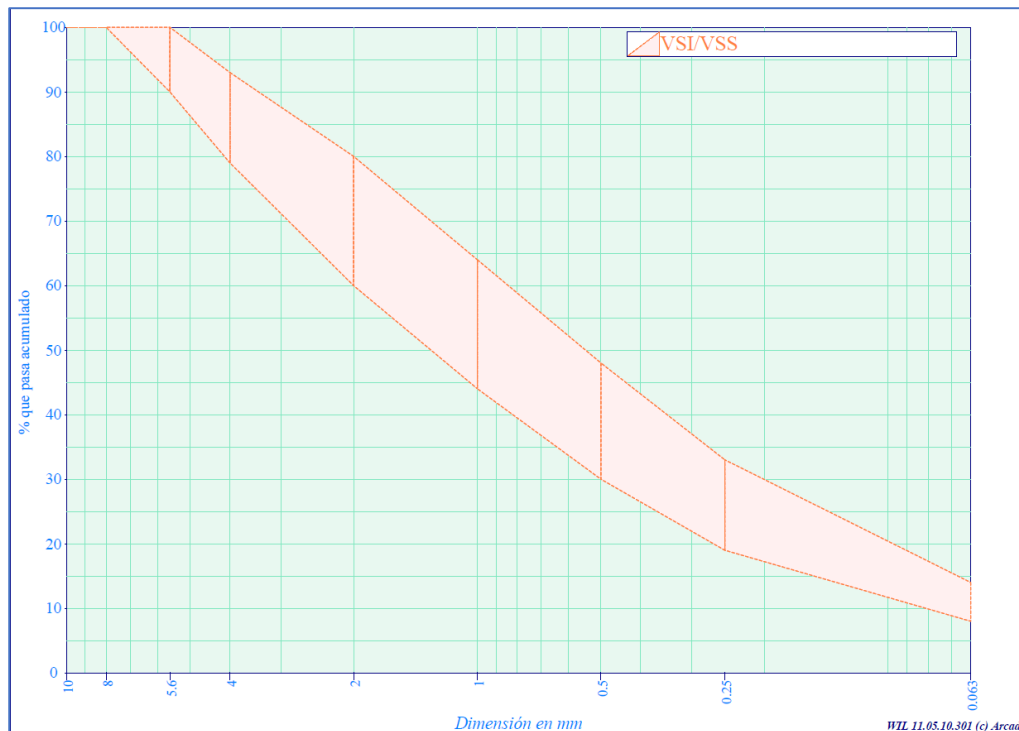
En relació amb l'estat estructural de la via, es disposava d'un estudi previ de deflexions que mostrava un nivell de deflexions elevat, però que en un 90 % dels casos no implica la necessitat de rehabilitació estructural per a un ferm d'aquesta tipologia i tipus de trànsit suportat. En inspecció visual, de manera resumida, es pot definir que en els trams on no s'ha actuat en les campanyes d'apedaçats hi ha un 40 % de superfície afectada per fissuració, en bona part transversal, en un 20 % d'esquarterament i un 10 % de deformació. A més, s'identifiquen 21 punts amb patologies que fan prescriure l'actuació per a la seva rehabilitació en forma d'apedaçats.

## **Definició de la solució**

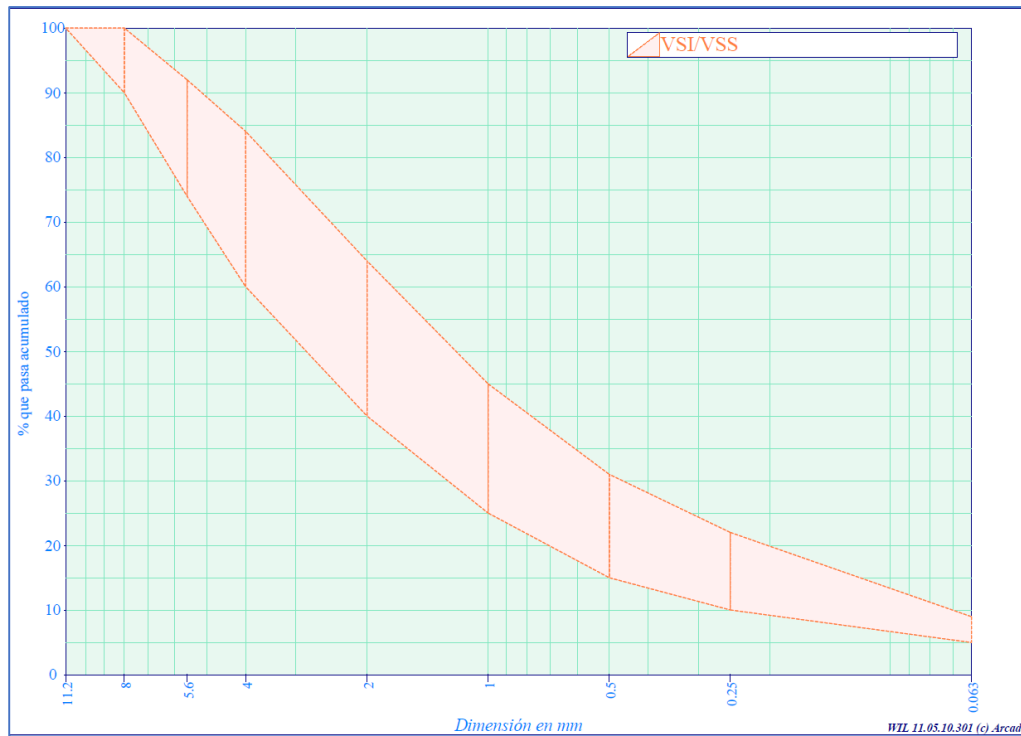
A més de les actuacions puntuals en les zones objecte d'apedaçat indicades en el punt anterior, es projecta i executa l'estesa de dues capes de microaglomerat en fred. El caire innovador de les mescles dissenyades preveu contribuir-ne a la millora per diverses vies.

Una de les variacions proposades és la definició del fus granulomètric a emprar. La definició d'aquest es fonamenta en la definició d'un fus intermedi entre les solucions 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 macrotextura assolit en el cas d'aplicació de les dues capes per 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.

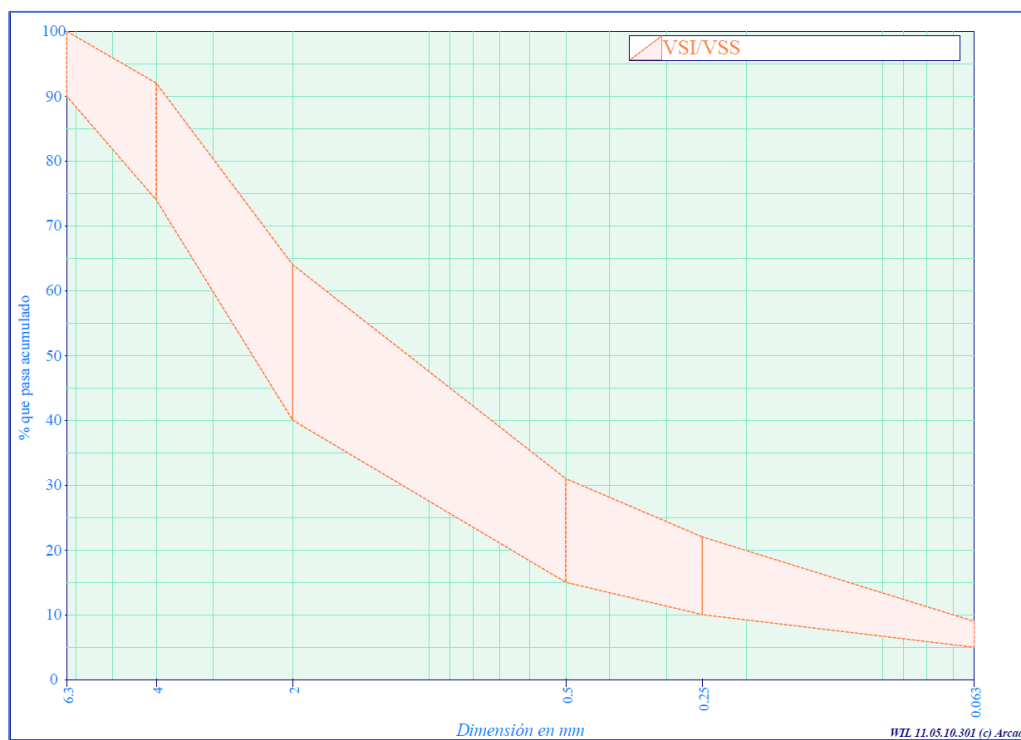
Com a disseny millorat per a l'aplicació de la solució es proposa la definició d'un fus que millori les prestacions de les opcions existents en el marc normatiu actual. Amb aquesta finalitat, es preveu l'aplicació d'una mescla amb una granulometria més similar a l'habitual de MICROF 8 en la part fina del fus, però limitant la mida màxima nominal emprada.



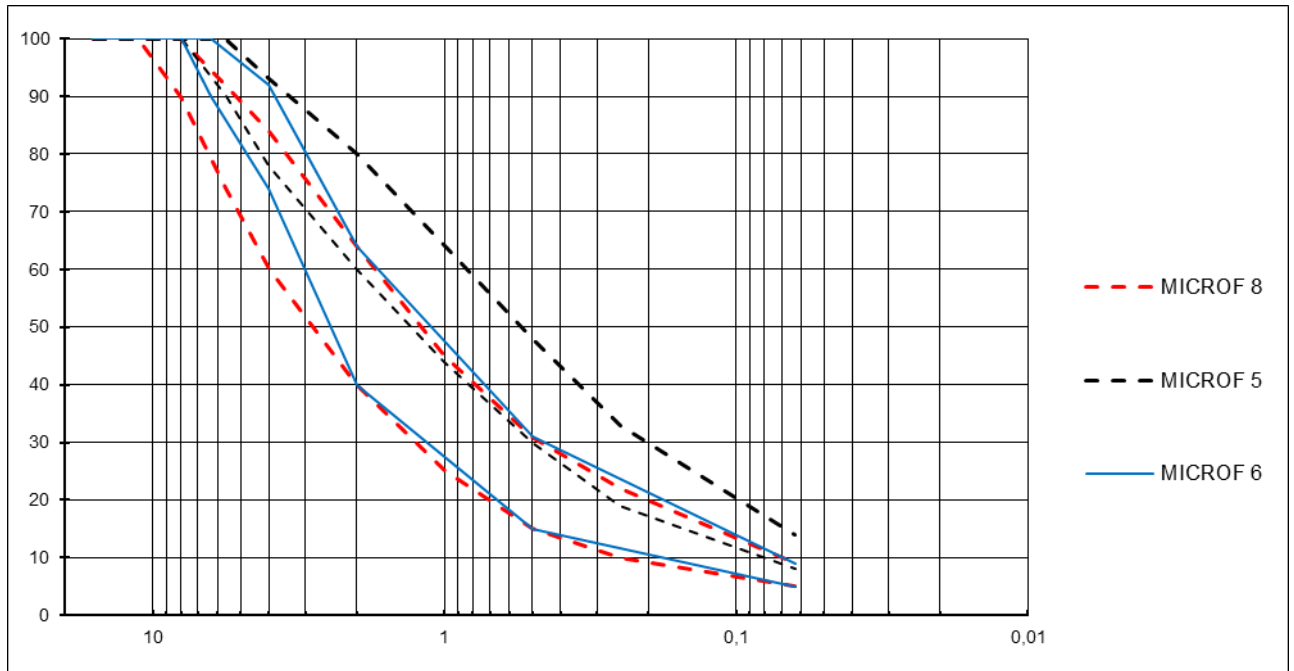
Imatge 1. Fus granulomètric MICROF 5 (Article 540 PG-3)



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



Imatge 3. Fus granulomètric MICROF 6 emprat com a solució innovadora



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

Un altre aspecte considerat és l'aplicació de material fresat condicionat en la fabricació de la mescla. La justificació de la millora aportada per aquesta aplicació es fonamenta en la minimització del volum de residus generats en les actuacions de rehabilitació de ferms, tot considerant que el material no és considerat un residu inert. D'altra banda, l'aplicació del material fresat permet disposar d'un àrid que disposa d'una cobertura de lligant bituminós que permetrà reduir la quantitat de lligant, que serà absorbit per l'àrid i, a més, es garanteix una perfecta compatibilitat del lligant contingut en l'emulsió i el material granular lacat. Aquest punt és especialment rellevant en un context on els àrids disponibles de la zona presenten una especial dificultat per assolir el compliment simultani de les prestacions mecàniques de l'àrid i l'adequada afinitat amb l'emulsió.

Amb l'objectiu de definir la granulometria efectiva de la mescla quan es compta amb la incorporació de mescla asfàltica recuperada, es considera que la viscositat del lligant del material asfàltic recuperat a temperatura ambient no permetrà la seva mescla real amb el lligant aportat a diferència del que passa en les mescles de reciclat en calent. En conseqüència, la granulometria de la mescla cal que sigui valorada sobre el material granular i no sobre els àrids recuperats de la mescla final fabricada.

Com a tercera innovació, es dissenya per a la fabricació de la mescla una emulsió bituminosa innovadora que disposa com a principals característiques l'aportació de polímers al betum que li conferirà unes propietats reològiques diferencials. Aquest aspecte i també l'aportació d'un biolligant d'origen vegetal estan formulats a fi de contribuir a l'increment de la cohesió i la resistència a l'abrasió de la mescla final.

## Disseny de la mescla

### Material granular

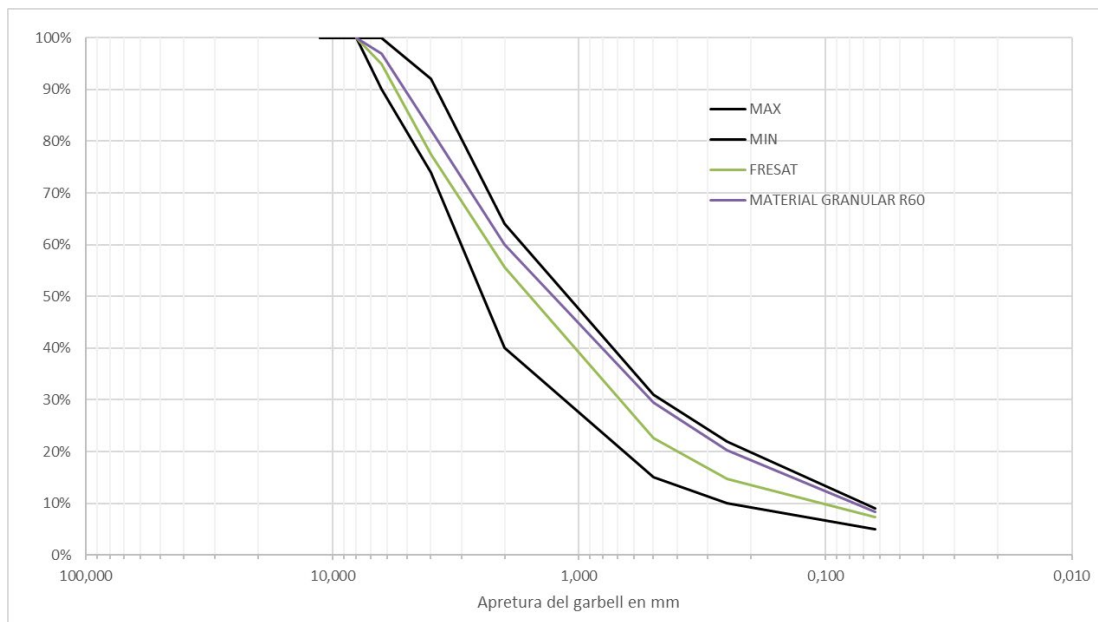
L'objectiu del disseny preveia la inclusió de material fresat com a element majoritari en la composició del material granular.



Com a aspectes considerats a l'hora de definir la composició i el sistema de condicionament del fresat es va tenir en compte la necessitat de garantir el compliment de requisits del material mineral pel que fa a les prestacions exigides típicament als materials emprats per a la confecció de microaglomerats. Cal tenir en compte que la valoració d'aquests aspectes sobre el material fresat no és possible en la fracció que serà emprada i no compta amb equivalent en la seva fracció normativa. Aquest és el cas de les característiques relatives a la resistència a la fragmentació i al desgast. Altres variables relacionades amb la forma presentaran unes prestacions diferenciades i típicament millorades sobre les prestacions de l'àrid originalment emprat en la fabricació de mescles.

Per aquests motius, i a fi de garantir la qualitat i la homogeneïtat de la mescla, el criteri establert per garantir la qualitat de l'àrid emprat és la fabricació del material granular a partir d'un material asfàltic recuperat d'una única procedència, que garanteixi el compliment de requisits exigits als àrids a emprar en capes de rodament. Amb aquesta finalitat, es va seleccionar i retirar, tot garantint la traçabilitat, l'origen del material destinat a la fabricació del material final.

Per tal de garantir l'encaix granulomètric dins del fus proposat i a fi de disposar d'un major grau d'homogeneïtat, el material va ser processat sotmetent-lo a molturat i garbellat. La granulometria del material fresat obtingut va ser caracteritzada i es va definir la formulació escaient per a la seva combinació amb material granular no reutilitzat, resultant una dosificació del 60 % de material fresat vs 40 % de material granular.



Imatge 5. Granulometria del material granular seleccionat

El material granular d'aportació emprat és una fracció T-0/3 d'origen granític. La caracterització del material gruixut garanteix les prestacions exigides a l'àrid emprat en capes de rodament.

L'adequada execució de microaglomerats en el moment de fabricació i estesa de la mescla requereix d'una consistència en la mescla que permeti un grau escaient de treballabilitat. Aquesta propietat vindrà condicionada pel temps de trencament de l'emulsió, i a la vegada aquesta propietat dependrà de les característiques intrínseques d'aquesta, però també d'altres condicionants com la climatologia i, en gran mesura, la tipologia i finesa del material amb el que entri en contacte en el moment de formació de la mescla. És especialment rellevant, doncs, garantir la uniformitat del material especialment pel que fa al contingut de fins.

A fi d'evitar la dispersió en contingut de fins del material, es va establir com a condició indispensable en la fabricació, la necessitat que la mescla dels dos components es realitzés abans de l'alimentació a molí, garantint una aportació equilibrada durant tot el procés de



fabricació i permetent que els processos de trituració i manipulació del producte contribuïssin a l'homogeneïtzació del material.

Un altre aspecte considerat en la fabricació va ser la humectació del material granular resultant. La contribució d'una taxa d'humitat propera a valors de l'1 % permet millorar l'envolta del material granular per part de l'emulsió en el moment de la fabricació, i és en la fase de fabricació del material quan es possible permetre garantir un nivell d'humitat més controlat i homogeni en tot el lot.

## Emulsió Bituminosa

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, a nivell tècnic 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'abrasió.

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 normals 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 a l'emulsió desenvolupada.

Características	Unidades	Norma	Especificación		
			Min.	Máx.	
<b>Características de la emulsión</b>					
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	-	
<b>Características del ligante recuperado por evaporación (EN 13074-1)</b>					
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

## Formulació de la mescla

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, a fi d'assolir un adequat grau d'envolta, una ruptura "neta" de l'emulsió, uns temps de treballabilitat escaients i una cohesió a curta edat satisfactòria.



Imatge 6. Detall d'aigua de trencament per a la formulació seleccionada

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 la treballabilitat 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.



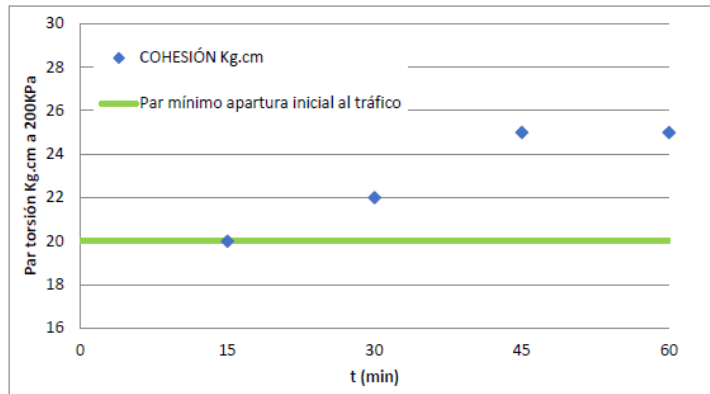


**FLUËNCIA (mm) UNE-EN 12274-3**

Escolament de l'abeurada UNE EN 12274-3	<b>mm</b>
	12

**COHESIO (min) UNE-EN 12274-4**

t (min)	15	30	45	60
Par torsió (Kg.cm) 200KPa	20	22	25	25



**DESGAST (g/m<sup>2</sup>) UNE-EN 12274-5**

Pèrdua de l'abració per via húmida UNE EN 12274-5	<b>g/m<sup>2</sup></b>
	75

ASSAIG	CATEGORIA TRAFIC PESAT			
	TO y T1	T2	T3 y arc	T4
DESGAST (g/m <sup>2</sup> )	≤ 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 entre els dies 5 i 19 de maig de 2022. No es va detectar la necessitat d'ajustos significatius sobre la solució proposada, tot i que, com és habitual, la dotació dels components ciment i additiu eren regulats en funció de les condicions ambientals, a fi de garantir un temps de curat de la mescla escaient.

Sobre la mescla executada es van realitzar assaigs d'auscultació per tal d'avaluar l'afectació sobre les prestacions finals proporcionades a la mescla.

Pel que fa a la regularitat superficial, com a resultat de l'actuació, i tot i la reduïda espessor de la capa aportada, s'assoleix una significativa millora en la regularitat superficial. Cal fer notar no

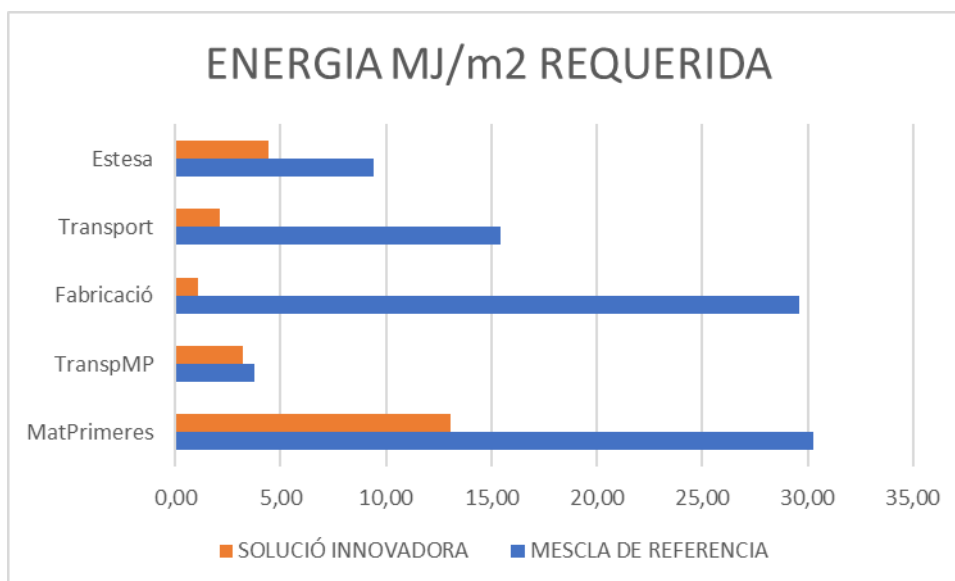
obstant, que les dades requereixen d'anàlisi i interpretació, ja que el traçat sinuós imposat a l'equip de mesura dificulta la correcta mesura.

Pel que fa a la textura de la mescla, la seva determinació segons UNE 13036-1 evidencia un canvi significatiu, assolint valors de macrotextura superiors a 1 mm de manera generalitzada i amb valors mitjans de 1,2 a 1,3 mm.

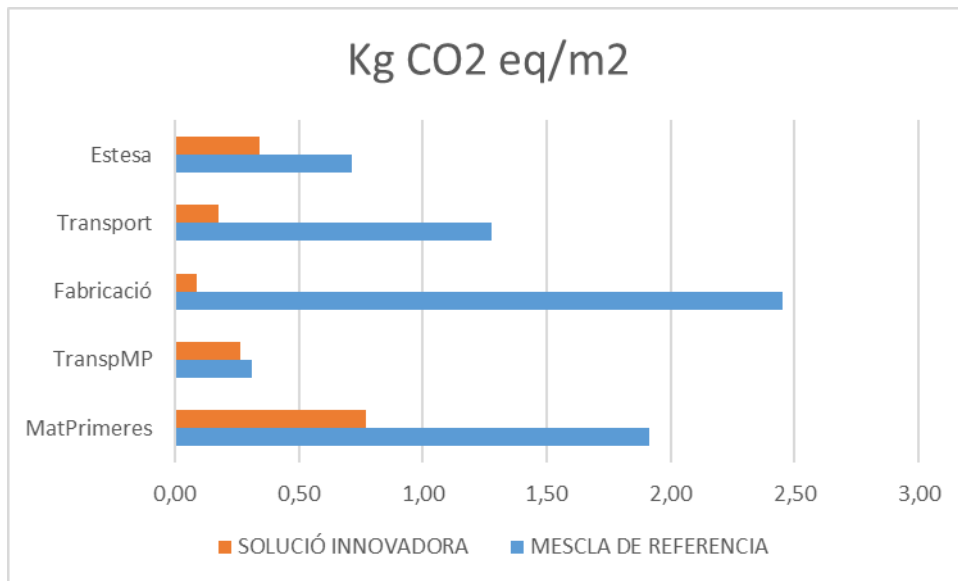
Com en el cas de l'Índex de regularitat, l'estudi i l'anàlisi de les dades reportades per l'assaig de lliscament transversal ha conclòs que el traçat, pels canvis en la trajectòria imposats a l'equip de mesura i per la velocitat de circulació per sota del valor normatiu, no permeten disposar d'un assaig de referència escaient. Tot i així, i avaluant de manera relativa els valors obtinguts abans i després de l'actuació, s'observa una millora en les prestacions. Aquest aspecte és confirmat també pels resultats de l'assaig de pèndul (NLT-175/98), el qual reporta valors de fregament corresponents a un coeficient de lliscament mitjà del 90 %.

Des del punt de vista ambiental, l'aplicació de la solució, fabricada en fred i in-situ representa una clara millora respecte a solucions alternatives. El fet que el material granular emprat inclogui l'aportació de material fresat valoritzat fa encara més favorable aquest balanç.

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 que va concloure amb les següents dades estimades:



Imatge 7. Representació de la valoració ambiental de les dues solucions de projecte pel que fa a demanda energètica per m<sup>2</sup> d'intervenció



Imatge 8. Representació de la valoració ambiental de les dues solucions de projecte pel que fa a emissions de CO<sub>2eq</sub> per m<sup>2</sup> d'intervenció

La comparativa en consums i emissions és desfavorable si referenciem a tones, però la menor quantitat de dotació per m<sup>2</sup> requerit per 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. Una anàlisi que inclogués la consideració de la durabilitat de la capa i del ferm en el seu conjunt, així com de la necessitat d'intervenció 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. Els resultats assolits evidencien la consecució dels objectius en la fase actual, havent atès 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 coeficient de fregament, a la vegada que ha 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.

Al mateix temps, des de el 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 75 % d'estalvi de les emissions.