



Mescla innovadora amb betum modificat amb cautxú procedent de pneumàtics fora d'ús (NFU)

Tomás Enfedaque Díaz, Pabasa Euroasfalt, SA

Albert Pérez Aceña, Aglomerats Girona, SA

Xavier Esgleas Tarifa, Parma Ingeniería, SA

Jaume Carbó Audí, Parma Ingeniería, SA

Xavier Blanco Pons, Servei Territorial de Carreteres de Girona, del Departament de Territori

Introducció

El Pla Sectorial de Ferms Sostenibles 2017-2021 de la Generalitat de Catalunya entra dins del Programa de Compra Pública d'Innovació (CPI), emmarcat en 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 per tal que aquests siguin més sostenibles mediambientalment i econòmicament. També és un objectiu donar una millor funcionalitat i seguretat viària als ferms de les carreteres.

Dins d'aquest pla, l'UTE formada per les empreses constructores AGLOMERATS GIRONA SA i PABASA EUROASFALT va ser adjudicatària d'un contracte de projecte i obra per dur a terme la millora del ferm i obres complementàries a la GI-514, del PK 0+000 al 6+989, Sant Julià de Ramis–Cornellà del Terri (SC-CFC-19027.08), amb la utilització de betums altament modificats amb cautxú procedent de pneumàtics fora d'ús (NFU).

Context

L'actuació oferta és la utilització d'una mescla altament modificada amb cautxú com a capa de trànsit per a la rehabilitació del ferm segons el projecte SC-CFC-19027.8 de "MILLORA DEL FERM I OBRES COMPLEMENTÀRIES A LA GI-514, DEL PK 0+000 AL 6+898. SANT JULIÀ DE RAMIS - CORNELLÀ DEL TERRI."

Amb aquest tipus de mescla bituminosa s'aconsegueixen els següents objectius:

- Les mescles asfàltiques fabricades amb cautxú tenen una major durabilitat, allargant la seva vida útil, reduint els costos de manteniment i, per tant, disminuint la necessitat d'execució de capes de reposició.
- Millorar notablement el comportament de la via davant de la reflexió i la propagació de fissures.
- Major resistència a les deformacions plàstiques degut a la seva alta viscositat i, per tant, endarrerint en el temps de l'aparició de roderes.
- Dotar al ferm d'una millor resistència a la fatiga.
- Reutilització i revaloració d'un residu produït en grans quantitats, altament contaminant i de gestió ambiental molt difícil, com són els pneumàtics fora d'ús
- Reduir la sonoritat de la via.



El tram de carretera objecte del projecte és una via convencional pertanyent a la xarxa bàsica secundària, amb categoria de tràfic T41 (IMD total de 1.471 vehicles dels que només 40 són pesats) de calçada única i dos carrils, un per cada sentit. La secció correspon a un ample aproximat de 7,00 m amb dos carrils de 3,5 m i sense vorals a excepció d'un tram inicial de 400 m i un final de 360 m que compten amb vorals d'1,5 m.

La carretera, que discorre entre explotacions agrícoles i ramaderes i algun petit nucli urbà, té una velocitat genèrica de 90 km/h i es troba limitada per senyalització vertical a 50 km/h en varis trams localitzats en zones de revolts i d'interseccions.

El tipus de ferm es correspon amb un ferm semi flexible format per mescla bituminosa sobre base granular. Segons la informació disponible, les capes bituminoses del ferm tenen un gruix mig d'uns 29 cm al llarg del tram objecte del projecte.

De la inspecció visual realitzada, s'han identificat els deterioraments següents:

- Ferm clivellat
- Fissures longitudinals i transversals
- Sots i pell de cocodrill
- Peladures

Com es va poder observar als testimonis extrets abans de l'actuació, l'estat de les capes d'aglomerat inferiors existents en els testimonis és bo i es mantenen sense fissures, disgregacions ni desgranats importants.

D'altra banda, segons es dedueix de l'informe de deflexions realitzat prèviament a la redacció del projecte, l'esgotament estructural no afecta a l'esplanada en cap zona i només en trams localitzats, cal realitzar una rehabilitació estructural per esgotament del ferm.

Definició de la solució adoptada

A la vista de l'estat original de la via, es projecta una rehabilitació estructural en trams localitzats amb un estat acusat de desgast estructural i valors de deflexió superiors a 150. També es va preveure la rehabilitació estructural a les zones que no presentaven elevats valors de deflexió, però sí que presentaven símptomes greus de deteriorament superficial de fissures i clivellament de malla gruixuda.

Aquests treballs de fresat i reposició del ferm, es realitzaren amb una espessor de 7 cm. La mescla emprada va ser una AC 22 Bin S amb betum 50/70 additivada amb un 8 % de cautxú sobre lligant total. L'additivació de cautxú es portà a terme mitjançant la utilització de l'additiu comercial RAR-X, additiu de cautxú predigerit.

Els PKs de l'abast d'aquesta actuació de rehabilitació estructural van ser els indicats a la taula següent, en una longitud de 2.250 m en el carril dret i de 2.150 m en el carril esquerre.



CARRIL DRET		
P.K.inici	P.K.final	longitud (m)
0+000	0+152	152,00
0+700	0+800	100,00
0+900	1+100	200,00
2+300	2+400	100,00
3+100	3+400	300,00
3+700	3+900	200,00
4+000	4+100	100,00
4+700	4+800	100,00
5+500	5+700	200,00
5+900	6+300	400,00
6+500	6+898	398,00
		2.250,00

CARRIL ESQUERRA		
P.K.inici	P.K.final	longitud (m)
0+000	0+152	152,00
0+700	0+800	100,00
0+900	1+000	100,00
1+500	1+600	100,00
1+800	1+900	100,00
2+300	2+600	300,00
2+800	2+900	100,00
3+100	3+400	300,00
3+800	3+900	100,00
4+700	4+800	100,00
5+000	5+100	100,00
5+500	5+700	200,00
6+500	6+898	398,00
		2.150,00

Els trams que no es van rehabilitar estructuralment van ser objecte d'un microfresat per millorar la regularitat IRI i l'adherència amb la nova rodadura, abans de l'estesa de la capa de trànsit.

Es completà la millora del ferm amb l'estesa en tota la longitud des del PK 0+000 fins el 6+898, i tota l'amplada de la carretera d'una capa de trànsit de 4 cm d'espessor, amb mescla innovadora tipus AC16 surf S amb betum 50/70 additivada amb un 12 % de cautxú sobre lligant total. L'additivació de cautxú es portà a terme mitjançant la utilització de l'additiu comercial RAR-X, additiu de cautxú predigerit.

Característiques de l'additiu a base de cautxú predigerit

L'ús de mescles asfàltiques modificades amb pols de pneumàtic ha sofert històricament diverses problemàtiques que han dificultat la seva utilització generalitzada. Aquestes han estat relacionades amb la dificultat d'emmagatzemament dels betums cautxú, fabricats per via humida, i amb la dificultat d'assegurar una digestió completa i homogènia del cautxú en mescles per via seca.

Durant els últims anys s'ha experimentat una gran evolució cap a nous sistemes de consum i aplicació de la pols de cautxú en mescles asfàltiques. Una via ha estat l'ús d'additius de pols de pneumàtic predigerit.

Aquests additius han permès vèncer les barreres de consum que existien i que dificultaven enormement l'ús d'aquests asfalts. Més concretament, els problemes de decantacions i baix rendiments provocats per la sedimentació que provoca la pols de pneumàtic en els betums i els problemes de control de la digestió i homogeneïtat del betums cautxús per via seca.

Aquests additius, a pesar que estan normalitzats en la norma NT 02-2020, són encara d'un ús poc estès, per la qual cosa l'entorn de la compra Pública innovadora permet un àmbit ideal per a la seva implementació.

L'additiu de cautxú predigerit està format majoritàriament de pols de pneumàtic al final de la seva vida útil (NFVU), aquesta pols ha sigut prèviament tractada en un procés industrial i d'escalfament tèrmic i es recobreix amb betum completant el procés de digestió de la pols de cautxú amb l'addició del betum, assegurant així la seva digestió. Una vegada aconseguida aquesta, el producte resultant és tractat i estabilitzat afegint calç i altres additius, de tal forma que s'aconsegueix un additiu modificador de la mescla asfàltica, que pot ser utilitzat de manera



directa en sec amb un temps de digestió pràcticament inexistent, evitant d'aquesta manera la necessitat i el risc d'efectuar la digestió del cautxú una vegada la mescla ja ha estat fabricada.

L'additiu utilitzat en aquesta actuació s'anomena RARX, està fabricat per a l'empresa CIRTEC, SL a les seves instal·lacions de Valdemoro, a la província de Madrid.

L'additiu RARX és un compost format per cautxú reciclat de pneumàtic fora d'ús (60 %), betum (16 %), calç (24 %) i altres additius. El compost és una pols gris fosc amb un diàmetre màxim d'àrid de 1,0 mm.

Aquest additiu compta amb marcatge CE i amb Declaració Voluntària ambiental de producte, la qual cosa permet fabricar la mescla amb garanties de qualitat i, d'altra banda, permet realitzar els càlculs ambientals de la solució final.

El disseny de la mescla es va realitzar segons la Nota tècnica NT 02/2020 del MITMA i les recomanacions del fabricant.

Disseny de la mescla

A continuació s'adjunten els assaigs i tantejos fets per l'obtenció de les fórmules de treball, tant per a la mescla AC22 Bin S emprada als sanejos estructurals, com de la mescla AC16 Surf S utilitzada per a la rehabilitació superficial.

OTI		REGISTRO		FECHA					
PROYECTO: R03000-049		R03000-049		04-04-22					
PROYECTO TEÓRICO DE MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE									
TÍTULO: Proyecto de Diseño de Mezcla Bituminosa en Caliente		TIPO DE MEZCLA: Mezcla Bituminosa en Caliente		USO: Carretera					
CATEGORÍA: 5ª Clase de Carretera		MATERIAL: PAVIMENTO		MATERIAL: PAVIMENTO					
GRANULOS Ponderales Acumulados (% que Pasa)									
ÁRIDOS	%	31,5	22	16	8	2	0,5	0,25	0,075
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ÁRIDO CON UNA DESFILNERIZACIÓN DEL 40%									
ÁRIDO	%	100	100	100	100	100	100	100	100
44,0	100	100	100	100	70	25	18	7,3	
22,0	100	100	100	45	2	1	1	0,2	
24,0	100	100	45	0	0	0	0	0,1	
9,0	100	80	2	0	0	0	0	0,1	
CURVA OBTENIDA									
MEZCLA BITUMINOSA AC 22 Bin 50/70 S + 0,65% RARX									
NOTAS: Se ha diseñado la mezcla bituminosa en caliente para un espesor de 10 cm.									
OBSERVACIONES: Arena GS Caliza (Arenita) + Árido 5/12, 10/20 y 15/20 Gravelo (L. Romá) + Filler. ANÁLISIS: H. Vázquez									
Vº Bº									
XAVIER RIELLO HERNÁNDEZ DIRECTOR DE LABORATORIO									

OTI		REGISTRO		FECHA	
PROYECTO: R03000-049		R03000-049		04-04-22	
PROYECTO DE MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE MEDIANTE ENSAYO MARSHALL Y ENSAYO DE SENSIBILIDAD AL AGUA					
TÍTULO: Proyecto de Mezcla Bituminosa en Caliente		TIPO DE MEZCLA: Mezcla Bituminosa en Caliente		USO: Carretera	
CATEGORÍA: 5ª Clase de Carretera		MATERIAL: PAVIMENTO		MATERIAL: PAVIMENTO	
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS PARA MEZCLA BITUMINOSA AC 22 bin 50/70 S + 0,65% RARX					
PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS	ÓPTIMO	ENSAYO MARSHALL			
		Módulo de Ruptura (kg/cm²)			
SEMPRE MOJADO (S)	4,7	3,7	4,2	4,7	5,2
SEMPRE SECO (S)	4,5	3,6	4,0	4,5	4,9
TOLACIÓ (S)	1,9	1,5	1,2	1,0	0,8
COEFICIENTE DE ADHESIÓN (S)	2,308	2,205	2,301	2,395	2,509
RESISTENCIA (S)	4,7	3,6	3,9	4,4	3,4
RESISTENCIA (S)	4,7	4,8	5,6	7,0	7,5
RESISTENCIA (S)	2,9	2,9	2,5	3,9	3,3
RESISTENCIA (S)	14,9	17,8	16,3	14,5	14,5
RESISTENCIA (S)	16,800	12,700	14,400	15,000	16,400
INDICADOR DE DISEÑO (S)	4,9	INDICADOR DE DISEÑO (S)			2,442
ENSAYO DE SENSIBILIDAD AL AGUA					
RESISTENCIA EN SECO	2,321	RESISTENCIA EN SECO	2,307	RESISTENCIA EN SECO	86,6
RESISTENCIA EN AGUA	1,851	RESISTENCIA EN AGUA	2,117	RESISTENCIA EN AGUA	
NOTAS: Se ha diseñado la mezcla bituminosa en caliente para un espesor de 10 cm.					
OBSERVACIONES: Arena GS Caliza (Arenita) + Árido 5/12, 10/20 y 15/20 Gravelo (L. Romá) + Filler. ANÁLISIS: H. Vázquez					
Vº Bº					
XAVIER RIELLO HERNÁNDEZ DIRECTOR DE LABORATORIO					

eptsa SECCIÓN DE AGLOMERADO

PROYECTO TEÓRICO DE MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE

OTI: PR2320CR0056-049 REGISTRO: 10AM:15401 FECHA: 08-04-22

CERENIOS PONDERALES ACUMULADOS (% QUE PASA)		TAMOS MILIM. 22,4 16 8 4 2 0,5 0,25 0,063							
ARIDOS	%	BEHAK							
			100	100	100	100	100	100	90
100	100	100							
100	100	100	98	71	31	22			11,6
100	100	100	65	3	2	1			0,3
100	100	100	48	0	0	0			0,1

MEZCLA BITUMINOSA AC 16 Surf S + 1,05%/m RAR

RESISTENCIA EN HÚMIDO: 2,372 RESISTENCIA EN SECO: 2,314

ANALISTA: H. Sagarra

eptsa SECCIÓN DE AGLOMERADO

PROYECTO DE MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE MEDIANTE ENSAYO MARSHALL Y ENSAYO DE SENSIBILIDAD AL AGUA

OTI: PR2320CR0056-049 REGISTRO: 10AM:15401 FECHA: 08-04-22

PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS	ÓPTIMO	ENSAYO MARSHALL			
		1	2	3	4
REL. PUN. DE FLEXIÓN (%)	4,8	3,9	4,4	4,9	5,4
MODULO ELASTICO (MPa)	4,8	2,5	4,2	4,7	5,1
RELACION FLUJ. DEFORMACION	1,0	1,2	1,1	1,0	0,9
COEFICIENTE DE FRICCIÓN (%)	2,348	2,207	2,317	2,393	2,516
MÓDULO DE RIJIDITAT	6,0	6,9	7,0	6,4	6,3
MÓDULO DE ELONGACIÓ	67,3	45,5	57,4	70,7	73,0
RESISTENCIA A LA TRACSIÓ	1,8	2,0	2,0	2,0	2,3
RESISTENCIA AL ARROJADO	18,8	18,0	16,5	13,2	15,6
RESISTENCIA A LA FLESIÓ	18.300	12.500	14.100	16.600	16.300
RESISTENCIA AL AGUA (K ₁)	4,9	2,474			

MEZCLA BITUMINOSA AC 16 Surf S + 1,05%/m RAR

ANALISTA: H. Sagarra

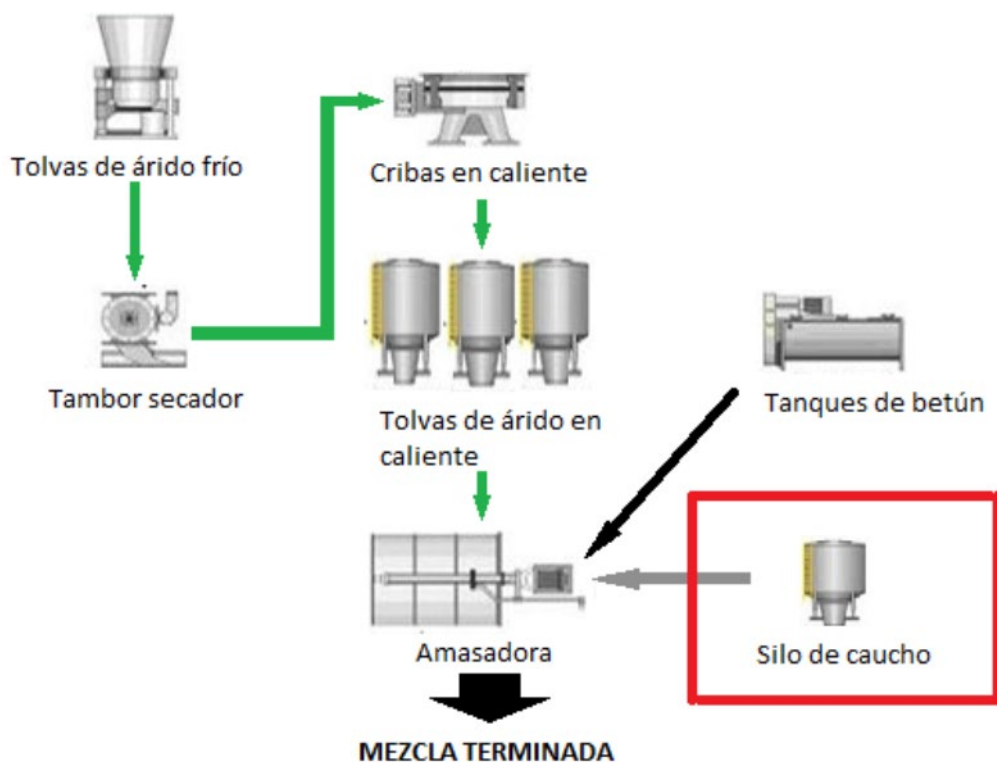
De l'estudi de les fórmules de treball s'obtingué un òptim de betum de 4,7 % per a la mescla AC22 Bin S i d'un 4,8 % per a la mescla AC16 Surf S, aplicant allò recollit a l'esmentada nota tècnica i obtenint les següents quantitats i percentatges d'additiu a afegir a la mescla:

Mescla	Òptim betum (s/m)	% Cautxú sobre lligant total	Betum a introduir a la mescladora (s/m)	Betum procedent de l'additiu (s/m)	% Cautxú (s/m)	% Additiu (s/m)
AC22 Bin S	4,7 %	8 %	4,59 %	0,11 %	0,41 %	0,65 %
AC16 Surf S	4,8 %	12 %	4,63 %	0,17 %	0,63 %	1,05 %

Mètode d'execució

En la fabricació de la mescla s'han d'observar certes particularitats importants. La més notòria és la utilització d'una instal·lació d'additivació de pols que descarrega l'additiu directament a la mescladora. A més, s'han d'observar les prescripcions següents:

- Augmentar la temperatura dels àrids de 10°C per sobre la de una mescla convencional.
- Realitzar preamassat d'àrids+additiu de 5 segons
- Amassat d'àrids+additiu+betum d'almenys 30 segons
- Amassat d'àrids+additiu+betum+filler d'altres 20 segons



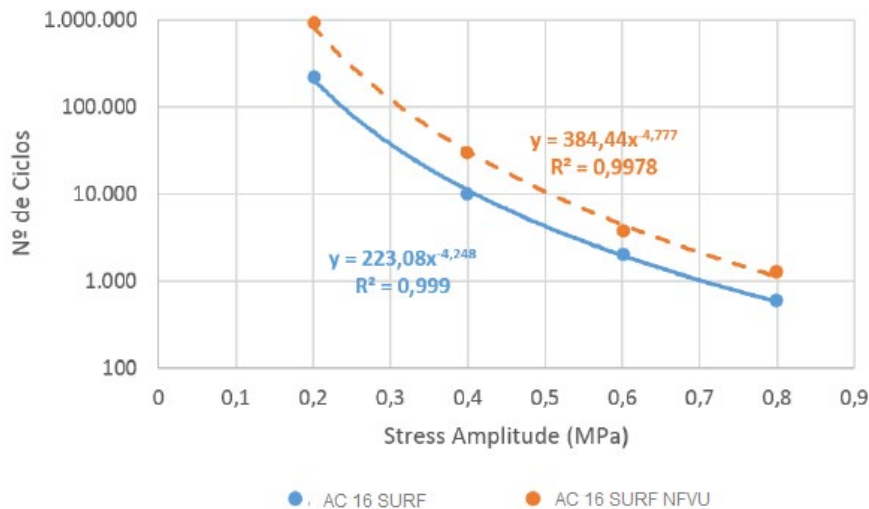
Esquema de planta de fabricació amb additivació d'NFU

El transport i l'estesa de la mescla es realitza de manera molt semblant a una mescla convencional, tot i que va ser necessària la incorporació d'un compactador de pneumàtics addicional degut a que la mescla té una temperatura mínima de compactació lleugerament més elevada que una mescla convencional.

Valoració tècnica i ambiental de la solució

La solució tècnica adoptada en el projecte amb una mescla tipus AC22 Bin S 50/70 amb addició d'un 8 % de cautxú sobre lligant (0,41 % sobre mescla) en la rehabilitació estructural, i una mescla tipus AC16 Surf S amb addició d'un 12 % de cautxú sobre lligant (0,63 % sobre mescla), és una solució en la qual la pols de pneumàtic millora substancialment la durabilitat del paviment i el seu comportament a la fissuració i a les deformacions plàstiques.

Segons estudis realitzats per la Universitat de Granada en col·laboració amb SIGNUS ECOVALOR, aquest tipus de mescles asfàltiques millorades amb pols de pneumàtic permeten una vida útil major en més d'un 30 % sobre els asfalts convencionals.



Estudi de fatiga comparatiu

Tenint en compte aquest estudi i altres estudis de durabilitat duts a terme per altres entitats de recerca s'ha comprovat que la pols de pneumàtic és un veritable modificador de les prestacions de la mescla asfàltica.

Amb l'objectiu de poder comparar "in situ" el comportament de les mescles fabricades amb additiu de pols de cautxú en front de mescles convencionals, s'ha executat a l'obra un tram de referència amb una mescla AC16 Surf S sense addició de cautxú. Les diferències en el comportament al llarg del temps de la mescla innovadora i la convencional permetran un estudi detallat de la millora en el comportament de la capa executada amb addició de cautxú.

Una anàlisi de sostenibilitat s'ha de realitzar sempre sota els criteris d'ACV (Anàlisi de cicle de vida), sota les instruccions de les normatives europees. Per a mescles asfàltiques amb pols de pneumàtic cal tenir en compte no solament l'etapa de construcció, sinó almenys l'etapa d'ús fins a la seva reparació o substitució, o com es denomina en el sector de l'asfalt, fins a l'etapa de "rehabilitació de fermes". En cas que el producte, en aquest cas la mescla asfàltica, generés algun dubte quant a la seva reciclabilitat, caldria estendre l'estudi fins a l'etapa "fi de vida". En el cas de les mescles asfàltiques amb pols de pneumàtic ja s'ha demostrat que no sols no generen un problema de reciclabilitat, sinó que fins i tot poden millorar aquest aspecte. Evidentment en tots els casos d'anàlisis es realitza l'estudi comparatiu amb la mescla asfàltica o solució convencional.



Información del Ciclo de Vida del edificio.														Información adicional															
A1 a 3			A4 - 5		B1 a 7					C1 a 4				D Beneficios y cargas más allá del sistema															
Etapa de producto			Etapa de construcción		Etapa de uso					Etapa de fin de vida					D														
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	MNE															
X	X	X	X	X	MNE	MNE	X	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE	MNE															
Suministro de materias primas			Transporte		Fabricación		Transporte		Proceso de construcción / instalación		Uso		Mantenimiento		Reparación		Sustitución		Rehabilitación		Deconstrucción, demolición		Transporte		Tratamiento de residuos		Eliminación de residuos		Potencial de reutilización, recuperación y reciclaje
Escenario			Escenario		Escenario		Escenario		Escenario		Escenario		Escenario		Escenario		Escenario		Escenario		Escenario		Escenario		Escenario				
X Módulo evaluado														B6. Uso de energía en servicio															
MNE Módulo no evaluado														Escenario		MNE													
														B7. Uso de agua en servicio															

Si només tenim en compte la fase de construcció en el projecte, es pot veure en l'anàlisi comparatiu (realitzat amb l'ACV real amb dades de betums de Repsol, RARx i càlcul segons UNE 15804), que les mesclades asfàltiques executades, amb un additiu de cautxú predigerit de NFVU, són un 3 % menys contaminants que les mesclades convencionals. Aquesta lleugera millora és deguda a la menor utilització d'àrids i betum, però és minorada pel fet que en el fons s'ha d'afegir al cicle el procés de tractament del pneumàtic fora d'ús fins a la seva conversió en additiu llest per a la seva utilització a la mescla.

En analitzar la fase B3, és a dir la fase vida útil, hem de tenir en compte que l'additivació d'aquests productes produeix una modificació en l'asfalt similar als polímers, incrementant la seva vida útil en almenys un 30 %, tal com demostren estudis que UGR-FAT ha dut a terme per a la Universitat de Granada i SIGNUS, la qual cosa fa que l'estalvi ambiental d'aquesta etapa sigui del 30 %.

A mode de resum, tenint en compte que el volum d'obra executada ha estat de 7.020 t de mescla asfàltica, s'ha utilitzat un total de 36 tones de cautxú recuperat, que és l'equivalent al reciclatge d'aproximadament 4.000 pneumàtics fora d'ús.

S'ha aconseguit en l'execució del contracte un estalvi ambiental de 234 tones de CO₂eq, que equival a l'estalvi ambiental generat en plantar 800 arbres.