

UTILIZACIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS TEMPLADAS CON LA EMULSIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN DE FIRMES DE CARRETERAS DE INTENSIDADES DE TRÁFICO MEDIAS Y BAJAS

AUTORES

María del Mar Colás – Cepsa
marimar.colas@cepsa.com

EN COLABORACIÓN CON

Marisol Barral – Campezo Obras y Servicios. S.A.
mbarral@campezo.com

Marga Ruiz – Asfaltos Orsa, S.L.
mruiz@orsa.es

José Antonio Navarro – Diputación Foral de Gipuzkoa
janavarro@gipuzkoa.eus

Aurelio Ruiz – Ciesm-Intevía
aurelio.ruiz@ciesm-intevia.es

Daniel Andaluz – Ateb
gerencia@ateb.es



RESUMEN

Se consideran carreteras de intensidad de tráfico media aquellas con una IMD entre 2.500 y 10.000 y carreteras de baja intensidad aquellas con $IMD < 2.500$. En las primeras, se estima que un 15% de los vehículos son pesados por lo que corresponden a una categoría de tráfico pesado T2, mientras que en las segundas la cantidad de vehículos pesados se estima en 10% correspondiendo a una categoría T3 o T4.

La construcción de los firmes de carreteras que soportan estas intensidades de tráfico en el País Vasco está regulada por la Norma para el Dimensionamiento de Firmes de la Red de Carreteras del País Vasco, mientras que la rehabilitación estructural actualmente se realiza de acuerdo con la norma 6.3-IC "Rehabilitación de firmes" de la Instrucción de Carreteras. Ninguna de ellas contempla la utilización de mezclas bituminosas templadas con emulsión.

Sin embargo, el empleo de mezclas bituminosas templadas con emulsión cumpliría con los requisitos establecidos en la normativa vigente, tanto para la construcción de firmes con categorías de tráfico tipo T3 y T4 y espesores totales de mezcla bituminosa hasta 17 cm, como en la rehabilitación estructural de firmes con categorías de tráfico tipo T2 o inferior, con recrecimientos de espesor de hasta 15 cm.

Con esta motivación, la Mesa de Firmes de la Ponencia Técnica del Plan General de Carreteras del País Vasco está elaborando, en colaboración con ATEB (Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas), Ciesm-Intevía y otras empresas del sector, un Pliego de Prescripciones Técnicas para este tipo de mezclas bituminosas. Este Pliego, que se publicará a lo largo de 2018, se basa en la experiencia adquirida durante la ejecución de seis obras donde se han empleado 13.600 t de mezclas bituminosas templadas con emulsión fabricadas con material fresado entre 0% y 80%, cuyos resultados se presentan en esta comunicación.

Summary: *Medium traffic intensity roads have an IMD between 2.500 and 10.000, while low intensity roads have $IMD < 2.500$. In the first case, it is considered that 15% of the traffic is heavy corresponding to a T2 category, and in the second case, heavy vehicles are estimated to be around 10% of the total traffic leading to T3 or T4 category. In the Basque Country the construction of this type of roads is regulated by the Basque Standard for Sizing Road Surfaces and structural rehabilitation by the 6.3-IC standard on "Road Rehabilitation" of the Highway Code. None of these standards considers using half-warm bituminous mixes.*

Nevertheless, using half-warm bituminous mixes would enable meeting the requirements stated in the current standards for both newly constructed T3 and T4 pavements with 17 cm maximum total thickness and structural rehabilitation of T2 or lower category roads with up to 15 cm thickness heightening.

In this line, the Table of Signatures of the Technical Paper of the General Plan of Roads of the Basque Country in collaboration with ATEB (Technical Association of Bituminous Emulsions), Ciesm-Intevía and other companies of the sector is working on a Statement of Technical Specifications for this type of mixes. This Statement is to be released during 2018 and it is based on the experience on six works with a total of 13.600 t where half-warm mixes have been used, with RAP contents ranging from 0% to 80%. The results of this work are summarized in the present communication.

Palabras clave: mezclas bituminosas templadas, intensidad de tráfico baja o media, emulsión bituminosa, especificaciones, rehabilitación de firmes.

half-warm bituminous mixtures, road rehabilitation, low and medium traffic intensities, Statement of Technical Specifications, Bituminous emulsion.

1. CARACTERIZACIÓN DE LAS CARRETERAS DE INTENSIDADES DE TRÁFICO MEDIAS Y BAJAS

El tipo de tráfico que soporta una carretera viene determinada por la intensidad media diaria (IMD) y el porcentaje de vehículos pesados, que en combinación con otros parámetros definen el tráfico de proyecto (TP), como el número acumulado de vehículos pesados que se prevé circularán por el carril de proyecto durante el período de proyecto, según la expresión siguiente: $TP = IMD_{pAPS} * 365 * F * \gamma_T$, donde:

- IMD_{pAPS} : Intensidad Media Diaria de vehículos pesados en el año de puesta en servicio de la carretera.
- F : Factor de crecimiento de tráfico, que es función de la tasa que se adopta para el crecimiento anual del tráfico de vehículos pesados, siendo $F = 25$ cuando la tasa r es 2 %.
- γ_T : Coeficiente de ponderación de las cargas de tráfico, que depende fundamentalmente del coeficiente de asignación del tráfico pesado al carril de proyecto γ_C ; este coeficiente adopta los valores siguientes:
 - Carreteras con calzada única, de anchura superior a 6,00 m: $\gamma_C = 0,50$
 - Carreteras con calzada única, de anchura entre 5,00 y 6,00 m: $\gamma_C = 0,75$
 - Carreteras con calzada única, de anchura inferior a 5,00 m: $\gamma_C = 1,00$

De acuerdo con estos criterios, se adoptan los siguientes valores para las categorías de tráfico medias y bajas:

- Carreteras con una categoría de tráfico media: Se trata de carreteras con anchura de calzada superior a 6,00 m, que soportan una intensidad media diaria (IMD) comprendida entre 2.500 y 10.000 y un porcentaje estimado del 15 % de vehículos pesados.
- Carreteras con una categoría de tráfico baja: Se trata de carreteras con anchura de calzada comprendida entre 5,00 y 6,00 m, que soportan una intensidad media diaria (IMD) inferior a 2.500 y un porcentaje estimado del 10 % de vehículos pesados. También se encuadran en esta categoría las carreteras con anchura de calzada inferior a 5,00 m, que soportan una intensidad media diaria (IMD) inferior a 2.000 y el mismo porcentaje de vehículos pesados.

En el caso de las carreteras con categoría de tráfico media, el tráfico de proyecto (TP) viene dado por: $TP = 10.000 * 0,15 * 365 * 25 * 0,50 = 6.843.750$, que está comprendida en el intervalo comprendido entre $4,4 - 8,8 * 10^6$, correspondiente a una categoría de tráfico tipo T 2A, según la Norma para

el Dimensionamiento de Firmes de la Red de Carreteras del País Vasco (NFPV). De forma simplificada, esta categoría es equivalente al tipo T 2, de la Norma 6.3-IC "Rehabilitación de firmes" de la Instrucción de Carreteras, en la que el rango de variación del tráfico pesado para la categoría de tráfico pesado del tipo T 2, viene dado por $200 < \text{IMDp} = 10.000 \times 0,15 \times 0,50 = 750 < 800$.

En el caso de las carreteras con categoría de tráfico baja, el tráfico de proyecto (TP) viene dado por:

$\text{TP} = 2.500 \times 0,10 \times 365 \times 25 \times 0,75 = 1.710.938$, o bien, $\text{TP} = 2.000 \times 0,10 \times 365 \times 25 \times 1,00 = 1.825.000$, que están ambas comprendidas en el intervalo comprendido entre $1,1 - 2,2 \times 10^6$, correspondiente a una categoría de tráfico tipo T 3A, según la NFPV; análogamente, esta categoría resulta equivalente al tipo T 31, de la Norma 6.3-IC, en la que el rango de variación del tráfico pesado para la categoría de tráfico pesado del tipo T 31, viene dado por $100 < \text{IMDp} = 2.500 \times 0,10 \times 0,75 / 2.000 \times 0,10 \times 1,00 = 188 / 200 < 200$.

2. LA RED FORAL DE CARRETERAS DE GIPUZKOA

La Red Foral de Carreteras de Gipuzkoa se extiende sobre una longitud total de calzada de 1.700 km, de las cuales, las longitudes totales de los tramos de carreteras de intensidades de tráfico medias y bajas ascienden a 310 y 775 km, respectivamente, que, en conjunto, suponen el 64 % de la Red Foral, según se señala en la tabla 1. Los tramos de carreteras con categoría de tráfico media, es decir, del tipo T 2, se localizan fundamentalmente en la Red Comarcal, donde suponen el 45 % de la longitud total de ésta, mientras que los tramos de carreteras con categorías de tráfico bajas, de los tipos T 3 y T 4, corresponden tanto a la Red Comarcal como a la Local, donde; es decir, donde suponen el 54 y 96 %, respectivamente, de las longitud totales de éstas.

Tabla 1. Características de la Red Foral de Gipuzkoa por categorías de tráfico

TIPO DE RED	LONG. TOTAL (KM)	TP MEDIO	TP BAJO
Interés Preferente	500,00	55,00	0,00
Básica	250,00	85,00	0,00
Comarcal	325,00	145,00	175,00
Local	625,00	25,00	600,00
Total	1.700,00	310,00 (18,00 %)	775,00 (46,00 %)

Se trata, por tanto, de una red de carreteras relativamente equilibrada, en cuanto a categorías de tráfico, puesto que dispone de una longitud total de 615 km, es decir, el 36 % del conjunto de la Red Foral, que soporta unas categorías de tráfico tipo T 1 o superiores, mientras que el 64 % restante soporta categorías de tráfico tipo T 2 o inferiores. Se comprende, por tanto, la necesidad de abordar de forma específica los firmes de las carreteras que soportan las intensidades de tráfico medias y

bajas, dada las características específicas de éstas y su importancia dentro del conjunto de la Red Foral de Carreteras de Gipuzkoa, puesto que dan servicio a un gran número de personas y empresas, contribuyendo al equilibrio territorial y a la accesibilidad de muchos municipios, dado que en la inmensa mayoría de ellos la carretera supone la única vía de comunicación entre sí y con las comarcas vecinas.

3. CARACTERÍSTICAS DE LOS FIRMES DE CARRETERAS DE INTENSIDADES DE TRÁFICO MEDIAS Y BAJAS

Los firmes de las carreteras son estructuras que se agotan por fatiga, produciéndose su rotura cuando han sufrido la acción de un número elevado de repeticiones de cargas transmitidas por las ruedas de los vehículos, fundamentalmente las de los vehículos pesados, que de forma individual no les producen prácticamente ningún daño. El número de repeticiones de carga que es capaz de soportar el firme antes de romperse depende, entre otros factores, de su espesor; en consecuencia, los firmes de las carreteras que soportan un mayor tráfico de vehículos pesados, tal como ocurre en las carreteras de mayor rango (Red de Interés Preferente y Básica), disponen de secciones de firme de espesores muy superiores a las de menor rango (Red Comarcal y Local), que disponen de secciones de firme muy reducidas, puesto que solamente soportan un tráfico muy ligero.

La construcción de los firmes de carreteras viene regulada por la Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco (NFPV), de la que se ha extraído la tabla 2, que resume los espesores de zahorra artificial y mezcla bituminosa de las secciones con firmes flexibles. La rehabilitación estructural de los firmes se realiza con arreglo a la norma 6.3-IC "Rehabilitación de firmes" de la Instrucción de Carreteras, de la que se adjunta la tabla 3, que corresponde a la rehabilitación de firmes flexibles y semiflexibles, si bien, se encuentra en avanzado estado la redacción del correspondiente Anejo de Rehabilitación de Firmes en la futura revisión de la NFPV que se está realizando.

Tabla 2. Espesores de zahorra y mezcla bituminosa en función del tipo de explanadas y categoría de tráfico (T2B o inferior).

CATEGORÍA DE TRÁFICO	EXPLANADA TIPO EX 1		EXPLANADA TIPO EX 2	
	ZAHORRA ART.	MEZCLA BITUM.	ZAHORRA ART.	MEZCLA BITUM.
T 2B	35	20	25	20
T 3A	35	17	25	17
T 3B	35	15	25	14
T 4A	40	10	30	10
T 4B	40	5	30	5

Tabla 3. Espesores de recrecimiento necesarios en función de las deflexiones y la categoría de tráfico (T 2 o inferior).

CATEGORIA DE TRAFICO	DEFLEXION DE CALCULO (DC) (10-2 MM)				
	60 – 80	80 – 100	100 – 125	125 - 150	150 - 200
T 2	8	10	12	15	18
T 31	6	10	10	12	15
T 32	---	5	8	10	12
T 41	---	---	6	8	10
T 42	---	---	5	6	8

Dado el interés que presentan las mezclas bituminosas templadas con emulsión para esta red de carreteras, se plantea su incorporación al capítulo de “Materiales para el firme” de la NFPV, conjuntamente con las mezclas bituminosas abiertas en frío y los tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla, como técnicas complementarias a las convencionales mezclas bituminosas en caliente, de gran interés en la construcción y rehabilitación de firmes de carreteras que soportan intensidades de tráfico medias y bajas.

Los firmes de las carreteras que soportan categorías de tráfico medias y bajas, son de comportamiento flexible y están constituidos por una capa de zahorra artificial de 25 – 35 cm de espesor que se apoya sobre la explanada y una o dos capas de mezcla bituminosa con un espesor conjunto inferior a 20 cm. Se trata, por tanto, de secciones de capacidad portante reducida, por lo que es preciso garantizar que la flexibilidad del conjunto del firme se mantenga a lo largo de la vida útil del firme, evitando la utilización de materiales que supongan una rigidización no deseable al conjunto del firme.

En este sentido, la vigente norma 6.3-IC en su apartado 9.7 recomienda para los firmes de carreteras con categorías de tráfico bajas, tipos T 3 y T 4, la utilización de mezclas bituminosas que garanticen una flexibilidad suficiente, definiendo adecuadamente el tipo de mezcla bituminosa a emplear y las características del ligante. Por este motivo, el empleo de mezclas bituminosas templadas con emulsión resulta de gran interés tanto en la construcción como en la rehabilitación estructural de firmes que soportan categorías de tráfico medias y bajas, puesto que los espesores de mezcla bituminosa, tanto en la construcción de firmes como en su rehabilitación, rara vez superan los 17 cm, de acuerdo con las tablas 2 y 3, con las indudables ventajas que presentan tanto por su flexibilidad para adaptarse a soportes deformables, adaptándose a los asientos lentos de la calzada, como por su excelente resistencia a la fatiga y a la transmisión de fisuras.

4. PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS DE MEZCLAS BITUMINOSAS TEMPLADAS CON EMULSIÓN TIPO HORMIGÓN BITUMINOSO

La Mesa de Firmes de la Ponencia Técnica del Plan General de Carreteras del País Vasco está procediendo, en colaboración con ATEB, Ciesm-Intevía y otras empresas del sector, a la elaboración de un Pliego de Prescripciones Técnicas para las mezclas bituminosas templadas con emulsión. Dicho Pliego se encuentra prácticamente finalizado y se prevé su aprobación a lo largo del año 2018; se adjuntan en las tablas 4 y 5 las características de estas mezclas bituminosas.

Tabla 4. Husos granulométricos. Cernido ponderal acumulado (% en masa)

TIPO DE MEZCLA(1)	ABERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)								
	32 (31,5)	22 (22,4)	16	8	4	2	0,500	0,250 (2)	0,063 (2)
DENSEA	ACBE 16 D	100	90 - 100	64 - 79	44 - 59	31 - 46	16 - 27	11 - 20	4 - 9
	ACBE 22 D	100	90 - 100	73 - 88	55 - 70				
SEMI DENSEA	ACBE 16 S	100	90 - 100	60 - 75	35 - 50	24 - 38	11 - 21	7 - 15	3 - 8
	ACBE 22 S	100	90 - 100	70 - 88	50 - 66				
GRUESA	ACBE 16 G	100	90 - 100	55 - 75	30 - 48	18 - 32	7 - 18	4 - 12	2 - 6
	ACBE 22 G	100	90 - 100	65 - 86	40 - 60				

(1) A efectos de esta tabla, para designar el tipo de mezcla, se incluye sólo la parte de la nomenclatura que se refiere expresamente al huso granulométrico (se omite, por tanto, la indicación de la capa del firme y del tipo de ligante).

(2): Cuando la proporción de material procedente del fresado es superior al 50 %, pero inferior al 80 % de la masa total de la mezcla, se admitirá un aumento del 1,5 % en el tamiz 0,250 mm y del 3 % en el tamiz 0,063 mm.

Tabla 5. Tipo de mezcla en función del tipo y espesor de la capa.

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA	ESPESOR (CM)
RODADURA	ACBE 16 surf D	4 - 5
	ACBE 16 surf S	
	ACBE 16 surf G	
	ACBE 22 surf D	5 - 6
	ACBE 22 surf S	
INTERMEDIA	ACBE 22 bin D	5 - 10
	ACBE 22 bin S	
	ACBE 22 bin G	

En obras de nueva construcción, para las categorías de tráfico pesado tipo T 3B (T 32) a T 4, se debe utilizar como capa intermedia, con carácter preferente, el tipo ACBE 22 bin S frente a ACBE 22 bin D o ACBE 22 bin G, en capa de 5 a 10 cm de espesor y como capa de rodadura el tipo ACBE 16 surf D, ACBE 16 surf S o ACBE 16 surf G en capa de espesor comprendido entre 4 y 5 cm.

En obras de rehabilitación estructural del firme, para las categorías de tráfico pesado tipo T 2 a T 4, se debe utilizar como capa intermedia, con carácter preferente, el tipo ACBE 22 bin S frente a ACBE 22 bin D o ACBE 22 bin G, en capa de 5 a 10 cm de espesor y como capa de rodadura el tipo ACBE 16 surf D, ACBE 16 surf S o ACBE 16 surf G en capa de espesor comprendido entre 4 y 5 cm y el tipo ACBE 22 surf D o ACBE 22 surf S en capa de espesor comprendido entre 5 y 6 cm.

5. RESULTADOS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS TEMPLADAS CON EMULSIÓN EMPLEADAS EN OBRAS DE REHABILITACIÓN DE FIRMES

Para la redacción del Pliego de Prescripciones Técnicas se ha contado con la experiencia adquirida en la ejecución de seis obras de, aproximadamente, un total de 13.600 t, con mezclas bituminosas templadas con emulsión, sin y con la utilización de material procedente de fresado de mezclas bituminosas, en porcentajes variables comprendidos entre el 0% y 80%.

1. Rehabilitación estructural del firme de la GI-3481 entre los p.k. 0,480 y 2,240. Se trata de la carretera a Larraul, que soporta una categoría de tráfico tipo T 4A. En el año 2009 se procedió a la extensión de una capa de rodadura de 5 cm de espesor de mezcla bituminosa templada con emulsión tipo ACBE 16 surf G (antigua GF 12), fabricada en su totalidad con áridos siderúrgicos. Se utilizó una emulsión bituminosa modificada de rotura media tipo C67BPF4 (antigua ECM-m) en una proporción del 7,0 % s/a. Los resultados obtenidos en la obra fueron publicados en la V Jornada de Asefma del año 2010 (comunicación nº 34), de los que se extraen en la tabla 6 los más significativos:

Tabla 6. Valores medios de los ensayos más significativos durante la puesta en obra y seguimiento.

MEZCLA BITUMINOSA TEMPLADA ACBE 16 SURF G (ANTIGUA GF 12) SIDERURGICA	
SENSIBILIDAD AL AGUA, SEGÚN UNE-EN 12697-12	RESULTADO
ITSR, a 15 °C, con probetas acondicionadas en un baño de agua a 30 °C	93 %
ITSR, a 15 °C, con probetas acondicionadas en un baño de agua a 40 °C	81 %
ENSAYO CANTABRO, SEGÚN NLT-352	
Pérdida por desgaste en seco	16 %
Pérdida por desgaste en húmedo, con probetas acondicionadas en un baño de agua a 45 °C	21 %
ENSAYO MARSHALL, SEGÚN NLT-159	
Estabilidad Marshall	10,7 kN
Deformación Marshall	2,7 mm
INMERSION-COMPRESION, SEGÚN NLT-162	
Índice de resistencia conservada, con probetas acondicionadas en un baño de agua a 49 °C	94 %
MÓDULO DINAMICO, SEGÚN NLT-349	
Módulo dinámico	2.815 MPa
Angulo de desfase	20,7 °
RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS DURANTE EL SEGUIMIENTO DE OBRA	
ITSR, a 15 °C, con probetas acondicionadas en un baño de agua a 30 °C	92 %
ITS en seco, densidad media de las probetas 2.411 kg/m ³	578 kPa
ITS en húmedo, densidad media de las probetas 2.219 kg/m ³	534 kPa
Módulo de rigidez	1.281 MPa

2. Rehabilitación estructural del firme de la GI-3652 entre los p.k. 3,350 y 4,300. Se trata de la carretera al barrio de San Andrés y Urkiazelai, que soporta una categoría de tráfico tipo T 4B. En el año 2011 se procedió a la extensión de una capa de rodadura de 5 cm de espesor de mezcla bituminosa templada con emulsión tipo ACBE 16 surf G (antigua GF 12), fabricada en su totalidad con áridos ofíticos y una tasa de material de fresado del 80%. Se utilizó una emulsión bituminosa modificada de rotura lenta tipo C60BP5 REC en una proporción del 3,5 % s/a. Los resultados obtenidos en la obra fueron publicados en la VII Jornada de Asefma del año 2012 (comunicación nº 4), de los que se extraen en la tabla 7 los más significativos:

Tabla 7. Valores medios de los ensayos más significativos realizados durante la puesta en obra

MEZCLA BITUMINOSA TEMPLADA ACBE 16 SURF G (ANTIGUA GF 12) OFITA R80%		
CONTENIDO DE LIGANTE RESIDUAL EN LA MEZCLA		5,8%
DENSIDAD MÁXIMA DE LA MEZCLA SEGÚN UNE-EN 12697-5		2.541 Mg/m ³
DENSIDAD APARENTE S.S.S. según la UNE EN 12697-6	Impacto (75 golpes/cara)	2.483 Mg/m ³
CONTENIDO DE HUECOS según la UNE EN 12697-8 por impacto	En aire	2,3 %
	En árido	13,5 %
SENSIBILIDAD AL AGUA según la UNE EN 12697-12 a 15 °C por IMPACTO (50 golpes /cara)	Resistencia en seco	1,92 MPa
	Resistencia en húmedo	1,66 MPa
	ITSR	86 %
INMERSIÓN COMPRESIÓN (6t) según la NLT-166	Resistencia en seco	4,5 MPa
	Resistencia en húmedo	3,7 MPa
	ITSR	82 %
ENSAYO DE RODADURA, según la UNE EN 12697-22 a 45°C	WTS aire	0,04 mm
MÓDULO DE RIGIDEZ a 20 °C según la UNE EN 12697-26 (anexo C)	Módulo por impacto a 75 golpes/cara	4.963 MPa
MÓDULO DINÁMICO, según la NLT-349	Módulo por impacto a 75 golpes por cara	6.850 MPa

3) Rehabilitación estructural del firme de la GI-3591 entre los p.k. 2,970 y 8,180. Se trata de la carretera al Santuario de Arantzazu, que soporta una categoría de tráfico tipo T 3A. En el año 2014 se procedió a la extensión de una capa de intermedia de 6 cm de espesor de mezcla bituminosa templada con emulsión tipo ACBE 22 bin S, fabricada con material bituminoso recuperado en una proporción del 80 %, siendo el 20 % restante de árido calizo de aportación. La emulsión utilizada fue una emulsión de rotura lenta tipo C60B6 REC con un porcentaje aproximado del 3,5 % s/a. Los resultados de la ejecución de la obra fueron publicados en la Jornada Nacional de Asefma de 2015 (comunicación nº 2) y en la XI Jornada Nacional de Asefma de 2016 (comunicación nº 3) se publicó un seguimiento de la obra ejecutada, de los que se extraen en la tabla 8 los más significativos.

Tabla 8. Valores medios de los ensayos más significativos realizados durante la puesta en obra y seguimiento posterior

MEZCLA BITUMINOSA TEMPLADA ACBE 22 BIN C60B6 REC S CALIZA R80%		
CARACTERIZACIÓN DEL LIGANTE RESIDUAL	Penetración, 25 °C	28 dmm
	Punto de reblandecimiento	65,5 °C
CONTENIDO DE LIGANTE RESIDUAL EN LA MEZCLA		4,9%
DENSIDAD MÁXIMA DE LA MEZCLA SEGÚN UNE-EN 12697-5		2,533 Mg/m ³
DENSIDAD APARENTE S.S.S. según la UNE EN 12697-6	Impacto (75 golpes/cara)	2,428 Mg/m ³
	Impacto (50 golpes/cara)	2,418 Mg/m ³
	Giratoria (50 giros)	2,435 Mg/m ³
	Compresión simple (6 t)	2,397 Mg/m ³
CONTENIDO DE HUECOS según la UNE EN 12697-8 por IMPACTO	En aire	4,1 %
	En árido	15,1 %
SENSIBILIDAD AL AGUA según la UNE EN 12697-12 a 15 °C por IMPACTO (50 golpes /cara)	Resistencia en seco	1,82 MPa
	Resistencia en húmedo	1,64 MPa
	ITSR	90 %
SENSIBILIDAD AL AGUA según la UNE EN 12697-12 a 15 °C por GIRATORIA (50 giros)	Resistencia en seco	1,91 MPa
	Resistencia en húmedo	1,64 MPa
	ITSR	86 %
ENSAYO DE RODADURA, según la UNE EN 12697-22 a 60 °C	WTS aire	0,07 mm
	PRD	5,1 %
MÓDULO DE RIGIDEZ a 20 °C según la UNE EN 12697-26 (anexo C)	Módulo por impacto a 75 golpes/cara	3.719 MPa
RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS DURANTE EL SEGUIMIENTO DE OBRA		
Resultados de los testigos extraídos a los 3 meses en servicio como capa de rodadura		
SENSIBILIDAD AL AGUA según la UNE EN 12697-12, a 15 °C, de testigos de obra	Resistencia en seco	1,69 MPa
	Resistencia en húmedo	1,6 MPa
	ITSR	95 %
MÓDULO DE RIGIDEZ a 20 °C según la UNE EN 12697-26 (anexo C)	Módulo de testigos de obra	3.325 MPa
Resultados de los testigos extraídos al año y medio en servicio como capa de rodadura		
SENSIBILIDAD AL AGUA, según la UNE EN 12697-12 a 15 °C, de testigos de obra	Resistencia en seco	0,95 MPa
	Resistencia en húmedo	0,81 MPa
	ITSR	86 %
MÓDULO DE RIGIDEZ a 20 °C según la UNE EN 12697-26 (anexo C)	Módulo de los testigos	2.620 MPa
CARACTERIZACIÓN DEL LIGANTE RESIDUAL	Penetración, a 25 °C	24 dmm
	Punto de reblandecimiento	65,4 °C

4. Rehabilitación estructural del firme de la GI-2637 entre los p.k. 14,400 y 19,360. Se trata de un tramo de la carretera GI-2637 comprendido entre el pie del puerto de Otzaurte (Zegama) y el límite con Navarra, que soporta una categoría de tráfico tipo T 3A. En el año 2016 se procedió a la extensión de una capa de rodadura de 5 cm de espesor de mezcla bituminosa templada con emulsión tipo ACBE 16 surf S, fabricada con material bituminoso recuperado en una proporción del 80 %, siendo el 20 % restante de árido siderúrgico. La emulsión utilizada fue una emulsión de rotura lenta tipo C60B6 REC con un porcentaje de entorno al 3,4 % s/a. Los resultados de la obra fueron publicados en la XII Jornada Nacional de Asefma 2017 (comunicación nº 2) se publicó un seguimiento de la obra ejecutada, de los que se extraen en la tabla 9 los más significativos.

Tabla 9. Valores medios de los ensayos más significativos realizados durante la puesta en obra

MEZCLA BITUMINOSA TEMPLADA ACBE 16 SURF C60B6 REC S SIDERURGICA R80%		
CARACTERIZACION DEL LIGANTE RESIDUAL	Penetración, 25 °C	29 dmm
	Punto de reblandecimiento	59,5 °C
CONTENIDO DE LIGANTE RESIDUAL EN LA MEZCLA		4.3%
DENSIDAD MAXIMA DE LA MEZCLA SEGÚN UNE-EN 12697-5		2,811 Mg/m ³
DENSIDAD APARENTE S.S.S. según la UNE EN 12697-6	Impacto (75 golpes/cara)	2,571 Mg/m ³
	Impacto (50 golpes/cara)	2,563 Mg/m ³
	Giratoria (20 giros)	2,534 Mg/m ³
	Giratoria (30 giros)	2,573 Mg/m ³
CONTENIDO DE HUECOS según la UNE EN 12697-8 por IMPACTO	En aire	8,5 %
	En árido	19,3 %
SENSIBILIDAD AL AGUA según la UNE EN 12697-12 por IMPACTO (50 golpes /cara)	Resistencia en seco	1,27 MPa
	Resistencia en húmedo	1,02 MPa
	ITSR	80 %
SENSIBILIDAD AL AGUA según la UNE EN 12697-12 por GIRATORIA (20 giros)	Resistencia en seco	1,25 MPa
	Resistencia en húmedo	1,08 MPa
	ITSR	85 %
ENSAYO DE RODADURA, según la UNE EN 12697-22	WTS aire	0,07 mm
	PRD	6,6 %
MÓDULO DE RIGIDEZ a 20 °C según UNE EN 12697-26 (anexo C)	Módulo por impacto a 75 golpes/cara	4.854 MPa
	Módulo por impacto a 30 giros	6.082 MPa

5. Rehabilitación estructural del firme de la GI-2635 entre los p.k. 5,415 y 10,130. Se trata de un tramo de la carretera GI-2635, de Azpeitia a Beasain, que discurre por el borde del embalse de Ibai Eder; soporta una categoría de tráfico del tipo T 3A. En los años 2016 y 2017 se procedió a la extensión de una capa de rodadura de 5 cm de espesor de mezcla bituminosa templada con emulsión tipo ACBE 16 surf S, fabricada en su totalidad con áridos ofíticos y con una emulsión de rotura lenta tipo C60B4 MBC, en una dotación del 7,5 % s/a. Los resultados de la obra fueron publicados en la XII Jornada Nacional de Asefma 2017 (comunicación nº 2) se publicó un seguimiento de la obra ejecutada, de los que se extraen en la tabla 10 los más significativos.

Tabla 10. Valores medios de los ensayos más significativos realizados durante la puesta en obra

MEZCLA BITUMINOSA TEMPLADA ACBE 16 SURF C60B4 MBC S OFITA R0%		
CARACTERIZACIÓN DEL LIGANTE RESIDUAL	Penetración, 25 °C	44 dmm
	Punto de reblandecimiento	52,8 °C
CONTENIDO DE LIGANTE RESIDUAL EN LA MEZCLA		4,1%
DENSIDAD MÁXIMA DE LA MEZCLA SEGÚN UNE-EN 12697-5		2,558 Mg/m ³
DENSIDAD APARENTE S.S.S. según la UNE EN 12697-6	Impacto (75 golpes/cara)	2,402 Mg/m ³
	Impacto (50 golpes/cara)	2,372 Mg/m ³
	Giratoria (110 giros)	2,407 Mg/m ³
	Giratoria (80 giros)	2,411 Mg/m ³
CONTENIDO DE HUECOS según la UNE EN 12697-8 por IMPACTO	En aire	6,1 %
	En árido	1,7 %
SENSIBILIDAD AL AGUA según la UNE EN 12697-12 por IMPACTO (50 golpes /cara)	Resistencia en seco	1,13 MPa
	Resistencia en húmedo	0,87 MPa
	ITSR	76 %
SENSIBILIDAD AL AGUA según la UNE EN 12697-12 por GIRATORIA (80 giros)	Resistencia en seco	1,41 MPa
	Resistencia en húmedo	1,30 MPa
	ITSR	92 %
ENSAYO DE RODADURA, según la UNE EN 12697-22	WTS aire	0,14 mm
	PRD	6,7 %
MÓDULO DE RIGIDEZ a 20 °C según la UNE EN 12697-26 (anexo C)	Módulo por impacto a 75 golpes/cara	2.843 MPa
	Módulo por impacto a 110 giros	3.519 MPa

6. Rehabilitación estructural del firme de la GI-2637 entre los p.k. 11,900 y 14,400. Se trata de un tramo de la carretera GI-2637 comprendido entre Zegama y el pie del puerto de Otzaurte, que soporta una categoría de tráfico tipo T 3A. En el año 2017 se procedió a la extensión de una capa de rodadura de 5 cm de espesor de mezcla bituminosa templada con emulsión tipo ACBE 16 surf S, fabricada con material bituminoso recuperado en una proporción del 30 %, siendo el 70 % restante de árido ofítico. La emulsión utilizada fue del tipo C65B4 MBC con una dotación de 6% s/m. A continuación en la tabla 11 se presentan los resultados obtenidos en el control de la obra y su posterior seguimiento una vez en servicio la carretera.

Tabla 11. Valores medios de los ensayos más significativos realizados durante la puesta en obra

MEZCLA BITUMINOSA TEMPLADA ACBE 16 SURF C65B4 MBC S OFITA R30%		
CARACTERIZACIÓN DEL LIGANTE RESIDUAL	Penetración, 25 °C	35 dmm
	Punto de reblandecimiento	66,1 °C
CONTENIDO DE LIGANTE RESIDUAL EN LA MEZCLA		4,8%
DENSIDAD MÁXIMA DE LA MEZCLA SEGÚN UNE-EN 12697-5		2,553 Mg/m ³
DENSIDAD APARENTE S.S.S. según la UNE EN 12697-6	Impacto (75 golpes/cara)	2,390 Mg/m ³
	Impacto (50 golpes/cara)	2,358 Mg/m ³
	Giratoria (110 giros)	2,407 Mg/m ³
	Giratoria (80 giros)	2,404 Mg/m ³
CONTENIDO DE HUECOS según la UNE EN 12697-8 por IMPACTO	En aire	6,4 %
	En árido	17,5 %
SENSIBILIDAD AL AGUA según la UNE EN 12697-12 por IMPACTO (50 golpes /cara)	Resistencia en seco	1,38 MPa
	Resistencia en húmedo	1,14 MPa
	ITSR	83 %
SENSIBILIDAD AL AGUA según la UNE EN 12697-12 por GIRATORIA (80 giros)	Resistencia en seco	1,89 MPa
	Resistencia en húmedo	1,64 MPa
	ITSR	87 %
ENSAYO DE RODADURA, según la UNE EN 12697-22	WTS aire	0,05 mm
	PRD	4.2 %
MÓDULO DE RIGIDEZ A 20 °C según la UNE EN 12697-26 (anexo C)	Módulo por impacto a 75 golpes/cara	3.584 MPa
	Módulo por impacto a 110 giros	4.366 MPa
RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS DURANTE EL SEGUIMIENTO DE OBRA		
Resultados de los testigos extraídos a los 6 meses en servicio como capa de rodadura		
SENSIBILIDAD AL AGUA según la UNE EN 12697-12, a 15 °C, de testigos de obra	Resistencia en seco	1,1 MPa
	Resistencia en húmedo	0,78 MPa
	ITSR	71 %
MÓDULO DE RIGIDEZ A 20 °C según la UNE EN 12697-26 (anexo C)	Módulo de testigos de obra	1.331 MPa
CARACTERIZACIÓN DEL LIGANTE RESIDUAL	Penetración, a 25 °C	41 dmm
	Punto de reblandecimiento	48,0 °C

Sobre los resultados se destacan los siguientes aspectos:

1. En cuanto al sistema de compactación por impacto o giratoria, se consiguen alcanzar densidades similares; ambos sistemas de compactación parecen ser viables a partir de muestras de planta, donde el agua residual en la mezcla es insignificante.

2. La energía de compactación necesaria varía en función de la tasa de reciclado, cuando se utiliza la compactadora giratoria. Según los resultados obtenidos en estas obras, parece que la tendencia es que a tasas altas de reciclado (80%) se necesite poca energía de compactación, del entorno de unos 40 giros, y con tasas bajas (hasta el 30%, según las obras ejecutadas) la energía de compactación sería igual a la que se requeriría sin fresado.
3. Los valores de ITSr obtenidos no cumplen la especificación de la sensibilidad al agua establecida para las mezclas en caliente, cuando se utiliza el compactador de impacto, a excepción de la mezcla ACBE16 surf S R80 con el árido calizo. Sin embargo, con la giratoria, los resultados son más elevados en todos los casos salvo con la caliza, cumpliendo la especificación de las mezclas en caliente. Los valores de las resistencias en seco son más bajos que los que se obtienen en las mezclas en caliente que suelen ser superiores a 2,0 MPa. No obstante, para el tipo de obras en el que se está utilizando estas mezclas templadas, los valores obtenidos se consideran adecuados.
4. La especificación para las mezclas en caliente según el PG3 indica que las deformaciones permanentes para categorías de tráfico T 3, en zonas térmicas estivales medias, ha de ser menor de 0,15 mm (T 3 media) y no fija ninguna especificación para carreteras T4 o para T3 en zona templada, caso frecuente en el País Vasco. Las mezclas bituminosas templadas extendidas cumplen la especificación establecida para mezclas en caliente. La mezcla templada con el valor de WTS más elevado es la mezcla que no incluye material de fresado en su composición.
5. En cuanto al módulo dinámico, se observa que con la giratoria se obtienen resultados más elevados que con la compactación por impacto, y cuanto más tasa de material de fresado incorpore la mezcla, más elevado es el módulo.

6. CONCLUSIONES

Las conclusiones generales que se pueden extraer teniendo en cuenta todas las obras ejecutadas y los resultados de control así como puesta en obra y comportamiento de las mezclas en servicio, son las siguientes

En la Red Foral de Guipúzcoa se han ejecutado, desde 2009, seis obras con estos materiales, totalizando unos 20 km de carretera y unas 13 600 t de mezcla templada. Las mezclas templadas se han ejecutado empleando material reciclado (cuatro obras) y con áridos nuevos (dos obras) en carreteras de tráfico T3 y T4. Todas las obras han tenido buen comportamiento hasta la fecha.

Las mezclas bituminosas templadas con emulsión constituyen una alternativa a tener en cuenta en la rehabilitación estructural y construcción de firmes nuevos. En principio, y hasta disponer de más experiencia sobre su comportamiento, se recomienda su uso en carreteras que soporten intensidades de tráfico medias y bajas (T3 a T 4 y probablemente T2).

Se ha visto que el material cumple las especificaciones generales para mezclas en caliente salvo en lo relativo a la sensibilidad al agua, que se encuentra generalmente en el límite inferior de los valores admisibles para ese tipo de mezclas. En los resultados de este ensayo se aprecia una diferencia entre la compactación por impacto o por giratoria, obteniéndose resultados más favorables con este último método.

En lo relativo al módulo, son mezclas flexibles con módulos muy parecidos a las mezclas en frío cuando las tasas de fresado son bajas o nulas; sin embargo, cuando se trabaja con tasas elevadas de material fresado, los módulos que se obtienen se parecen más a los de las mezclas en caliente, lo que se debe tener en cuenta para su utilización. Se han obtenido valores de módulos de mezclas templadas ACBE16 S de 2.000 a 6.000 MPa en función de la tasa de material de fresado (0%; 30% y 80%), cuando una mezcla en caliente AC S suele presentar un módulo en torno a 6.000 MPa.

Se ha comprobado que, con el procedimiento de fabricación de probetas adoptado, se puede aplicar una compactación por impacto, a diferencia de lo que sucede con las mezclas en frío. La posibilidad de esta compactación debe facilitar el control de obra por laboratorios con equipamientos convencionales. La Diputación Foral de Gipuzkoa seguirá realizando estudios y obras con distintas tasas de fresado que permitan confirmar y finalmente definir un único sistema de compactación tanto para el diseño como para el control de obra.

En el control de calidad se comprobó que disponiendo de un material de fresado relativamente uniforme se pueden conseguir las homogeneidades requeridas por los pliegos. También se ha visto que el material es suficientemente compactable.

Las mezclas bituminosas templadas con emulsión constituyen la técnica que permite la mayor tasa de reutilización del material procedente del fresado de mezclas asfálticas, cuando se fabrican en una planta asfáltica y además de su aportación medioambiental intrínseca, por el menor consumo energético y emisión de gases de efecto invernadero, permiten la incorporación de diversos materiales muy útiles en la rehabilitación estructural de firmes de intensidades de tráfico medias y bajas.

7. REFERENCIAS

- [1] Monografía de Mezclas Templadas con emulsión – ATEB. (Abril 2014)
- [2] M^a Mar Colás. CEPESA. IV Congreso Andaluz de Carreteras – Técnicas templadas con emulsión bituminosa.
- [3] Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco (NFPV)
- [4] Norma 6.3-IC "Rehabilitación de firmes" de la Instrucción de Carreteras
- [5] Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de Carreteras y Puentes PG-3 – Ministerio de Fomento.
- [6] Norma UNE-EN 13108-1:2007 Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 1: Hormigón bituminoso
- [7] Comunicación libre nº 34 de la V Jornada de Asefma del año 2010.
- [8] Comunicación libre nº 4 de la VII Jornada de Asefma del año 2012.
- [9] Comunicación libre nº 3 de la XI Jornada de Asefma del año 2016.
- [10] Comunicación libre nº 2 de la XII Jornada de Asefma del año 2017.



Cepsa Comercial Petróleo S.A.U.
Paseo de la Castellana 259A · 28046 Madrid (España)
Teléfono Atención al Cliente: +34 91 337 75 55
www.cepsa.com