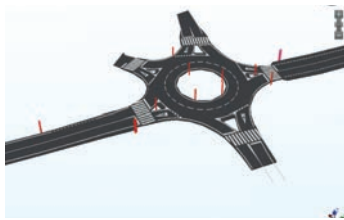


Primera obra ejecutada bajo el modelo de compra pública de innovación en Catalunya: mejora del firme de la carretera TP-7013 entre Alforja – La Selva del Camp



First work executed under the model of public purchase of innovation in Catalunya: improvement of the road Surface TP-7013 between Alforja - La Selva del Camp

Alfredo Bobis
SORIGUE

Mar Subarroca
SORIGUE

Núria Querol
SORIGUE

El presente artículo resume las principales características técnico-ambientales estudiadas dentro de la adjudicación del contrato para la redacción del proyecto y ejecución del refuerzo del firme de la carretera TP-7013 entre el tramo de Alforja y la Selva del Camp donde se aplicaron combinaciones de las técnicas innovadoras de reciclado in situ con emulsión (RFE), mezcla templada con emulsión y mezcla ultradelgada templada. Las actuaciones previstas en el refuerzo del firme de la carretera forman parte del Programa de Compra Pública de Innovación, CPI, enmarcado en la Estrategia de Investigación e Innovación para la especialización inteligente, RIS3CAT, del Gobierno de la Generalitat de Catalunya, que quiere potenciar la innovación como clave para impulsar la economía y la competitividad, y que cuenta con cofinanciación del Programa operativo FEDER de Catalunya 2014-2020. El objetivo de la actuación es desarrollar nuevos métodos y procedimientos en los firmes de las carreteras que los hagan más sostenibles a nivel ambiental y económico, aportando nuevos valores añadidos en su funcionalidad básica de servicio y seguridad viaria. Por ello, se evaluó la actuación comparando el comportamiento del firme innovador con un firme convencional en el que se calculará la huella de carbono, CO₂ eq/tn mezcla empleada, considerando las fases de fabricación, transporte puesta en obra y materia prima, confirmando así su bondad ambiental. Los cálculos realizados sobre el Análisis de Ciclo de Vida de las diferentes mezclas empleadas muestran un ahorro energético en la fabricación, transporte y extendido de las mezclas con emulsión del 30 % para la AC22 KAI, 22 % para la AUTL templada y 72 % para el RFE respecto la mezcla de referencia AC16B 35/50.

This article summarizes the main technical - environmental characteristics studied within the award of the contract for the drafting of the project and execution of the TP-7013 road reinforcement between the Alforja and the Selva del Camp, where combinations of innovative techniques such as in situ cold emulsion recycling , warm mix asphalt emulsion and ultra-thin warm mix taked place. The actions planned to reinforce the road surface are part of the Public Purchase of Innovation Program, CPI, framed in the Research and Innovation Strategy for smart specialization, RIS3CAT, of the Government of the Generalitat de Catalunya, which wants to promote the innovation as a key to boosting the economy and competitiveness, and which is co-financed by the 2014-2020 FEDER operational program of Catalonia. The objective of the action is to develop new methods and procedures on road surfaces that make them more environmentally and economically sustainable, providing new added values in their basic functionality of service and road safety. Therefore, the performance was evaluated by comparing the behavior of the innovative road with a conventional one in which the carbon footprint, CO₂ eq/tn mixture used will be calculated, considering the manufacturing, transport and commissioning phases, and also raw materials. Thus, confirming its environmental goodness. The calculations carried out on the Life Cycle Analysis of the different mixtures studied show an energy saving in the manufacture, transport and spreading of the mixtures with emulsion of 30% for AC22 KAI, 22% for warm AUTL and 72% for the RFE compared to the reference mixture AC16B 35/50.

1. Introducción

La Compra Pública de Innovación es una actuación administrativa de fomento a la innovación, orientada a potenciar el desarrollo de soluciones innovadoras desde la demanda, mediante el instrumento de la compra pública.

La prioridad de este tipo de instrumento se basa en el fomento de la inversión empresarial en R+I, el desarrollo de vínculos y sinergias entre las empresas, los centros de investigación y desarrollo y el sector de la enseñanza superior, en particular mediante el fomento de la inversión en desarrollo de productos y servicios, la transferencia de tecnología, la innovación social, la innovación ecológica, las aplicaciones de servicio público, el estímulo de la demanda, la interconexión en red, las agrupaciones y la innovación abierta a través de una especialización inteligente y mediante el apoyo a la investigación tecnológica y aplicada, líneas piloto, acciones de validación precoz de los productos, capacidades de fabricación avanzada y primera producción, en particular, en tecnologías facilitadoras esenciales y difusión de tecnologías polivalentes.

A su vez también es importante el fomento de estrategias de descarbonización de todo tipo de territorio, especialmente las zonas urbanas, incluido el fomento de la movilidad urbana multimodal sostenible y las medidas de adaptación con efecto de mitigación. [1]

Las actuaciones previstas en el Refuerzo del firme de la carretera TP-7013, del PK 0+000 al PK 15+300 tramo: Alforja – La Selva del Camp forman parte del Programa de Compra Pública de Innovación, CPI, enmarcado en la Estrategia de Investigación e Innovación para la especialización inteligente, RIS-

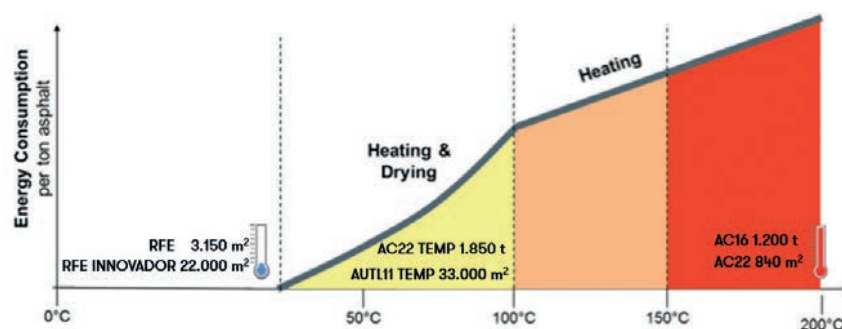


Figura 1. Energía consumida por tonelada de mezcla asfáltica

3CAT, del Gobierno de la Generalitat de Catalunya, que quiere potenciar la innovación como clave para impulsar la economía y la competitividad, y que cuenta con cofinanciación del Programa operativo FEDER de Catalunya 2014-2020.

La técnica innovadora de rehabilitación de firmes empleada en el caso de estudio se basa en la aplicación de metodologías de fabricación y de puesta en obra de mezclas bituminosas a menor temperatura que las mezclas bituminosas convencionales. Estas mezclas bituminosas a menor temperatura comportan frente a las mezclas en caliente utilizadas habitualmente las siguientes mejoras:

- Ambientales: al tratarse de mezclas fabricadas, extendidas y compactadas a baja temperatura, comportan un ahorro energético y una disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y de partículas en suspensión.
- Laborales: estas mezclas poseen varias ventajas operativas en el momento de su extendido y suponen a raíz de la disminución de la temperatura una mayor seguridad y confort para los trabajadores que las aplican.
- Económicas: son más durables, por tanto, comportan menos gasto en conservación, además, se pueden aplicar durante una época del año u horario de

trabajo más amplios ya que dependen en menor medida de la temperatura ambiental y de ejecución.

Las mezclas bituminosas a menor temperatura se definen como la combinación homogénea de áridos, emulsión bituminosa y eventualmente aditivos, de manera que todas las partículas de los áridos quedan recubiertas por una película homogénea de ligante. El proceso de fabricación limita la temperatura final de la mezcla a la salida del mezclador entorno a los 100 °C para mezclas templadas y por debajo de 40°C para reciclado en frío con emulsión [2] (Figura 1).

2. Objetivo

El objetivo principal de la actuación es introducir diversos aspectos considerados innovadores en contraste a las técnicas habituales empleadas en obras de reparación de firmes, con un enfoque prioritario a los materiales y técnicas aplicadas. Se trata de desarrollar nuevos métodos y procedimientos en la rehabilitación de firmes de las carreteras que los hagan más sostenibles a nivel económico y ambiental, aportando nuevos valores añadidos en su funcionalidad básica de servicio y seguridad viaria.

Además, la actuación consta de un importante objetivo ambiental: evaluar la actuación para con-

firmar su sostenibilidad ambiental. Para ello se comparará el comportamiento del firme innovador con un firme convencional en el que se valorará la huella de carbono de las diferentes mezclas empleadas, considerando las fases de fabricación, transporte y puesta en obra.

3. Materiales y método

La actuación expuesta en este artículo responde a la consulta de mercado realizada por la Generalitat de Catalunya orientada a la elección del tipo de mezcla bituminosa innovadora más idónea, atendidas las necesidades planteadas y las disponibilidades del mercado para satisfacerlas. Atendiendo que el objetivo del proyecto es la innovación en el refuerzo de firmes, se han definido siete actuaciones diferenciadas por tramos, las cuales corresponden a las diferentes tipologías detectadas ya sea por la inspección visual previa, por el análisis de deflexiones o por la extracción de testigos.

El tramo 1, extendido de una capa ultradelgada de altas prestaciones de mezcla bituminosa templada tipo AUTL11 de 1.5 cm con una dotación de 35 kg/m². El tramo 2, extendido de una capa de mezcla bituminosa templada tipo AC22 de 5 cm sobre el firme existente, más una capa de 1.5 cm mezcla templada tipo AUTL11, con una dotación de 35kg/m². El tramo 3, de un extendido de una capa de mezcla bituminosa templada de 8 cm tipo AC22 más una capa de 1.5 cm de mezcla AUTL11 templada con una dotación de 35kg/m². El tramo 4, aplicación de la técnica de reciclado en frío con la adición de una emulsión especial modificada, con dotaciones de 1.2 kg/m² y el posterior extendido de 2.5 cm de una mezcla tipo AUTL11

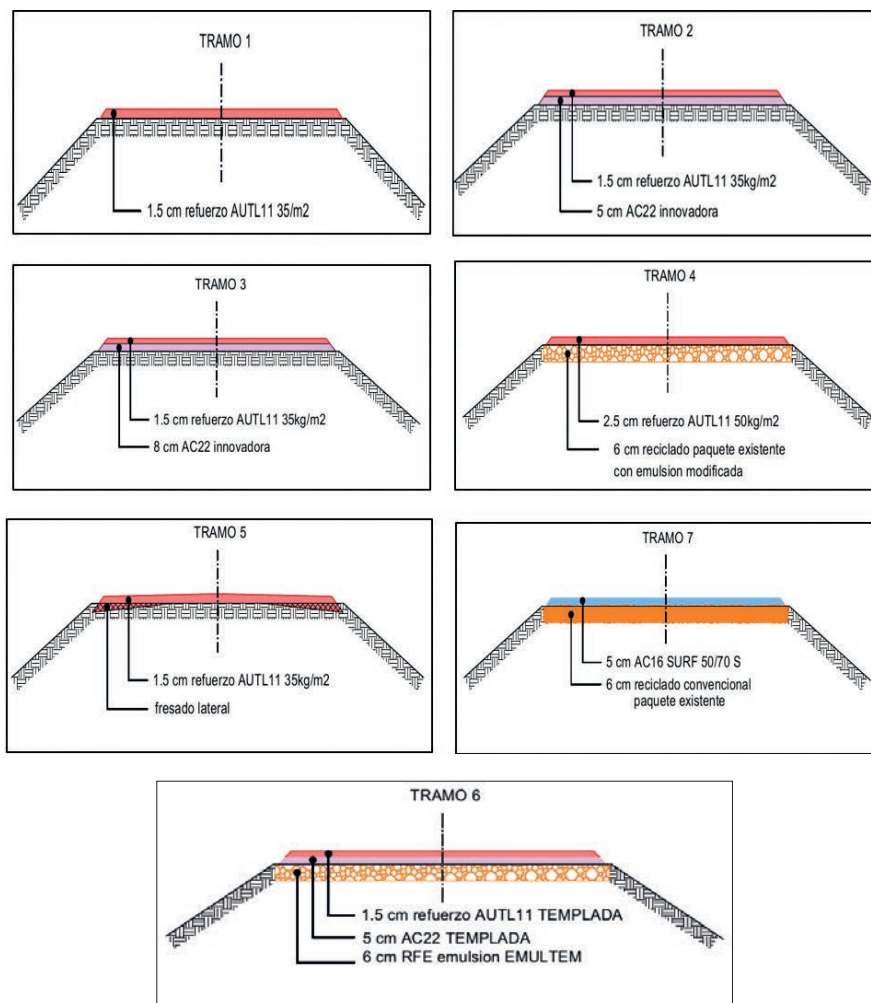


Figura 2. Resumen de los tramos ejecutados en la obra

con una dotación de 50kg/m². El tramo 5, extendido de una mezcla tipo AUTL11 templada con una dotación de emulsión altamente modificada de 1.2 kg/m² seguida del extendido de la mezcla asfáltica con una dotación de 35kg/m². El tramo 6, considerado el más innovador, constó de la aplicación de la técnica de reciclado en frío del firme existente con la adición de una emulsión especial modificada, posterior extendido de 5 cm una mezcla bituminosa templada tipo AC22 y finalmente extendido de 1,5 cm una mezcla tipo AUTL11 templada con unas dotaciones de 1.2 kg/m² seguido del extendido de la mezcla templada a una dotación de 35 kg/m² y finalmente el tramo 7 que sirvió de referencia, en el que se aplicó una solución de recicla-

do en frío in situ convencional y posterior extendido de una mezcla AC16 surf B 50/70 S, (Figura 2).

4. Resultados y discusión

La actuación ejecutada por SORIGUE mediante el procedimiento de CPI tenía el objetivo de mejorar el firme existente de la carretera TP-7013, entre la Alforja y la Selva del Camp (Baix Camp). El proyecto abasteció un tramo de unos 15Km de longitud, en una vía que tiene un tráfico de unos 600 vehículos al día.

El firme objeto de estudio se dividió en 7 tramos diferentes que combinan la aplicación de las técnicas a menor temperatura de reci-

Tabla 1. Características técnicas emulsión RECTACK

Características		Unidades	Norma	Especificación	
				Min.	Máx
Características de la emulsión					
Polaridad de las partículas		-	UNE EN 1430	Positivo	
Contenido del 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 4°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 (99%)	
Características del ligante recuperado por evaporación (EN 13074-1)					
Penetración		0,1 mm	UNE EN1426	≤ 100	
Punto de reblandecimiento		°C	UNE EN1427	≥ 46	

clado en frío, mezclas templadas y mezclas ultradelgadas templadas.

De entre todos los tramos ejecutados, podemos destacar especialmente el tramo 6 como el más innovador. Este comportó la ejecución de 6cm de reciclado en frío in situ del firme existente, con el uso de una emulsión especialmente diseñada para esta obra, la RECTACK, posterior extendido de 5 cm de AC22 templada y finalmente extendido de una capa de rodadura de 1.5 cm de mezcla ultradelgada AUTL11 templada.

En los siguientes apartados se comentan los parámetros más significativos de cada técnica sostenible empleada en esta obra.

4.1. Reciclado en frío in situ con emulsión

Definimos reciclado en frío in situ con emulsión como la mezcla homogénea, convenientemente extendida y compactada, del material resultante del fresado de una o más capas de mezcla bituminosa de un firme existente en un espesor comprendido entre 6 y 12 cm, emulsión bituminosa, agua y eventualmente, aditivos. Todo el proceso de ejecu-

Tamiz	RFE Con	RFE In	HUSO RE-1	
40	100	100	100	100
25	95	100	78	100
20	90	94	69	95
12,5	74	85	52	82
8	57	60	40	70
4	36	41	25	53
2	22	29	15	40
0,5	4	13	2	20
0,25	1	9	0	10
0,063	0,2	4,9	0	3

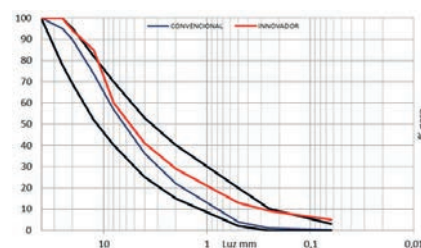


Figura 3: Granulometría reciclado en frío innovador y convencional.

ción de esta unidad de obra se realizará a temperatura ambiente y sobre la misma superficie a tratar [2].

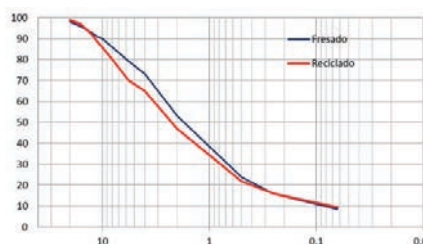
Para obtener el material fresado y poder realizar la fórmula de trabajo del reciclado en frío con emulsión innovadora se realizaron diferentes catas. La emulsión innovadora ha sido diseñada para dar solución a una sección de firme con un alto contenido de zahorras en la mezcla de fresado. La emulsión utilizada ha sido la RECTACK, que potencia la adhesividad árido-ligante y confiere una mayor cohesión a la mezcla resultante, (Tabla 1).

Una vez analizado el material fresado de la obra podemos afir-

mar que este se ajusta al huso de un RE-1, según especificaciones de la OC40/2017 del PG4, (Figura 3).

El Plan de Control de Calidad de la obra se diseñó en base a la experiencia adquirida en el desarrollo de este tipo de técnicas en anteriores obras. El control del material fresado constó de los siguientes ensayos: granulometría (UNE EN 933-1), contenido de ligante (UNE EN 12697-1) y densidad de referencia (UNE EN 103501:1994). Sobre la mezcla reciclada, además de los ensayos anteriormente mencionados se realizaron los ensayos de resistencia a la inmersión compresión (NLT 162), densidad

TAMIZ	FRESADO	RECICLADO
20	98	99
16	96	97
12,5	93	92
11,2	91	89
10	90	86
8	86	80
5,6	79	70
4	73	65
2	53	47
0,5	24	22
0,25	16	16
0,063	8,5	9,5



Humedad (s/a)	1.69	6.46
Contenido de ligante (s/m)	2.37	4.72
Aportación de ligantes (s/m)	%	2.35
Emulsión (s/f)		4.01

Figura 4. Resumen granulometría, humedad, contenido de ligante material reciclado y fresado empleado en obra.

Tamiz	Cata	Obra	HUSO	HUSO
40	100	100	100	100
25	100	100	78	100
20	94	98	69	95
12,5	85	89	52	82
8	60	80	40	70
4	41	61	25	53
2	29	41	15	40
0,5	13	14	2	20
0,25	9	7	0	10
0,063	4,9	1,7	0	3

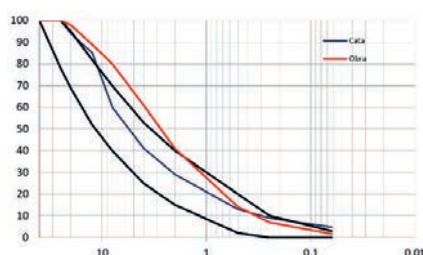


Figura 5: Granulometría muestra en negro de reciclado en frío con emulsión innovadora

Tabla 2. Densidades de la mezcla de áridos y de la mezcla bituminosa compactada

FECHA	IMMERSION COMPRESION (NLT-162)		
	R. SECO (MPa)	R. HUMEDO (MPa)	R. CONSERVADA (%)
24/09/2019	3.817	2.894	75.8
26/09/2019	3.614	2.954	81.7
MEDIA	3.715	2.924	78.8



Figura 6. Reportaje fotográfico tramo de reciclado en frío con emulsión innovadora

y contenido de agua relativo (NLT 363/92), (Figura 4), (Figura 5), (Figura 6), (Tabla 2).

4.2.Capa intermedia templada AC 22 KAI

Las Mezclas Bituminosas Templadas con Emulsión, MBTE, se definen como la combinación homogénea de áridos (incluido el polvo mineral y/o RAP), emulsión bituminosa como ligante y eventualmente aditivos, de manera que todas las partículas de los áridos quedan recubiertas por una película homogénea de ligante. El proceso de fabricación requiere calentar previamente los componentes, limitándose la temperatura final de la mezcla a la salida del mezclador entorno a los 100 °C. Adicionalmente estas MBTE pueden diseñarse para reutilizar material de fresado procedente de pavimentos envejecidos en diferentes porcentajes, pudiéndose alcanzar con esta técnica de reciclado en central tasas de hasta el 100%. En este caso se denominarán Reciclados Templados con Emulsión, en adelante RTE. [2]

Como consecuencia de la tipología de la actuación cobra especial importancia la contribución medioambiental de la aplicación de esta técnica. Si bien la ejecución de la obra tiene el mismo impacto que cualquier otra obra de refuerzo de firme convencional, el uso de mezclas templadas con emulsión comporta un menor impacto medioambiental y por tanto una huella de carbono baja por Tn de mezcla fabricada.

Para el diseño de la mezcla se ejecutó previamente un tramo de prueba y en base a los resultados obtenidos se diseñó la fórmula de trabajo de la mezcla AC22 KAI, optimizando en su formulación el

Tabla 3. Especificaciones técnicas emulsión EMULTEM

Características		Unidades	Norma	Especificación	
				Min.	Máx
Características de la emulsión					
Polaridad de las partículas		-	UNE EN 1430	Positivo	
Contenido del ligante	Por contenido de agua	%	UNE EN 1428	68	72
	Por destilación		UNE EN 1431	68	-
Contenido de aceite destilado		%	UNE EN 1431	-	<= 2
Tiempo de fluencia, 4 mm a 40°C		s	UNE EN 12846	40	100
Residuo de tamizado	tamiz 0,5 mm	%	UNE EN 1429	-	<= 0,1
Índice de ruptura		-	UNE EN 13075-1	70	130
Tendencia a la sedimentación (7 días)		%	UNE EN 12847	-	<= 10
Adhesividad		% cubrición	UNE EN 13614	>= 90	-

esqueleto mineral, reforzando su comportamiento frente a las deformaciones, mezclada con una emulsión especialmente diseñada para su uso en mezclas templadas, la EMULTEM, que tiene un alto contenido de ligante y confiere muy poca cantidad de agua a la mezcla, además de tener una muy alta compatibilidad con el material granular empleado, (Tabla 3).

Es importante resaltar que la fórmula de trabajo empleada contenía un alto porcentaje en material fresado, 38% T-0/8. Se maximiza el uso de fresado a fin de optimizar la formulación considerando el beneficio ambiental aportado por el uso de este material. Se pretende favorecer el adecuado grado de envuelta de la mezcla a la vez con su inclusión. El limitante a su aportación es la adecuación granulométrica de la mezcla en el huso previsto.

El % de ligante empleado también es elevado, 7%. En el proceso de diseño no se ha considerado el ligante del betún procedente del fresado como ligante efectivo, ya que se considera que su capacidad de reblandecer en las condiciones de fabricación donde la temperatura es baja, alrededor de los 100°C, es limitada. Se espera que tenga la función de facilitar la envuelta del proceso y que actúe

COMPONENTES MINERALES DE LA MEZCLA	
DENOMINACIÓN	TIPO
_T-0/8	MATERIAL FRESADO
_T-5/11	PORDIFO
_T10/16	PORDIFO
_T-11/22	PORDIFO
_T-16/31.5	POLIGENICO
_T0/0,063	CEMENTO 42.5
_EMULTEM	C7084

Tamiz	%PASA	HUSO	
31,5	100	100	100
22,5	96	100	90
16	79	87	71
8	46	54	38
2	20	27	13
0,5	11	16	6
0,25	8	12	4
0,063	5,3	7	3

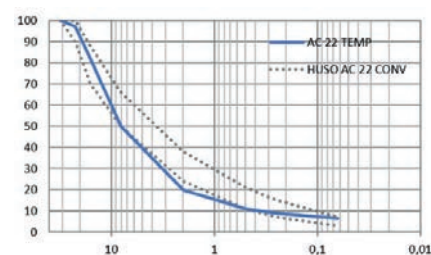


Figura 7. Curva granulométricas AC22 templada

en cierta medida como reserva de ligante que pueda interactuar con el ligante de nueva aportación a medio-largo periodo (Figura 6).

Como consecuencia de las características especiales de la mezcla templada, como puede ser la presencia de agua en la mezcla, ha sido necesario adaptar el control de calidad para llevar a cabo

una caracterización más representativa de su comportamiento:

- La toma de muestras se realizó en la salida del sinfín de la extendidora y se colocó en un recipiente estanco para evitar la pérdida de agua, ya que es un dato importante para conocer. No se cuarteó para evitar la pérdida de agua en el proceso.

Para la determinación del contenido de agua de la mezcla se adaptó la norma UNE EN 1428 de determinación del contenido de agua de una emulsión bituminosa.

- Se realizó un control térmico sobre la mezcla en tres puntos diferentes: en el camión después de la descarga, en la tolva de la extendidora y una vez extendida la mezcla.
- Se desarrolló un ensayo específico para determinar la trabajabilidad de la mezcla adaptando el ensayo de penetración en suelos, ya que actualmente no existe ningún método normalizado para la medida de esta propiedad que consideramos muy importante a conocer.
- La compactación de las probetas se realizó con compactadora giratoria mediante un molde de 150mm de diámetro con una masa de ensayo que nos permita prever la altura de la probeta próxima al espesor hallado en obra. La mezcla será condicionada hasta alcanzar una temperatura de 75°C. Para la determinación del número de giros se consideró como densidad de referencia la obtenida en el tramo de prueba y determinada a partir de ensayos realizados en testigos de obra. Respecto a la curva de compactabilidad realizada en la mezcla del tramo de prueba, se determinó el número de giros con compactadora giratoria que trasladen una energía de compactación equivalente. Este número de giros será aplicado sobre la mezcla para la compactación de probetas en control de producción.

Los resultados obtenidos en el control de calidad de la ejecución de la AC22 KAI templada fueron los siguientes, (Tabla 4).

Tabla 4. Resumen control calidad AC22KAI

Densidad máxima	-	kg/m3	2413
SSS	Densidad	kg/m3	2328
	Huecos en mezcla	%	3,5
Geométrica	Densidad	kg/m3	2205
	Huecos en mezcla	%	8,6
Humedad	s/a	%	2.37
Emulsión equivalente	s/m	%	7.29
H2O	s/m	%	2-2.5
Sensibilidad al agua	Respecto mezcla convencional	%	>85
Inmersión-Compresión	Rotura en seco	MPa	13,78
	Rotura en húmedo	MPa	12,31
	Resistencia conservada	%	89,3

Tabla 5. Registro de temperaturas registradas durante la ejecución AC22 KAI

REGISTRO TEMPERATURAS			
FECHA	Tª FABRICACIÓN	Tª OBRA	Tª COMPACTACIÓN
9/10/2019	89	85	70
10/10/2019	85	80	68
11/10/2019	85	81	69
14/10/2019	84	80	71



Figura 8. Reportaje fotográfico tramo AC22 KAI templada

Los resultados obtenidos muestran un comportamiento mecánico adecuado a los requisitos solicitados. El contenido de agua en la mezcla en el momento de la caracterización es elevado y prevemos la pérdida progresiva del mismo, incrementándose en la misma medida el volumen de huecos de aire presentes en la misma. La muestra presenta un buen comportamiento a la acción del agua en su caracterización.

Para el control de calidad también se registraron las temperaturas de fabricación, puesta en obra y compactación, (Tabla 5).

Es importante destacar que la ejecución de la mezcla AC22 KAI templada se realizó a temperaturas inferiores a 100°C durante todo el proceso y además las temperaturas de compactación son significativamente bajas, sin embargo, han permitido alcanzar valores satisfactorios de densidades adaptando los medios de compactación adecuados.

4.3. AUTL Templada

Las Asphalt for Ultra-Thin Layers, AUTL son mezclas bituminosas en caliente utilizadas para

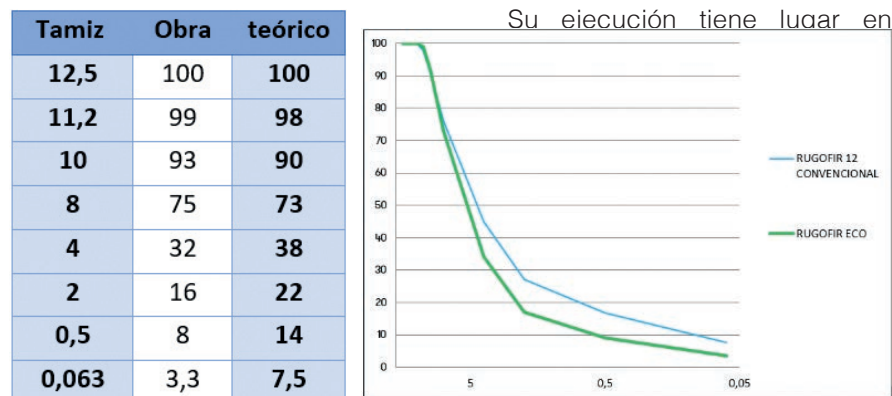


Figura 9. Granulometría de la mezcla empleada

Tabla 6. Resumen control calidad AUTL templada

Filler	%	3,7 +/- 0,8
Humedad (s/a)		0,7 -1,36
Contenido de ligante		5,43
Emulsión equivalente (s/a)		7,76
Emulsión equivalente (s/m)		7,35
Betún residual (s/m)		4,9

Tabla 7. Registro temperaturas registradas durante la ejecución de la AUTL templada

REGISTRO TEMPERATURAS			
FECHA	Tª FABRICACIÓN	Tª OBRA	Tª COMPACTACIÓN
30/10/2019	88	79	47
31/10/2019	89	78	46
4/11/2019	88	78	52
5/11/2019	87	61	49
6/11/2019	85	74	56
7/11/2019	92	80	60



Figura 10. Resumen fotográfico mezcla AUTL templada

capas de rodadura colocadas en espesores comprendidos entre 1 y 2 cm donde la distribución de las partículas de árido está diseñada para formar una estructura basada en el contacto árido-árido para proporcionar una textura superficial abierta.

una sola operación que permite la aplicación conjunta de un riego de emulsión adherente, altamente modificada, ELASTAM, con unas dotaciones de entre 0,8 y 1,5kg/m². En este caso la fabricación de la AUTL ha sido siguiendo las premisas para la fabricación de una

mezcla templada, por lo que se ha empleado la emulsión EMULTEM. Esta mezcla se ha extendido con dotaciones de 35kg/m² mediante una extendidora de mezcla asfáltica con una rampa de riego integrada que permite extender la mezcla en un tiempo inferior a 20 segundos después de la aplicación de la emulsión.

Para realizar el ensayo de pista según la norma UNE-EN 12697-22 se utilizarán testigos y no probetas. No se considera viable la confección de probetas con espesores de obra mediante el sistema de compactación con giratoria y se realizará el ensayo sobre testigo que contengan la capa de base y la rodadura ultradelgada. (Figura 9).

Los resultados obtenidos en el control de calidad de la ejecución de la AUTL templada fueron los siguientes, (Tabla 6).

En este caso, aunque la muestra no contiene fresado, el contenido de ligante es próximo al utilizado en mezclas en caliente. Se observa un menor contenido de agua en la mezcla respecto la AC 22 KAI debido a que no se ha empleado RAP para su fabricación.

Igual que en el extendido de la mezcla AC22 KAI se hizo un seguimiento de las temperaturas de fabricación, obra y compactación, ya que la mezcla AUTL se fabricó siguiendo las premisas de una mezcla templada, (Tabla 7).

El seguimiento y control de temperaturas en el proceso de fabricación, extendido y compactación refuerzan la homogeneidad del sistema. El proceso de compactación no es fundamental, ya que nos basamos en la formulación y aplicación de la mezcla en principios donde el esqueleto monogranular minimiza la necesidad de compactación, y prácticamente se consiguen

los valores necesarios a la salida de la extendidora. Así, nuestro sistema de compactación pasa a emplearse como sistema de acabado, asegurando el contacto e integración con la emulsión modificada ELASTAM aplicada de manera conjunta con el extendido de la mezcla AUTL templada.

5. Contribución ambiental

Desde el punto de vista del Análisis del Ciclo de Vida (ACV), la solución asociada a la fabricación de mezclas templadas con emulsión tiene un impacto relevante en la reducción de emisiones de CO₂ respecto a las técnicas de fabricación en caliente, sobre todo durante la fase de fabricación, ya que las técnicas convencionales en caliente cuentan con la combustión del quemador de combustibles fósiles para elevar la temperatura de los áridos hasta 160-180°C. En este proceso de calentamiento, la evaporación del agua que contiene el árido aumenta el consumo de calor requerido por el cambio de fase de esta.

La fabricación de mezclas templadas implica la fabricación de mezclas bituminosas a temperaturas inferiores a los 100°C, reduciendo así de manera muy relevante la demanda de energía requerida durante el calentamiento de los áridos respecto a las mezclas en caliente o semicalientes.

El objetivo del estudio es valorar la huella de carbono de diferentes mezclas utilizadas considerando las fases de fabricación, transporte y puesta en obra. De esta manera se puede valorar las mezclas desde un punto de vista ambiental, cuantificando el diferencial entre las diferentes opciones empleadas en la obra real.

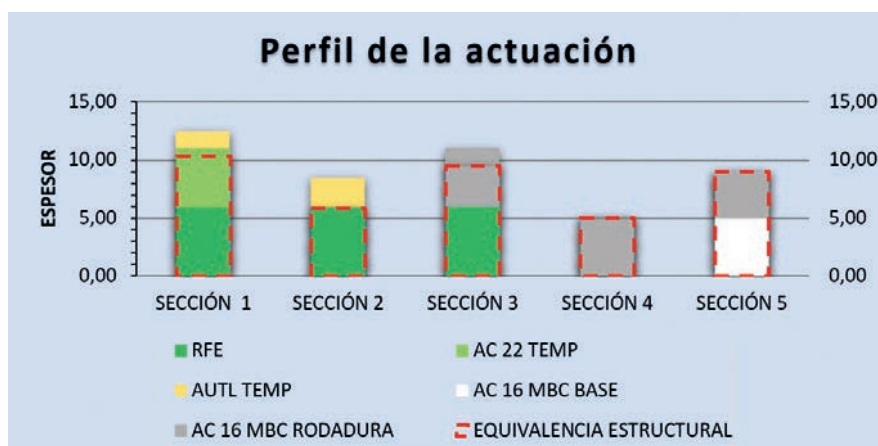


Figura 11. Perfil de las diferentes actuaciones considerando fabricación, transporte y extendido

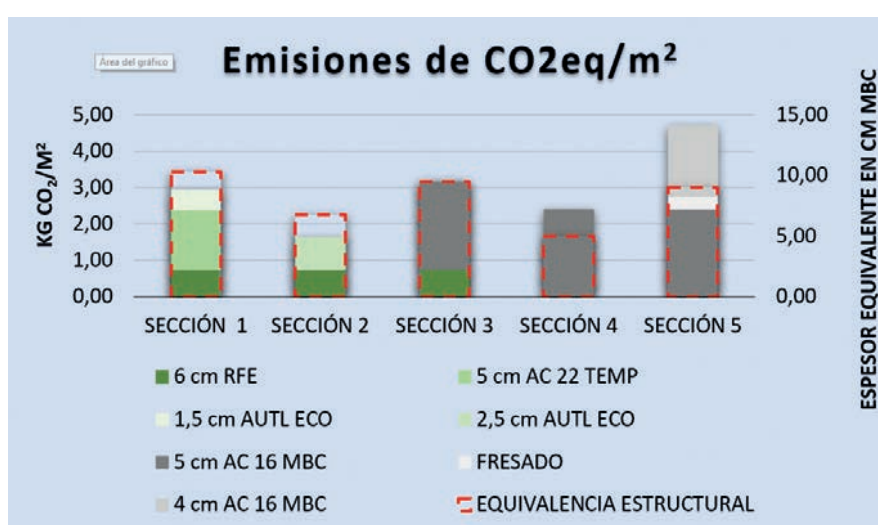


Figura 12. Emisiones de CO2eq/m²

Tabla 8. Tabla resumen Kg CO₂/Tn diferentes mezclas estudiadas considerando fabricación, transporte, puesta en obra y materia prima [3-8]

TIPO MEZCLA	Kg CO ₂ /Tn					
	FAB.	TRANS.	P. OBRA	FAB. + TRANS. + P. OBRA	MATERIA PRIMA	TOTAL
RFE		1.15	4.47	5.62	6.56	12.18
AC22 KAI	6.95	3.15	3.70	13.79	16.65	30.44
RUGOFIR ECO	7.18	3.72	4.52	15.42	18.80	34.22
MEZCLA REF	13.20	3.27	3.33	19.80	17.33	37.13

Muchos de los datos disponibles sobre la reducción de emisiones se fundamentan en datos teóricos sobre consumos de plantas en función de la temperatura de secado de los áridos. En este caso, el objetivo es confirmar con datos reales recogidos en la ejecución de una obra que permite trabajar en condiciones de régimen de producción representativos. El estudio de las diferentes fases por separa-

do nos permitirá conocer cuál es el peso específico de esas fases en las que intervenimos e identificar donde tiene que ser prioritario el enfoque de las mejoras técnicas y organizativas para conseguir los objetivos.

Los resultados presentados serán representativos para esta obra en concreto, ya que los valores característicos de fabricación y colo-

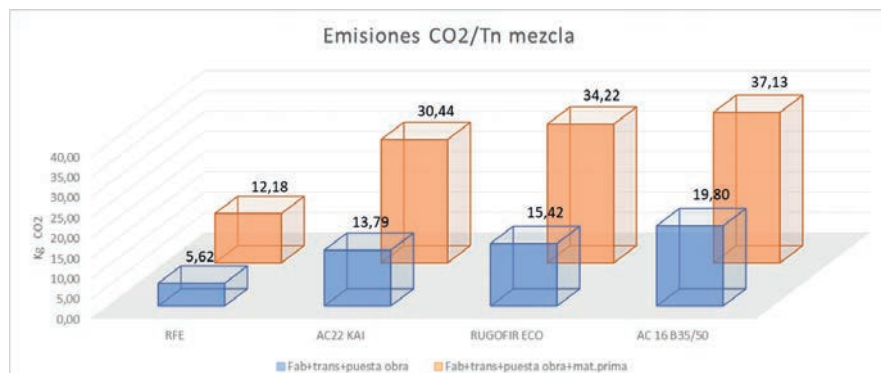


Figura 13. Ahorro de emisiones diferentes técnicas innovadoras considerando la fabricación, el transporte, la puesta en obra y la materia prima

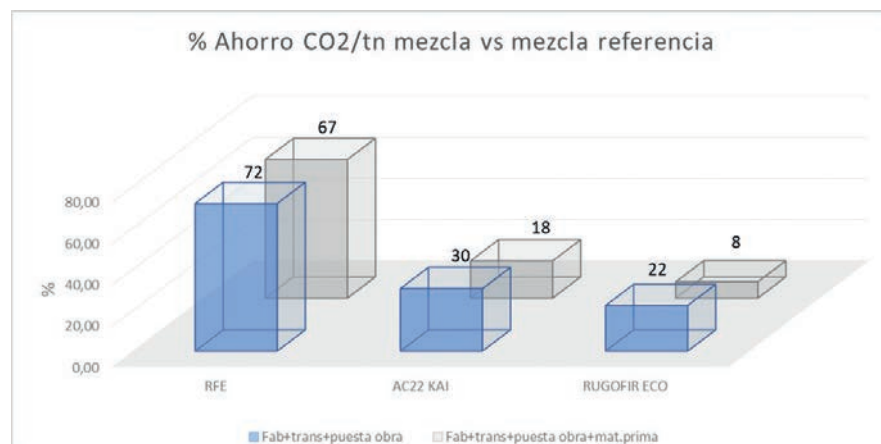


Figura 14. Ahorro de emisiones diferentes técnicas innovadoras considerando la fabricación, el transporte, la puesta en obra y la materia prima

19.80 para el RFE, la AC22 KAI, el RUGOFIR ECO y la mezcla de referencia AC16 B35/50 respectivamente. Si además tenemos en cuenta la materia prima, estas emisiones se convierten en 12.18; 30.44; 34.22; 37.13 kg CO₂/tn para el RFE, la AC22 KAI, el RUGOFIR ECO y la AC16 B35/50 respectivamente, (Figura 13).

Estas emisiones de CO₂/tn suponen un ahorro energético por tonelada en la fabricación, transporte y puesta en obra de las mezclas con emulsión del 72 % para el RFE, 30% para la AC22 KAI, 22% para la RUGOFIR ECO y respecto a la mezcla de referencia AC16B 35/50 y del 67%, 18% y 8% respectivamente si también tenemos en cuenta la materia prima, (Figura 14).

Además de todos los ensayos comentados anteriormente, durante la fase de explotación de la obra se llevará a cabo un seguimiento de las propiedades superficiales y estructurales del firme para evaluar su funcionalidad y capacidad estructural. Para ello se realizará un seguimiento durante 6 años de las características mecánicas y funcionales que ofrecen las nuevas soluciones y también las del tramo con aplicación de solución convencional mediante la realización de los ensayos y auscultaciones de: medida de la textura superficial del firme por el método del círculo de arena (NLT-335/87), medida del coeficiente de resistencia al deslizamiento mediante el péndulo TRRL (NLT-175/88), medida del coeficiente de resistencia al deslizamiento mediante MicroGrip Tester, medida del módulo de la sección de firme mediante la extracción de testigos, medida del coeficiente de rozamiento transversal (CRT) mediante el equipo de SCRIM (UNE-EN 41201), medida del estado estructural de la sección de firmes mediante la medida de de-

cación en obra serán función de la producción diaria permitida por los condicionantes de cada actuación. En el caso del transporte, también será función de la distancia que en cada caso haya entre la planta y la obra estudiada.

La información relativa por tonelada es de especial interés especialmente para comparar datos relativos a consumo y emisiones asociadas a la fabricación. Con la finalidad de poder realizar un balance completo del impacto ambiental de las diferentes secciones contrastadas en la obra, se han realizado cálculos considerando el impacto por m² de sección. Para su estimación se ha considerado las 4 secciones más representativas y como alternativa el cálculo de una hipotética sección realizada en una actuación convencional para este tipo de firmes. Los perfiles selec-

cionados se pueden ver en la Figura 11.

Identificamos en el gráfico anterior mediante líneas discontinuas los centímetros equivalentes de MBC. Para realizar este cálculo se ha considerado un factor de equivalencia del 75% para el reciclado en frío con emulsión (RFE) respecto a una MBC y del 90% para mezclas templadas, para las que se prevé una evolución en las prestaciones estructurales que se evaluara en las campañas de auscultación programadas durante el periodo de seguimiento de la obra. (Figura 12).

Los cálculos realizados sobre el Análisis de Ciclo de Vida de las diferentes mezclas empleadas considerando las fases de fabricación, transporte y puesta en obra muestran unas emisiones de CO₂/tn de 5.62; 13.79; 15.42 y

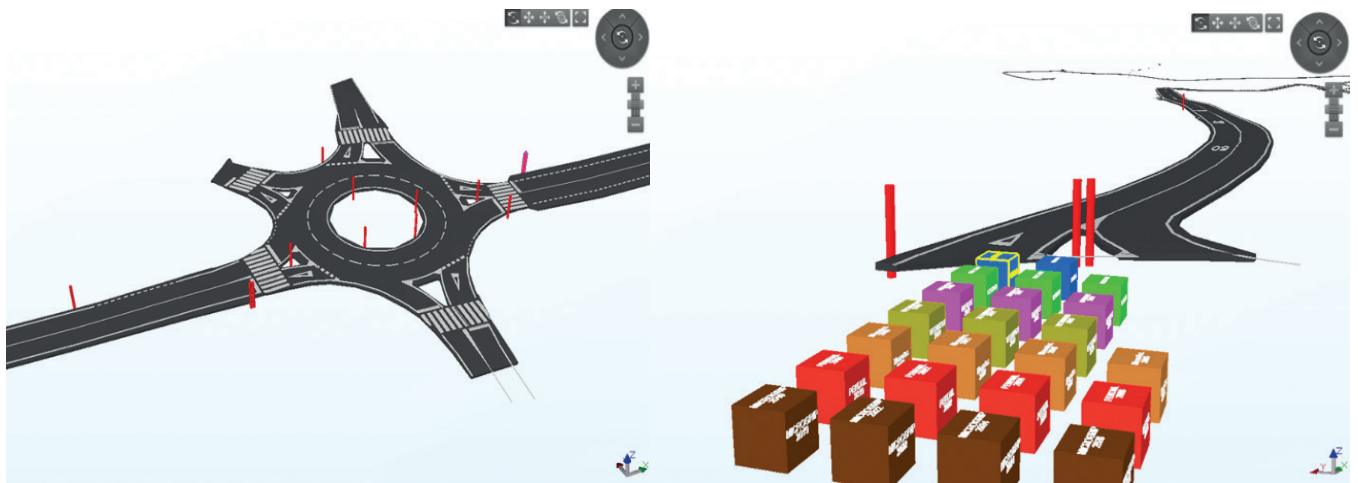


Figura 15. Detalle de la metodología BIM utilizada en la obra

flexiones con equipo deflectómetro de impacto (FWD; NLT-338/07) y finalmente la medida de la regularidad superficial del firme mediante la obtención del parámetro de IRI (NLT-330/98) mediante un perfilómetro laser.

6. BIM

Adicionalmente en el desarrollo de todas las fases del proyecto se empleó la metodología BIM con el fin de incorporar mecanismos de registro e intercambio de la información generada con un espacio virtual compartido. Se empleó un repositorio digital donde todos los agentes implicados tuvieron acceso durante todo el proyecto a información fiable y actualizada, para fomentar su participación en todo momento y participar en la toma de decisiones.

En esta plataforma la información se ordenó de acuerdo con una estructura de carpetas preestablecida, según la fase del proyecto y el nivel de validación, cuyos archivos se nombraron con una nomenclatura específica para su rápida identificación. También se establecieron ciertos permisos a los agentes implicados para limitar la administra-

ción, edición o visualización de los documentos.

Durante el transcurso del proyecto, se empleó la herramienta virtual Teams para las comunicaciones más inmediatas, con el fin de seguir en tiempo real el avance de las tareas en curso, documentación actualizada en el repositorio, etc. Además, para facilitar la trazabilidad del avance del proyecto, se realizó un seguimiento fotográfico diario que se incorporó en el repositorio digital.

Finalmente, en la fase de construcción y obra ejecutada, el equipo de modelaje realizó el proceso de modelado 3D. Consiste en la representación de los elementos construidos mediante sólidos con atributos. Éstos recogen la información generada durante todas las fases del proyecto, incluyendo también las auscultaciones de la unidad terminada.

De esta manera se ha garantizado durante todo el proceso la accesibilidad a información completa y verificada y su posterior recogida en un espacio 3D de una manera estructurada, comprensible y compatible.

7. Conclusiones

El presente artículo resume las principales características técnicas estudiadas dentro de la adjudicación del contrato para la ejecución del refuerzo del firme de la carretera TP-7013 entre el tramo de Alforja y la Selva del Camp donde se aplicaron distintas técnicas innovadoras.

Con la ejecución de la obra aplicando las diferentes técnicas sostenibles se ha podido constatar un comportamiento estructural y funcional del firme totalmente equivalente a una solución convencional.

Los cálculos realizados sobre el Análisis de Ciclo de Vida de las diferentes mezclas empleadas muestran un ahorro energético en la fabricación, transporte y extendido de las mezclas con emulsión del 31 % para la AC22 KAI, 24 % para la AUTL templada y 72 % para el RFE respecto la mezcla de referencia AC16B 35/50.

La combinación de las técnicas sostenibles empleadas en el refuerzo del firme de la carretera TP 7013 ha permitido un ahorro de emisiones de CO₂ de 107 Tn de CO₂ eq, lo que supone una reducción del

45% de emisiones frente a adoptar una solución convencional. Además de la reducción del 66% en el uso de materias primas y del 78% de toneladas transportadas por vías colindantes para la ejecución de la obra.

Adicionalmente se empleó la metodología BIM con el fin de incorporar mecanismos de registro e intercambio de la información generada con un espacio virtual compartido. Y se ha establecido un periodo de 6 años de garantía en el que se realizaran diferentes ensayos sobre las propiedades superficiales del firme para asegurar el buen comportamiento de la solución adoptada.

8. Agradecimientos

Desde SORIGUE queremos agradecer la confianza establecida en nuestro equipo, la capacidad de trabajo colaborativo, la aceptación del cambio y la disponibilidad para incorporar conceptos y formas de trabajar totalmente nuevas, muy alejadas de las convencionales que siguen el criterio normativo del Pliego de Prescripciones Técnicas para Obras de Carreteras y Puentes, PG3, por parte de todo el equipo del Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya que ha participado en el proyecto, desde la concepción de la idea hasta la recepción de la obra y en especial a los miembros del Servei Territorial de Carreteres de Tarragona. Sin esta sensibilidad habría sido imposible acometer estos trabajos.

A todo el equipo de obra: operarios de los equipos de extendido y reciclado; técnicos de laboratorio interno y externo; encargados; plantistas de áridos, mezclas y emulsiones; equipo de logística y transporte; técnicos de producto e

IDi; que fueron capaces de desaprobar o dejar de lado el “siempre se ha hecho así”, mostrando interés por lo nuevo y, en definitiva, materializando la innovación.

Finalmente agradecer el apoyo de la Unión Europea, para el desarrollo de esta actuación que se ha desarrollado con la ayuda de fondos europeos de desarrollo regional dentro del programa de inversión en crecimiento y ocupación 2014-2020 FEDER.

8. Bibliografía

- [1] Generalitat de Catalunya. <http://territori.gencat.cat>. Compra Pública Innovadora
- [2] ATEB. Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas. <http://www.ateb.es>. Producción de Mezclas Asfálticas con emulsión. Abril 2020
- [3] Guía de pavimentos asfálticos para baja intensidad de tráfico. Instituto Valenciano de la Edificación (IVE), Diputación de Valencia, Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (Asefma). Diciembre 2019
- [4] Informe del inventario nacional de gases de efecto invernadero. Comunicación al secretariado de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Serie 1990-2017. Edición abril 2019.
- [5] The Eurobitume life-cycle inventory for bitumen. European Bitumen Association. 3rd Edition December 2019
- [6] Factores de emisión. Registro de la huella de carbono, compensación y proyecto de absorción de dióxido de carbono. Oficina Española del Cambio Climático. Ministerio para la

transición ecológica y el reto demográfico. Versión 15. Junio 2020

- [7] Agua y alcantarillado de Bogotá. www.acueducto.com.co. Anexo 4. Factores de emisión por combustión.
- [8] Transport Research Laboratory. Protocol for the calculation of the whole lifecycle greenhouse emissions generated by asphalt. M. Waymann et al. Report PPR 575. Versión 4.1. 2014. ♦