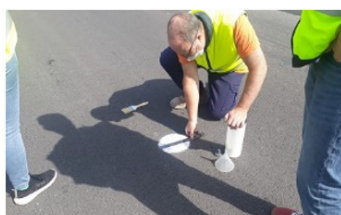


Mezclas bituminosas ultradelgadas semicalientes, sostenibles y seguras



Sustainable and safe ultrathin warm mix asphalt

José Ramón López Marco

Pavasal Empresa Constructora S.A.

Rebeca Sastre Rabal

Pavasal Empresa Constructora S.A.

Julio López Ayerra

Centro Tecnológico de la Construcción R. Murcia

Gloria Motos Cascales

Centro Tecnológico de la Construcción R. Murcia

Jesús Felipo Sanjuán

Pavasal Empresa Constructora S.A.

Este trabajo presenta los resultados obtenidos durante el proyecto de I+D denominado ULTRAPAV, desarrollado por Pavasal Empresa Constructora S.A. y el Centro Tecnológico de la Construcción R. Murcia- CTCON; el proyecto ha sido financiado por CDTI y Fondos Europeos FEDER. El objetivo principal del proyecto ha sido el desarrollo de pavimentos bituminosos sostenibles y seguros, con altas prestaciones mecánicas, para capas de rodadura de carretera. En el proyecto se ha estudiado la posible capacidad de estos pavimentos de reducir el empleo de recursos naturales, disminuir el consumo de combustible de los vehículos, rebajar la temperatura de fabricación de las mezclas bituminosas, aumentar la seguridad vial y reducir la emisión de partículas a la atmósfera al disminuir el desgaste de los neumáticos y del firme.

Se han realizado ensayos y estudios sobre las mezclas bituminosas entre los que destacan los realizados sobre las prestaciones mecánicas, estudio del comportamiento antideslizante de las mezclas mediante ensayos de laboratorio, cálculo de la resistencia a la rodadura y consumo de combustible, resistencia al desgaste de los neumáticos y estudio sobre las características acústicas.

Se presentan los resultados obtenidos sobre cuáles son las características de diseño que deben tener los pavimentos de alta sostenibilidad. Posteriormente se ha validado dicha investigación mediante tramos de prueba realizados en carreteras convencionales. Se han estudiado mezclas bituminosas susceptibles de ser usadas para capa de rodadura como son las de tipo hormigón bituminoso AC, mezclas tipo discontinuas BBTM y las de tipo ultrafinas AUTL.

This paper presents the results obtained during the R&D project called ULTRAPAV, developed by Pavasal Empresa Constructora S.A. and Región de Murcia Construction Technology Center - CTCN, a project supported by CDTI and European FEDER Funds.

The main objective of the project was the development of sustainable and safe bituminous pavements, with high mechanical performance, for road wearing courses. These pavements can reduce the use of natural resources, reducing vehicle fuel consumption, lowering the temperature of manufacturing and laying, increasing road safety, and reducing the emission of particles into the atmosphere.

Tests and studies on bituminous mixes were carried out with those on mechanical performance standing out, studying of the non-slip behavior of the mixtures through laboratory tests, calculation of rolling resistance and fuel consumption, wear resistance of the tires and studying on acoustic characteristics.

The results obtained on the design characteristics that highly sustainable pavements should have, are presented. This research was subsequently validated through test sections carried out on conventional roads. Bituminous mixtures that can be used for wearing course were studied, such as the AC bituminous concrete type, BBTM discontinuous type mixtures and the AUTL ultrathin type.

1. Introducción

En los últimos años se ha trabajado mucho en desarrollar mezclas bituminosas más sostenibles medioambientalmente mediante la aplicación de tecnologías que incidieran en aumentar la durabilidad de los firmes, disminuir las temperaturas de fabricación de las mezclas y en la incorporación de materiales reciclados o recuperados.

Con respecto a las mezclas para capas de rodadura se ha actuado en la obtención de buenas prestaciones mecánicas, acústicas y de seguridad, pero resulta necesario continuar actuando en otros aspectos medioambientales como pueden ser la disminución del gasto energético y de recursos naturales en su producción o la reducción de consumos de combustible de los vehículos y el desgaste de los neumáticos de los mismos en su periodo de uso.

Por tanto, se ha considerado interesante diseñar mezclas bituminosas sostenibles para capas de rodadura donde se tengan en cuenta el conjunto de estas cuestiones.

Así, con el desarrollo de estas mezclas se ha buscado alcanzar las siguientes ventajas:

- Ahorros energéticos y de recursos naturales en el proceso de fabricación.
- Aumento de la seguridad en las carreteras.
- Disminución del consumo de combustible en los vehículos.
- Reducción de la contaminación de las partículas en suspensión.
- Reducción de la contaminación acústica del tráfico.

El procedimiento de trabajo seguido ha llevado a una serie de mezclas diseñadas en laboratorio donde se han realizado diferentes ensayos para comprobar las características relevantes de las mismas. Una vez estudiadas, se han seleccionado cuatro mezclas (dos AUTL, una AC y una BBTM) para la realización de tramos de prueba y la comprobación de los parámetros en servicio.

Los ensayos realizados en el laboratorio han servido para seleccionar las mezclas que se han considerado más adecuadas para realizar posteriormente los tramos de prueba, no coincidiendo, en muchos casos, los ensayos realizados en obra con los aplicados en el laboratorio en la primera fase.

Debido a que algunas de las características que se querían medir no tenían ensayos normalizados, se diseñaron algunas pruebas que, a falta de un mayor contraste, podían dar información sobre los parámetros y características a estudiar.

2. Trabajos previos en el laboratorio

2.1. Fórmulas de trabajo

Como se ha comentado anteriormente, la finalidad del proyecto es desarrollar mezclas bituminosas sostenibles con altas prestaciones mecánicas. Para ello, se ha avanzado en el diseño de mezclas bituminosas en caliente o semicalientes para capas de rodadura y todo tipo de tráfico.

Las propiedades específicas más relevantes que se han tenido en cuenta en el diseño de las mezclas a desarrollar son:

- Resistencia a las deformaciones plásticas, a la acción del agua y a la desintegración.
- Módulo de rigidez.
- Resistencia al deslizamiento.

- Propiedades acústicas.
- Resistencia a la rodadura.
- Resistencia al desgaste de los neumáticos.

Con el objetivo de poder comparar los resultados de diferentes tipos de mezclas bituminosas, se han seleccionado para el desarrollo del proyecto las mezclas tipo hormigón asfáltico (AC), las mezclas bituminosas para capas delgadas (BBTM) y las mezclas bituminosas Ultrafinas (AUTL). Las dos primeras son empleadas habitualmente en España como capa de rodadura, mientras que las AUTL han sido recientemente normalizadas por la Dirección General de Carreteras.

Así, las fórmulas de trabajo de las mezclas bituminosas desarrolladas y estudiadas en este documento serán de tipo AC, BBTM y AUTL, variando y combinando los materiales seleccionados.

En cuanto a la selección de materias primas, se han elegido materiales que cumplen con los requisitos técnicos definidos en los artículos del PG-3 para su uso en la fabricación de mezclas bituminosas para carreteras. También se han seleccionado áridos de distintas naturalezas mineralógicas (calizo y pórfido) y betunes según las prestaciones mecánicas a obtener (betunes de penetración, modificados y aditivados).

Los tipos de mezclas que se han elegido para realizar los trabajos en el laboratorio han sido las siguientes:

- AC16 SURF 35/50 S. Árido fino calizo y grueso porfídico.
- BBTM-11B 45/80-65. Árido fino calizo y grueso porfídico.

Tal y como se ha comentado anteriormente, las mezclas AC 16 SURF 35/50 S y BBTM-11B 45/80-65 son mezclas que habitualmente se utilizan para capas de rodadura y que van a servir como mezclas control y de referencia.

- AUTL-5 45/80-65. Árido fino y grueso calizo. Granulometría cerrada.
- AUTL-5 45/80-65. Árido fino y grueso calizo. Granulometría abierta.
- AUTL-5 45/80-65. Árido fino calizo y grueso porfídico. Granulometría abierta.
- AUTL-5 45/80-65. Árido fino y grueso porfídico. Granulometría abierta.
- AUTL-5 45/80-65. Árido fino y grueso porfídico. Granulometría cerrada.

Se han utilizado para el estudio distintos tipos de mezclas ultrafinas AUTL-5 constituidas por áridos calizos y porfídicos y con granulometrías cerradas o abiertas.

En la tabla 1 se exponen los tipos de mezclas diseñadas con sus componentes correspondientes.

Para comprobar y comparar tanto las características mecánicas como las prestaciones de las mezclas diseñadas se han tenido en cuenta los siguientes criterios:

- (1) Criterios mecánicos y de durabilidad: mediante la realización de ensayos relacionados con las características mecánicas para las mezclas bituminosas de rodadura de altas prestaciones.

- (2) Criterios de seguridad: mediante el estudio de la resistencia al deslizamiento empleando diferentes metodologías, primero en el laboratorio y posteriormente en obra.
- (3) Criterios de sostenibilidad: mediante el cálculo de la resistencia a la rodadura de las mezclas diseñadas. Se pretende predecir el consumo de combustible que va a provocar cada mezcla al rodar los vehículos por ella.
- (4) Criterios de salud: mediante, por una parte, la evaluación de la influencia de las mezclas en la emisión de partículas por el desgaste de los neumáticos o desgaste de la superficie y, por otra, del ruido de rodadura evaluado en las pruebas en obra.

2.2. Criterios de durabilidad: ensayos de prestaciones mecánicas

Los ensayos de prestaciones mecánicas se han realizado de acuerdo a la normativa vigente especificada en el actual Pliego de Condiciones Particulares PG-3 en los art. 542 y 543[1]. Los ensayos y resultados han sido los siguientes, expuestos en la tabla 2, donde se puede apreciar que todas las mezclas estudiadas obtienen valores adecuados para los distintos ensayos realizados. (Tabla 2)

Tabla 1. Tipos de mezcla para la realización de las fórmulas de trabajo				
Código	Tipo mezcla	Árido fino	Árido grueso	Granulometría
1UP	AC16 SURF 35/50 S	Calizo	Pórfido	
2UP	BBTM-11B 45/80-65	Calizo	Pórfido	
3 UP	AUTL-5 45/80-65	Calizo	Calizo	Cerrada
4 UP	AUTL-5 45/80-65	Calizo	Calizo	Abierta
5 UP	AUTL-5 45/80-65	Calizo	Pórfido	Abierta
6 UP	AUTL-5 45/80-65	Pórfido	Pórfido	Abierta
7 UP	AUTL-5 45/80-65	Pórfido	Pórfido	Cerrada

Tabla 2. Resultados de los ensayos mecánicos

Tipo de mezcla	Contenido de betún (%)	Densidad aparente (kg/m3)	Huecos mezcla (%)	Ensayo Marshall		Sensibilidad al agua		Ensayo rodadura			Módulo resiliente (MPa)
				Estabilidad (kN)	Fluencia (mm)	ITSd (kPa)	ITSR (%)	WTS	RD	PRD	
1UP	4.44	2.504	4.9	15.4	2.4	2.780	97.2	0.061	3.20	5.3	10.044
2UP	4.49	2.219	14.9			1.540	90.8	0.066	2.15	5.4	4.086
3UP	5.19	2.336	6.1	13.7	2.4	2.550	88.3	0.057	2.10	5.3	6.898
4UP	4.59	2.166	13.2	12.7	2.9	1.780	94.9	0.061	2.69	6.7	6.678
5UP	4.55	2.122	19.4	12.7	2.0	1.560	91.8	0.047	2.00	4.9	3.187
6UP	4.69	2.256	15.1	11.8	2.7	1.650	100.0	0.067	3.00	7.6	5.019
7UP	4.92	2.276	13.7	13.3	2.1	2.180	86.3	0.074	2.34	5.9	3.159

2.3. Criterios de seguridad: ensayos de características superficiales que pueden afectar al coeficiente de rozamiento.

Una característica importante a tener en cuenta en las capas de rodadura es la resistencia al deslizamiento al paso de los vehículos, por lo que se ha considerado necesario evaluar las características superficiales de los pavimentos. Se ha recurrido a distintas metodologías para evaluar características de las mezclas que pueden influir en este parámetro y también se ha medido directamente dicha resistencia al deslizamiento. Se han empleado los siguientes métodos:

- (1) Medidas de resistencia al deslizamiento/derrape según UNE-EN 13036-4. Ensayo del péndulo [3].
- (2) Medidas de macrotextura según UNE-EN 13036-1. Ensayo del círculo de arena [4].
- (3) Determinación del rozamiento o fricción en una superficie de mezclas bituminosas tras el pulido según UNE-EN 12697-49 (Método Wehner & Schulze) [5].

De estos ensayos, el que resultó más interesante fue el último donde se utilizó la máquina de Wehner-Schulze (WS) que permite el pulimento acelerado de una mezcla

bituminosa en el laboratorio y su posterior medición de la fricción o rozamiento. Así, se ha podido estudiar y evaluar el comportamiento frente al pulimento de diferentes mezclas bituminosas antes de su puesta en obra y predecir, según este ensayo, la evolución de la fricción con el tiempo, teniendo en cuenta las características de los materiales constituyentes.

Las mezclas diseñadas se han sometido al ensayo midiendo la fricción al inicio y tras la ejecución de diferentes ciclos de pulimento (0, 5.000, 10.000, 15.000, 20.000, 90.000 y 180.000 ciclos). La representación gráfica de los resultados de los valores de fricción a distintos ciclos de pulimento se presenta en la Figura 1.

Dentro de las mezclas fabricadas con material porfídico se puede apreciar que las mezclas ultrafinas AUTL-5 obtienen, con el método de ensayo Wehner & Schulze, valores de fricción mayores que las mezclas estándar AC16 SURF S y BBTM-11B.

2.4. Criterios de sostenibilidad: ensayos de resistencia a la rodadura

En Para poder avanzar en el estudio de la “resistencia a la rodadura” que ofrecerían los pavimentos construidos se ha desarrollado una prueba de laboratorio para intentar obtener información sobre ella. Dicha resistencia está relacionada con el consumo de combustible de

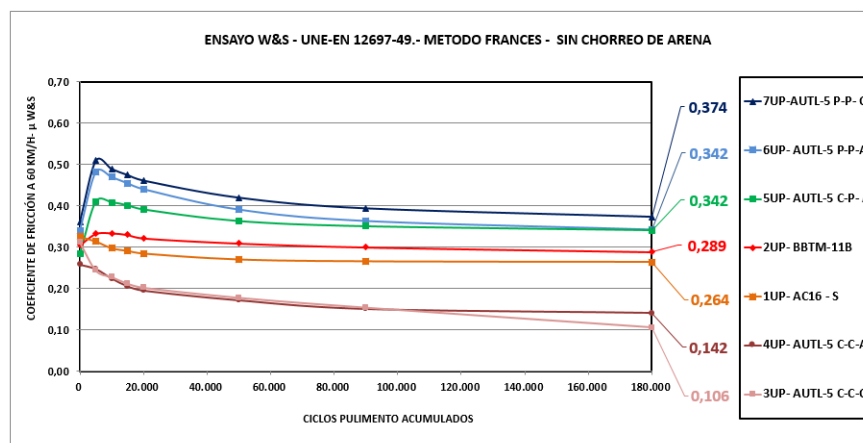


Figura 1. Representación gráfica de la evolución de la fricción en el laboratorio. Máquina Wehner-Schulze.

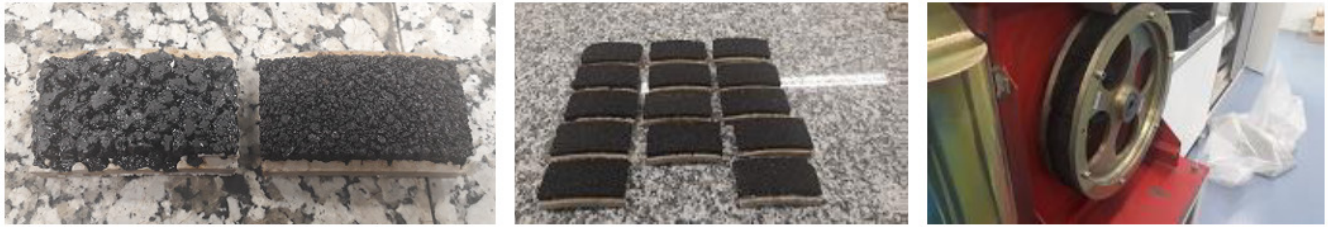


Figura 2. Detalle del proceso de fabricación de las probetas para rueda de CPA.

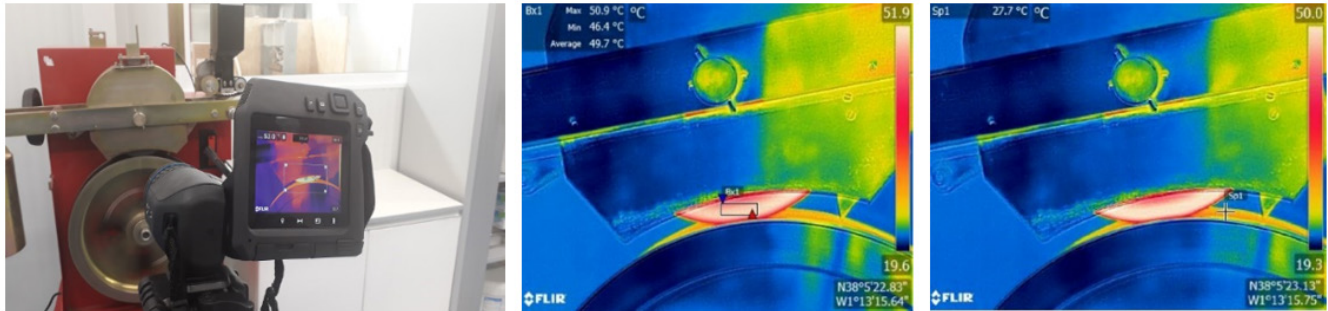


Figura 3. Tomas de video de la evolución de las temperaturas. Detalle termografías

los vehículos al rodar por dichos firmes.

Según la norma ISO 28580[6], la resistencia a la rodadura (RR) es la “pérdida de energía (o energía consumida) en forma de calor por unidad de distancia recorrida”. La RR es la energía mecánica convertida en calor por un neumático por unidad de distancia recorrida.

Para intentar analizar esta característica de los pavimentos se ha diseñado un ensayo de laboratorio modificando el equipo utilizado para medir el coeficiente de pulido acelerado a los áridos (CPA) UNE-EN 1097-8 [7].

Dicho equipo consta de una rueda de caucho que gira sobre otra rueda en la cual habitualmente se coloca el árido a ensayar. En este caso, esa rueda ha sido rellena con la mezcla bituminosa objeto de estudio. Si se hace girar el equipo durante un tiempo determinado se podrá medir el aumento de temperatura tanto del caucho como del pavimento y, por lo tanto, obtener el calor absorbido por ambos. De forma aproximada, la suma del calor absorbido por la rueda y el

pavimento sería la energía consumida al rodar y este calor estará relacionado con la resistencia a la rodadura que ejerce el pavimento. Se han fabricado ruedas con cuatro pavimentos distintos: AC16 SURF S, BBTM-11B, AUTL-5- Granulometría cerrada y AUTL-5- Granulometría abierta.

La última rueda se ha fabricado con árido desnudo de tamaño 6/12 mm simulando una gran rugosidad.

Se han tomado valores de temperatura de las ruedas de caucho y del pavimento mediante una cámara termográfica.

Con las medidas de temperatura de la rueda de caucho y la rueda de pavimento de cada mezcla se obtiene el calor absorbido (Q) por las dos ruedas. Con los valores de incremento de temperatura (T), la masa de cada rueda (m) y su calor específico (Cp) se ha calculado la resistencia a rodadura - RR.

Teniendo en cuenta que el ensayo no está normalizado los resultados obtenidos serían orientativos. Según este procedimiento, los pavimentos con menor RR serían los construidos con mezclas bituminosas de tipo AUTL-5 y BBTM-11B que tienen valores similares obtenidos.

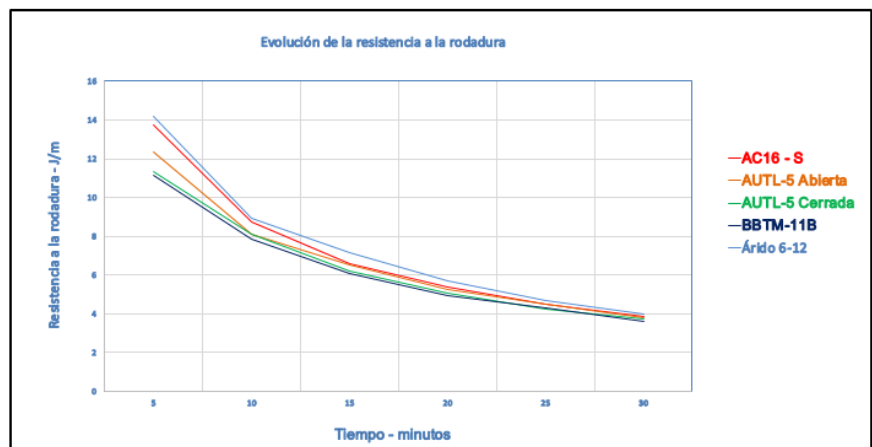


Figura 4. Evolución de la RR inducida en las superficies de los distintos pavimentos.

niéndose, en esta última mezcla, resultados levemente mejores; su valor de RR sería en este caso entre un 10-15 % menor que el de las mezclas tipo AC16 SURF S.

2.5. Criterios de salud: resistencia al desgaste de los neumáticos, emisión de partículas

En este apartado se realizó una aproximación a la influencia de las mezclas estudiadas sobre el desgaste de los neumáticos de los vehículos al rodar por los diferentes firmes. Esta medida resulta muy interesante ya que la contaminación atmosférica representa un riesgo ambiental con consecuencias perjudiciales para la salud. Uno de los contaminantes urbanos que más preocupan son las partículas materiales (PM10 y PM2.5).

No existe un ensayo específico para evaluar la influencia de una mezcla bituminosa en el desgaste de los neumáticos en laboratorio. Por lo tanto, se ha simulado un procedimiento para poder cuantificar el desgaste de una superficie de caucho cuando fricciona con la mezcla bituminosa objeto de estudio. Al igual que en el ensayo anterior, al no existir ensayo normalizado, los valores obtenidos serán orientativos, de los que no podrán obtenerse conclusiones definitivas.

Tabla 3. Pérdida de caucho mediante ensayo de péndulo de fricción

Referencia	Macrotextura	Porcentaje de pérdida de caucho
3UP	0.7	3.08
4UP	1.3	3.42
1UP	1.1	3.50
5UP	1.1	3.48
7UP	0.8	3.59
6UP	0.9	3.91
2UP	1.8	3.91

Así pues, y con el objetivo de conocer algo más este proceso, se ha utilizado el péndulo de fricción inglés TRRL que se usa para comprobar la resistencia al deslizamiento que tiene una superficie, procedimiento definido en la norma UNE-EN 13036-4 [8]. Este ensayo intenta simular la fricción entre una pastilla de caucho y un pavimento provocando un desgaste de la pastilla de caucho.

Se han realizado 2000 simulaciones del ensayo sobre la superficie de las mezclas a estudiar, provocándose un desgaste del caucho de la pastilla. Se ha calculado el porcentaje de pérdida de caucho obtenido en cada mezcla estudiada. Los resultados obtenidos han sido los siguientes (Tabla 3)

Otro tipo de contaminación del tráfico rodado con origen directo es la acústica. El estudio de este pará-

metro se expone más adelante ya que se ha realizado directamente sobre las pruebas en obra.

3. Validación de las mezclas diseñadas. Tramos de prueba

Para validar los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio se han realizado unos tramos de prueba con las mezclas bituminosas de referencia que habitualmente se utilizan en las capas de rodadura (AC16 SURF S y BBTM-11) y otros tramos con mezclas AUTL-5.

3.1. Configuración de los tramos de prueba

Los tramos de prueba se han realizado en la carretera CV-809 de Villena (Alicante) a Caudete (Albacete) con longitudes de entre



Figura 5. Péndulo de fricción. Detalle de las pastillas de caucho utilizadas y su desgaste mediante el ensayo.

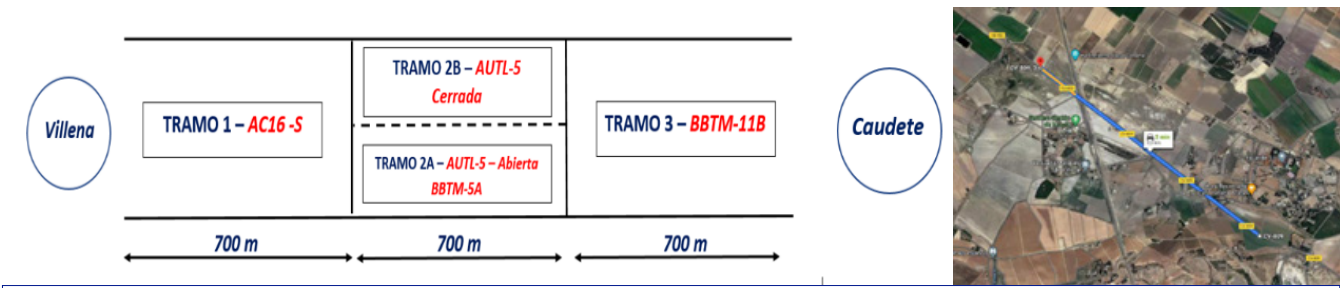


Figura 6. Configuración y ubicación de los tramos de prueba.

700-1000 metros para cada tipo de mezcla. La configuración y características de las mezclas bituminosas de los tramos prueba son los siguientes:

- SECCIÓN 1.- Mezcla de referencia en caliente tipo AC 16 SURF 35/50 S. Árido grueso porfídico y árido fino calizo. Temperatura de fabricación 160 °C.
- SECCIÓN 2A.- Mezcla semicaliente tipo AUTL-5 45/80-65. Granulometría abierta. Árido grueso porfídico y árido fino calizo. Temperatura de fabricación 140 °C.
- SECCIÓN 2B.- Mezcla semicaliente tipo AUTL-5 45/80-65. Granulometría cerrada. Árido grueso porfídico y árido fino calizo. Temperatura de fabricación 140 °C.
- SECCIÓN 3.- Mezcla de referencia en caliente tipo BBTM-11B 45/80-65. Árido grueso porfídico y árido fino calizo. Temperatura de fabricación 165 °C.

3.2. Ensayos prestacionales y de validación

Una vez realizados los tramos de prueba, se han realizado ensayos para comparar propiedades y prestaciones de los diferentes pavimentos. Las características estudiadas están relacionadas con los siguientes aspectos:

3.2.1. Prestaciones mecánicas

A las mezclas que componen los tramos de prueba se les han realizado los ensayos volumétricos y mecánicos que están descritos en los art. 542 y 543 del PG-3, así como otros ensayos mecánicos que no están en estos artículos como son el ensayo Marshall y de rigidez. (Tabla 4).

Según los resultados, se aprecia que las prestaciones mecánicas de las mezclas tipo AUTL-5 cumplen los requisitos que marcan los artículos del PG-3 para mezclas bituminosas para carreteras, y sus prestaciones son similares a las obtenidas en las mezclas de referencia. Hay

que tener en cuenta que las mezclas AUTL-5 se han fabricado a menor temperatura que las mezclas de referencia mediante la técnica de espumación de betún.

3.2.2. Ensayos relacionados con el coeficiente de rozamiento

Para la evaluación de la resistencia al deslizamiento se han empleado los mismos ensayos que en la etapa de laboratorio, realizando los ensayos de péndulo, macrotextura y Wehner & Schulze al principio de la puesta en servicio de la vía; posteriormente, se ha realizado el ensayo de Coeficiente de Rozamiento Transversal (CRT) mediante el camión SCRIM.

Según los resultados obtenidos sobre las mezclas empleadas, todas presentan buenos valores de CRT, siendo especialmente altos en las mezclas del tramo 2 correspondientes a las mezclas tipo AUTL-5, tanto la abierta como la cerrada, siendo esta última ligeramente superior. De igual forma, se aprecian valores superiores de este tipo de

Tabla 4. Resultados de ensayos de prestaciones mecánicas de los tramos de prueba											
Tipo de mezcla	Contenido de betún (%)	Densidad aparente (kg/m3)	Huecos mezcla (%)	Ensayo Marshall		Sensibilidad al agua		Ensayo rodadura			Módulo resiliente (MPa)
				Estabilidad (kN)	Fluencia (mm)	ITSd (kPa)	ITSR (%)	WTS	RD	PRD	
S1	4.63	2.471	4.6	19.6	1.8	2.120	95.1	0.063	2.55	4.3	6.409
S2A	5.55	2.204	15	9.9	2.3	1.550	90.3	0.051	1.85	4.6	2.569
S2B	5.53	2.304	10.7	15.6	2.3	1.920	90.9	0.049	1.76	4.4	3.279
S3	4.82	2.246	14.2	-	-	1.610	92.3	0.055	1.92	4.9	2.934



Figura 7. Ensayos de resistencia al deslizamiento y extracción de testigos para W&S.

mezclas en los resultados del péndulo de fricción realizados al inicio de la puesta en servicio de la vía. En el ensayo de Wehner & Schulze se aprecia que al principio las mezclas del tipo BBTM presentan un mayor coeficiente de rozamiento, pero a medida que van avanzando los ciclos de pulimento las mezclas de AUTL ofrecen un mejor comportamiento, superando los valores de la BBTM.

A continuación, se pueden ver los resultados obtenidos en las Tablas 5, 6 y 7 y en las Figuras 8 y 9 de cada uno de los ensayos realizados.

- Macrotextura superficial – MTD. - UNE-EN 13036-1 realizada sobre la superficie del pavimento. (Tabla 5).
- Ensayo del péndulo de fricción – PTV. - UNE-EN 13036-4 realizado sobre la superficie del pavimento extendido. (Tabla 6).

- Medidas de fricción después del pulimento. Ensayo W&S.- UNE-EN 12697-49 realizado en laboratorio de testigos extraídos del pavimento extendido. (Figura 8).
- Coeficiente de rozamiento transversal (CRT): SCRIM. - UNE 41201 IN [7], UNE-EN ISO 13473 [8], realizado mediante el vehículo de Applus (dos años después de la puesta en servicio de la vía). (Tabla 7) (Figura 9).

Tabla 5. Resultados de ensayos de Macrotextura superficial a los tramos de prueba

Código	Tipo mezcla	Localización	Profundidad de la textura superficial-MTD	
Tramo-1	AC 16 SURF 35/50 S	PK 3+200 sent. Villena	0,699	0,7
		PK 3+200 sent. Caudete	0,723	
Tramo 2A	AUTL-5 CP Abierta	PK 3+700 sent Caudete	0,662	0,7
		PK 4+200 sent Caudete	0,673	
Tramo 2B	AUTL-5 CP Cerrada	PK 3+900 sent. Villena	0,553	0,6
		PK 3+700 sent. Villena	0,658	
Tramo 3	BBTM-11B	PK 4+400 sent. Caudete	1,519	1,6
		PK 4+400 sent. Villena	1,754	

Tabla 6. Resultados de ensayos del péndulo de fricción a los tramos de prueba

Código	Tipo mezcla	Localización	1	2	3	4	5	6	7	PTV	
Tramo-1	AC 16 SURF 35/50 S	PK 3+200 sent. Villena	61	62	60	62	59	60	60	61	63
		PK 3+200 sent. Caudete	65	67	67	67	65	67	66	66	
Tramo 2A	AUTL-5 CP Abierta	PK 3+700 sent Caudete	65	65	67	66	66	67	65	66	67
		PK 4+200 sent Caudete	72	68	68	69	68	68	68	69	
Tramo 2B	AUTL-5 CP Cerrada	PK 3+900 sent. Villena	56	57	58	57	58	58	59	58	63
		PK 3+700 sent. Villena	67	68	69	69	70	68	70	69	
Tramo 3	BBTM-11B	PK 4+400 sent. Caudete	63	63	62	63	60	62	61	62	60
		PK 4+400 sent. Villena	57	57	58	59	60	60	59	59	

3.2.3. Ensayos relacionados para identificar la influencia del pavimento en el consumo de combustible

Se han llevado a cabo dos ensayos para comprobar cómo podría influir el tipo de mezcla asfáltica en el consumo de combustible de los vehículos. Previamente, para garantizar que los resultados solo dependen del tipo de pavimento y no de la regularidad superficial de cada uno de los tramos, se han realizado comprobaciones del Índice de Regularidad Internacional (IRI), obteniendo valores inferiores a 1.5 dm/hm que superan el 85% en todos los tramos de forma homogénea y el 100% de los tramos están por debajo de 1.8 dm/hm.

Los ensayos para la evaluación del consumo de combustible han sido los siguientes:

Coeficiente de Resistencia a la rodadura- Método de desaceleración (Coastdown).

El consumo de combustible de un vehículo depende parcialmente, entre otras causas, de la resistencia que tenga dicho vehículo a rodar por una superficie. Esta resistencia de rodadura depende de las dos superficies que están en contacto: el neumático y el pavimento.

Este ensayo se lleva a cabo dejando que un vehículo ruede libremente a partir de una velocidad definida sin acción del motor (embrague presionado, punto muerto...) a lo largo del tramo definido para ensayo. Las diversas fuerzas que actúan sobre el vehículo harán que la velocidad vaya disminuyendo paulatinamente. Una de estas fuerzas es la resistencia a la rodadura. A través de un sistema GPS se lleva a cabo un registro de dicha variación de la velocidad del vehículo a lo largo del tramo de ensayo que servirá como base del cálculo del coeficiente de resistencia a la rodadura, así como, la posición en cada momento.

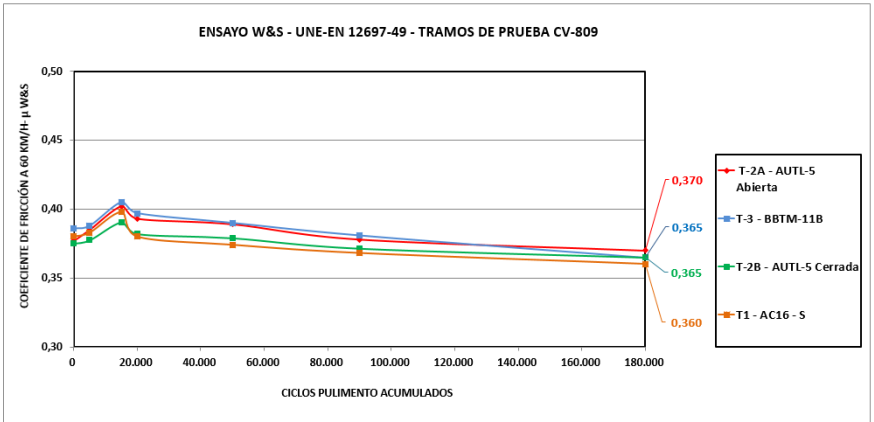


Figura 8. Ensayos de fricción W&S sobre testigos de extraídos de los tramos de prueba



Figura 9. Izqda: Resultados CRT y textura de la mezcla AUTL. Dcha. Vehículo utilizado en el ensayo SCRIM.

Tabla 7. Resultados de ensayos del péndulo de fricción a los tramos de prueba				
Tramo	Tipo mezcla	Vía	CRTmedio	Macrotextura
1	AC 16 SURF 35/50 S	1	73,5	0,8
		2	76,1	0,8
2	AUTL-5 CP Abierta	1	83,6	0,8
	AUTL-5 CP Cerrada	2	84,6	0,8
3	BBTM-11B	1	73,7	1,3
		2	77,7	1,3

Se ha realizado el ensayo a distintas velocidades de lanzamiento: 90, 80 y 70 Km/h. Se han obtenido gráficas que relacionan la variación de velocidad con el tiempo y, mediante cálculos matemáticos, se ha obtenido el coeficiente de resistencia a la rodadura (CRR) del tramo analizado.

Los resultados han sido los reflejados en la (Tabla 8).

Como puede observarse en los valores obtenidos (Tabla 8) los valores

más altos corresponden a los tramos de mezclas AUTL, que no coinciden con los resultados obtenidos en el proceso seguido en el laboratorio, por lo que parece complejo llegar a alguna conclusión sin realizar más ensayos al respecto.

Determinación del consumo de combustible de un vehículo mediante caudalímetros externos

El propósito de este ensayo es realizar una comparación del consumo

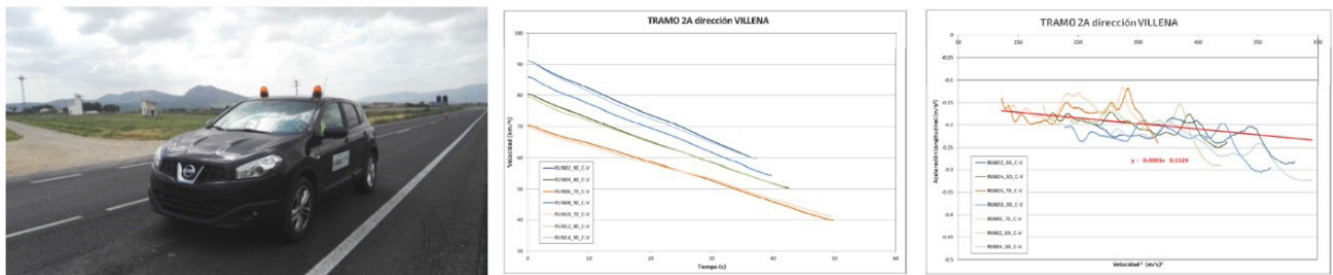


Figura 10. Vehículo utilizado en el ensayo. Gráficas obtenidas



Figura 11. Vehículo de ensayo y detalle instalación de los dos caudalímetros

Tabla 8. Resultados de CRR en los tramos de prueba

Tramo de prueba	Crr
S1	0.0140
S2A	0.0155
S2B	0.0166
S3	0.0125
73,7	1,3
77,7	1,3

Tabla 9. Consumos de combustible obtenidos en los tramos de prueba

Variable	S1	S2A	S2B	S3
Consumo (l/100 km)	2.966	2.814	2.790	2.714
Ahorro de combustible (l/100 km)	-	0.152	0.176	0.252
% Reducción de consumo	-	5.128	5.933	8.483

Tabla 10. Índices de CPX obtenidos a distintas velocidades en los tramos de prueba

CPX – dB(A)		
Tramo de prueba	40 km/h	50 km/h
S1	83.7	86.3
S2A	79.9	82.8
S2B	80.7	83.2
S3	84.4	86.3

obtenido en cada tramo de prueba de modo que pueda concluirse cuál de los cuatro tipos de mezcla a estudiar es más eficiente para la conducción desde el punto de vista energético.

Se exponen los resultados para todos los tramos estudiados. (Tabla 9)

Según los resultados, se aprecia que en ambos ensayos el tramo 3 de la mezcla BBTM-11B tiene menor resistencia a la rodadura y presenta un menor consumo de combustible medido mediante caudalímetro. Sin embargo, según el ensayo realizado, las mezclas del tramo 2 del tipo AUTL-5

presentan un menor consumo de combustible que la correspondiente al tramo 1 de AC16 SURF; este hecho sería contradictorio con la prueba anterior, aunque coincidiría más con la realizada en el laboratorio. Por lo tanto, estos resultados no se pueden considerar concluyentes, siendo necesario realizar en el futuro un estudio con mayor profundidad.

3.2.4. Estudio de las propiedades acústicas

A los cuatros tramos de prueba se les ha realizado el ensayo CPX

(close- proximity method) descrito en la norma ISO 11819 parte 2 [9]. Este método permite conocer cómo influyen los pavimentos de cada tramo de prueba en el ruido o presión sonora que provocan los vehículos al rodar por ellos.

La tabla 10 muestra los resultados obtenidos para las muestras analizadas a las velocidades de 40 y 50 km/h. Tal y como se observa, los tramos 2A y 2B presentan un índice CPX inferior al resto.

De acuerdo con los resultados obtenidos, las mezclas bituminosas

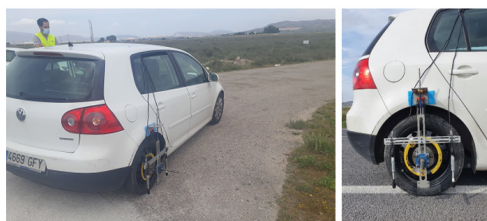


Figura 12. Dispositivo empleado para colocación de los micrófonos.

AUTL-5 empleadas en la construcción de los tramos 2A y 2B presentan un índice CPX inferior en 4 dB(A) con respecto a los valores obtenidos en los tramos 1 y 3 considerando las mezclas empleadas en estos tramos.

4. Conclusiones

Para los diseños realizados en este trabajo para cada una de las mezclas empleadas, las mezclas semicalientes AUTL-5 fabricadas con espuma de betún obtienen prestaciones mecánicas que cumplen con los requisitos determinados en el PG-3 para carreteras de todo tipo de tráfico. Los valores alcanzados de las propiedades mecánicas son similares a los alcanzados con mezclas convencionales para capa de rodadura (AC16 SURF S y BBTM-11B).

Las prestaciones antideslizantes de las mezclas AUTL-5 obtenidas tanto en laboratorio como en obra han sido adecuadas, obteniéndose valores superiores a los obtenidos con el resto de mezclas empleadas y diseñadas para este estudio. Los resultados de CRT obtenidos con el SCRIM en las mezclas estudiadas, en su estadio inicial, se aproxima a la tendencia previa obtenida con los ensayos de laboratorio realizados mediante la máquina de Wehner & Schulze, lo que podría señalar a este ensayo como un buen método para predecir en laboratorio el comportamiento frente al rozamiento de las mezclas.

El consumo de combustible obtenido en este trabajo al rodar por un pavimento con mezcla tipo AUTL-5 es inferior al consumo obtenido al rodar por un pavimento con mezcla tipo AC16 SURF S. Con respecto a los pavimentos con mezclas tipo BBTM-11B, los valores obtenidos de consumo de combustible son levemente inferiores a los alcanzados con las mezclas tipo AUTL-5. En cualquier caso, son necesarios más estudios, con tramos de obra más largos para poder confirmar o descartar estos resultados.

Según los resultados obtenidos en el tramo de prueba, el ruido generado por el tráfico al rodar por pavimentos con mezclas tipo AUTL-5 puede llegar a reducirse de forma importante, al compararlo con pavimentos con mezclas tipo AC 16 SURF y BBTM-11B con el diseño empleado en este estudio. Serían necesarios más estudios para poder comparar la evolución con el tiempo.

Resumiendo, las mezclas tipo AUTL-5 fabricadas a menor temperatura, pueden ser una alternativa para potenciar ahorros de materiales y energía sin menoscabar las prestaciones mecánicas y de seguridad, pudiendo ayudar a disminuir la contaminación acústica en las ciudades.

5. Referencias

[1] Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

[2] AENOR (2012). Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Métodos de ensayo. Parte 4: Método para medición de la resistencia al deslizamiento /derrape. Ensayo del péndulo.

[3] AENOR(2002). Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Métodos de ensayo. Parte:1 Medición de la profundidad de la macrotextura superficial del pavimento mediante el método el círculo de arena.

[4] Asociación Española de Normalización y Certificación (2014). Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 49: Determinación del rozamiento tras el pulido.

[5] ISO (2018). Passenger car, truck and bus tyre rolling resistance measurement method – Single point test and correlation of measurement results

[6] AENOR (2021). Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 8: Determinación del coeficiente de pulimento acelerado.

[7] ISO (2017). Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method.

[8] AENOR (2018). UNE 41201 IN Características superficiales de carreteras y aeropuertos. Procedimiento de medición del coeficiente de rozamiento transversal (CRT) con equipo SCRIM.

[9] AENOR (2020). UNE-EN ISO 1473 Caracterización de la textura de los pavimentos mediante el uso de perfiles de superficie. Parte 1: Determinación de la profundidad media del perfil. (ISO 13473-1:2019).