

PROYECTO DE INVESTIGACION ASFALTHIN. EXPERIENCIAS Y RECOMENDACIONES PARA MEZCLAS BITUMINOSAS TIPO ULTRADELGADAS (Autl Asphalt for Ultra-Thin Layer)

MARISOL BARRAL VAZQUEZ

Jefa I+D+i, Campezo. Marisol Barral
mbarral@campezo.com

JAVIER LOMA LOZANO

Director de Tecnología y Desarrollo,
Padecasa Obras y Servicios, S.A.
javierloma@padecasa.com

FRANCISCO GUISADO MATEO

Asistencia Técnica y Desarrollo Negocio, Repsol
Lubricantes y Especialidades, S.A.
francisco.guisado@repsol.com

PROYECTO DE INVESTIGACION ASFALTHIN. EXPERIENCIAS Y RECOMENDACIONES PARA MEZCLAS BITUMINOSAS TIPO ULTRADELGADAS (AUTL Asphalt for Ultra-Thin Layer)

RESUMEN

La búsqueda de nuevos materiales para cubrir las necesidades requeridas de cada pavimento, en función de su ubicación y/o uso previsto, ha provocado el desarrollo nuevas tipologías de familias de mezclas bituminosas que aportan las prestaciones o características solicitadas. Este es el caso de las mezclas bituminosas denominadas ultradelgadas, cuya función es la rehabilitación y mejora de las características superficiales en el pavimento.

En el presente documento se muestran los resultados de los trabajos desarrollados dentro del proyecto de investigación ASFALTHIN de mezclas tipo AUTL, de la norma UNE-EN 13108-9: Asphalt for Ultra Thin Layer realizado por el consorcio formado por las empresas CAMPEZO (líder del proyecto), PADECASA y REPSOL, a modo de recomendaciones para la utilización de este tipo de materiales.

1. INTRODUCCION

Se define como MEZCLA BITUMINOSA ULTRADELGADA (AUTL) a la combinación de un ligante hidrocarbonado, áridos (incluido el polvo mineral) y aditivos, de manera que todas las partículas del árido queden recubiertas por una película homogénea y gruesa de mastico, extendida en un espesor comprendido entre 10 y 20 milímetros.

En el proyecto se han diseñado las mezclas bituminosas AUTL con áridos con tamaño máximo nominal igual o inferior a 8 milímetros, utilizando generalmente curvas con granulometrías discontinuas y una ele-

vada proporción de ligante y de polvo mineral. Se ha contemplado la fabricación de las mezclas en caliente y semicaliente.

Dentro del proyecto se han realizado diversas experiencias de empleo de mezclas AUTL, que engloban autopistas de peaje y carreteras urbanas de diferente tipología:

- Autopista de peaje AP8 en la calzada sentido decreciente entre el p.k. inicio 62+050 y p.k. final 61+665 del municipio de Mendaro (Guipúzcoa).
- Túnel Santa María de la Cabeza (Madrid), alto tráfico urbano canalizado en túnel que da salida a la zona sur de Madrid hacia la autovía A-42 y M-30.
- Estructura By-pass desde M-30 dirección Norte (Madrid) hacia nudo Norte que da salida hacia carretera de Colmenar Viejo o M-30 por Avenida de la Ilustración.

Se trata de **una tipología de mezcla** que puede **ser empleada en una amplia gama de carreteras y tráfico**s con resultados satisfactorios, teniendo en cuenta un aspecto fundamental y es que **la capa soporte posea adecuada regularidad superficial sin deformaciones ni ondulaciones**.

2. MATERIALES

2.1 Ligantes bituminosos

Para esta tipología de mezclas que se extienden en espesores tan reducidos las características de los li-

PROYECTO DE INVESTIGACION ASFALTHIN. EXPERIENCIAS Y RECOMENDACIONES PARA MEZCLAS BITUMINOSAS TIPO ULTRADELGADAS (AUTL Asphalt for Ultra-Thin Layer)

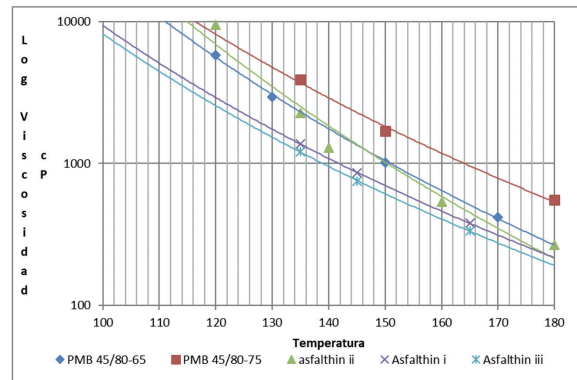
gantes empleados cobran todavía más importancia que para otros tipos de mezclas, por lo que es **recomendable emplear siempre ligantes modificados con polímeros**.

El ligante hidrocarbonado para emplear será seleccionado en función de la capa a que se destine la mezcla bituminosa en caliente o semicaliente, de la zona térmica estival en que se encuentre y de la categoría de tráfico pesado, definidas en la Norma 6.1 IC de secciones de firme o en la Norma 6.3 IC de rehabilitación de firmes. Los betunes asfálticos recomendados responderán a lo prescrito en el Artículo 212 (Betunes modificados con polímeros) del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). En el proyecto se han considerado los tipos PMB 45/80-60, PMB 45/80-65 y PMB 45/80-75.

Estos ligantes modificados deben presentar **ciertas propiedades complementarias** a los actuales betunes modificados del citado Artículo 212 del PG3, ya que estas mezclas de espesor reducido **deben resistir grandes esfuerzos tangenciales en superficie**, por lo que deben poseer valores de cohesión superiores a los actuales betunes modificados, propiedad que puede evaluarse mediante **ensayos reológicos o de fuerza ductilidad**. Sobre **esta última propiedad se deberían solicitar valores por encima de >5 J/cm² para los ligantes PMB 45/80-65 y PMB 45/80-75, y >3 J/cm² para PMB 45/80-60**.

Estos ligantes permiten emplear temperaturas de fabricación y compactación menores, asegurando una buena compactibilidad sin necesidad de aumentar las temperaturas de fabricación por encima de los 165°C, con menor oxidación del ligante en esta fase del proceso.

Para obtener este tipo de ligantes modificados ha sido necesario desarrollar un nuevo concepto de modificación y composición, es decir, una nueva tecnología de ligantes, que permita la variabilidad en las temperaturas de trabajo y la compactación y asegure las propiedades prestacionales de los ligantes.



Curva orientativa de viscosidad vs. Tª

Nota: Asfalthin i: PMB 45/80-65, Asfalthin ii: PMB 45/80-75 y Asfalthin iii: PMB 45/80-60

Además, si las condiciones de la obra lo permiten, en cuanto a la distancia y climatología, pueden ser fabricadas en el orden de las tecnologías de mezclas semicalientes obteniéndose prestaciones similares a las mezclas en caliente.

RANGOS DE TEMPERATURAS RECOMENDADOS PARA SU APLICACIÓN	MEZCLADO	PMB 45/80-65	PMB 45/80-75	PMB 45/80-60
		Asfalthin i	Asfalthin ii	Asfalthin iii
		165-140 °C	165-140 °C	155-130 °C
EXTENDIDO Y COMPACTACIÓN		160-135 °C Fin 120 °C	160-135 °C Fin 120 °C	150-120 °C Fin 110 °C

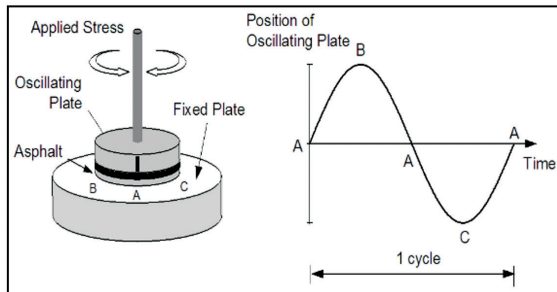
Temperaturas recomendadas para cada tipo de ligante.

Estos betunes modificados deben manifestar un buen comportamiento frente a la **resistencia a las roderas** a las temperaturas de servicio elevadas entre 40-80 °C, con un elevado módulo (G*) puesto que implica una alta resistencia a las deformaciones. Por lo tanto, cuanto más elevada sea la temperatura a la que se cumplen los criterios reológicos en términos de modulo (G*) mejor comportamiento a las deformaciones presentará. No obstante, es importante una componente elástica elevada (valor de δ bajo) desde el momento de su aplicación en carretera para recuperar la deformación que vayan sufriendo.

Se debe conocer su **comportamiento a la fatiga** a temperaturas de servicio intermedias entre 10 -40

°C, ya que el comportamiento elástico que aporta los polímeros favorece la recuperación y que se produzca a la menor temperatura posible, obteniéndose mejores comportamientos a la fatiga.

Estas características deben evaluarse con **ensayos reológicos después de envejecimiento a corto plazo (RTFOT) y largo plazo (PAV)**, principalmente. Para ello se emplean **ensayos DSR**, conociendo la Temperatura (T_0, T_1, T_2 y T_4) a la que el G^* es 15KPa (T_0 y T_2) y 5 MPa (T_1 y T_4) respectivamente, y el ángulo desfase a la temperatura encontrada.



En la siguiente tabla se indican valores orientativos que se han obtenido de los ligantes Asfalthin:

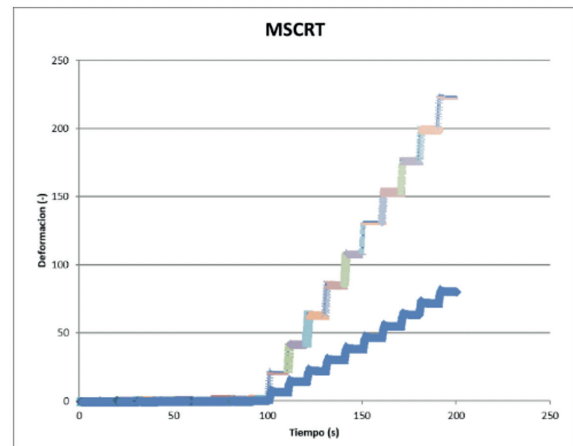
T/ δ	FRESCO		RTFOT				PAV			
	T_0 (15 KPa)	$\delta_0(T_0)$	T_1 (5 MPa)	$\delta_1(T_1)$	T_2 (15 KPa)	$\delta_2(T_2)$	T_3 (5 MPa)	$\delta_3(T_3)$	T_4 (15 KPa)	$\delta_4(T_4)$
PMB 45/80-75 Asfalthin ii	>55	>55	>15	>40	>60	>50	>18	>40	>70	>45
PMB 45/80-65 Asfalthin i	>50	>60	>15	>42	>55	>55	>18	>42	>65	>50

Otra forma de evaluar esta propiedad es **empleando ensayos Performance Grade (PG) según AASTHO T315 después de RTFOT**, comprobando a que temperatura la relación $G^*/\text{sen } \delta > 2,2$ KPa. En la siguiente tabla se indican valores orientativos de los obtenidos en los ligantes Asfalthin:

Propiedades $G^*/\text{sen } \delta > 2,2$ KPa	Norma AASTHO T315	Unidad	PMB 45/80-60 Asfalthin iii	PMB 45/80-75 Asfalthin ii	PMB 45/80-65 Asfalthin i
70 °C		kPa	5,3	6.4	5,6
76 °C		kPa	3,1	4.0	3,4
82 °C		kPa	1,8	2.7	2,2

Para conocer **el comportamiento de los ligantes frente a la aplicación repetitiva de cargas con fases de relajación a altas temperaturas de servicio**, esta característica puede valorarse determinando la capacidad de recuperación de las cargas mediante la realización de **ensayos reológicos MSCRT (EN 16659)**, permitiendo así evaluar a los ligantes en función de la carga de tráfico que pueden soportar a la temperatura máxima de servicio. En la siguiente tabla se indican valores orientativos obtenidos en los ligantes Asfalthin:

MSCRT		Asfalthin iii	Asfalthin ii	Asfalthin i
$J_{nr3.2}$ 76°C	kPa ⁻¹	1,6 (H)	0.3 (E)	1,6 (H)
$J_{nr3.2}$ 82°C	kPa ⁻¹	4,8	1.2 (H)	3,6 (S)
Rec _{nr3.2} 60°C	%	--	≥90	--

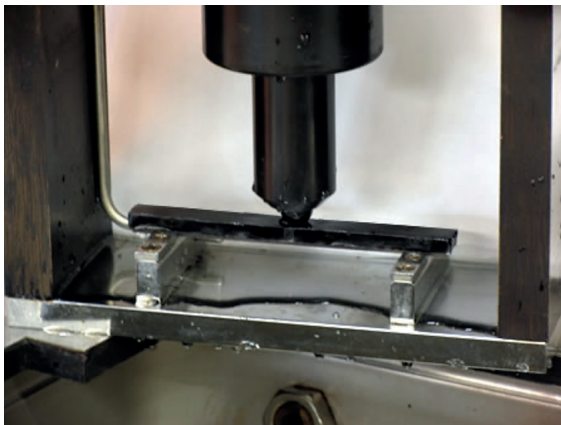


Ensayo MSCRT del ligante PMB 45/80-65 Asfalthin i a 76 y 82°C, respectivamente.

Finalmente, es fundamental conocer su **comportamiento a bajas temperaturas de servicio**, información que nos permite conocer sus propiedades frente a fisuraciones térmicas después de envejecimiento. Por lo que cuanto más bajas sean las temperaturas más resistentes son frente a la fisuración térmica a baja temperatura, debiendo evaluar también las capacidades de disipar la energía para ver que riesgos tienen frente a bajas temperaturas y que valores de bajas temperaturas se obtienen cuando los valores de módulos de rigidez son críticos. Estas propiedades pueden verificarse empleando **ensayos BBR según EN**

PROYECTO DE INVESTIGACION ASFALTHIN. EXPERIENCIAS Y RECOMENDACIONES PARA MEZCLAS BITUMINOSAS TIPO ULTRADELGADAS (AUTL Asphalt for Ultra-Thin Layer)

14771 después de PAV (envejecimiento largo). Esta propiedad se valora, indicándose a que temperatura el módulo es 300 MPa (máximo rigidez del material) y la pendiente (velocidad de relajación) a la que la temperatura su módulo (S) es 300 MPa. En cambio, la evaluación de los PG se evalúa la temperatura a la que el módulo tiene un valor de 300 MPa y la pendiente es mínimo 0,300.



Algunos valores obtenidos de estas propiedades son las que se muestran a continuación, como datos orientativos:

Propiedades	Norma	Unidad	Asfalthin iii	Asfalthin ii	Asfalthin i
Bending Beam, S max 300 MPa Y M-VALUE 60 S, min. 0,300	ASTM D6648	-12 ° C	120	126	121
			0.305	0.310	0.306
		-18 ° C	240	254	245
			0.261	0.276	0.266

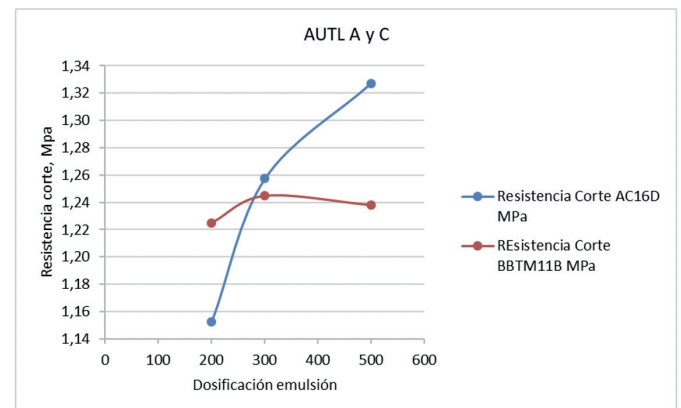
Estas aplicaciones precisan el empleo de **emulsiones de adherencia que permitan asegurar la unión entre ambas capas**. Deben utilizarse emulsiones de rotura rápida que, una vez curada en superficie no se despeguen con el paso del tráfico de obra, asegurando su eficacia y su funcionamiento. Estas emulsiones deben fabricarse a partir de **ligantes residuales duros** ($25 \cdot 10^{-1}$ mm) con un **alto punto de reblandecimiento** que aseguren la adherencia de capas y que no sea eliminado por el paso de la maquinaria pesada durante la ejecución. Además, este **ligante residual se recomienda que sea modificado** ya que mejora los resultados de adherencia a baja temperatura. En función de

la tecnología que se emplee para la ejecución del riego de adherencia y de la mezcla ultradelgada, estas emulsiones permiten variar el tipo de ligante residual y carga polimérica.

Característica	Unidad	Datos obtenidos*
Penetración a 25°C	0,1mm	25
Punto de Reblandecimiento	°C	65
Cohesión por ensayo del péndulo	J/cm ²	1,3
Recuperación Elástica a 25°C	%	40

*Ligante recuperado por evaporación (EN13074-1) seguido de estabilización (EN13074-2)

Dentro del proyecto se han realizado ensayos para determinar la adherencia entre capas de mezcla, consistente en someter a un esfuerzo de corte puro, midiéndose de forma continua tanto la carga aplicada como la deformación producida, según norma NLT-382 (Evaluación de la adherencia entre capas de firme, mediante ensayo de corte). Para este estudio se han evaluado dos tipos de mezcla de base (BBTM11B y AC16D) con texturas diferentes, varias dosificaciones de emulsión (333, 500 y 833 g/m²) y dos mezclas AUTL (A abierta y C cerrada). Los resultados se pueden observar en las siguientes gráficas:



Resistencia al corte del promedio de las AUTL (incluido A y C) respecto a diferentes tipos de capa de base (abierta y cerrada) Resistencia al corte del promedio de las AUTL (incluido A y C) respecto a diferentes tipos de capa de base (abierta y cerrada).

Además, en el proyecto se estudió la adherencia entre capas utilizando el ensayo Fénix. A conti-

nuación, se muestra una foto de ejecución de un ensayo.



2.2 Áridos

Los **áridos** en fracciones granulométricas diferenciadas, se acopiarán y manejarán por separado hasta su introducción en las tolvas en frío. Se debe exigir una buena calidad en cuanto a la limpieza, dureza y resistencia al deslizamiento.

Árido grueso. Es la parte del árido retenida en el tamiz 2 mm de la UNE-EN 933-2, que debe tener un buen coeficiente de forma, buena limpieza, con una proporción de partículas total y parcialmente trituradas, según la UNE-EN 933-5, del 100 % **y el índice de lajas de las distintas fracciones del árido grueso, según la UNE-EN 933-3, < 15%**. Se debe exigir un árido grueso duro y con una buena resistencia al pulimento, recomendando dentro del proyecto valores de **LA<15 (UNE-EN 1097-2) y CPA>56 (UNE-EN 1097-8)**.

Árido fino. Es la parte del árido cernida por el tamiz 2 mm y retenida por el tamiz 0,063 mm de la UNE-EN 933-2. Es conveniente emplear una fracción 0/2 mm con un porcentaje retenido por el tamiz 2 mm no superior al 10% del total de la fracción, con el fin de asegurar una granulometría bien adaptada al huso granulométrico de la mezcla y la discontinuidad de la curva combinada. El árido fino será de buena calidad exento de materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa y deberá proceder de la trituración de piedra de cantera o grava natural en su totalidad. El equivalente de arena del árido fino, según la UNE-EN 933-8 (fracción 0/4 mm), debe ser superior a cincuenta y cinco (SE4 >55). Al recomendarse arenas 0/2 mm, se debe ensayar la fracción 0/4 mm del árido combinado, en la proporción según la fórmula de trabajo, con la fracción superior empleada (4/8, 4/11, etc).

Polvo mineral. Parte del árido total cernida por el tamiz 0,063 mm de la UNE-EN 933-2. El polvo mineral podrá proceder de los áridos (filler de recuperación), separándose de ellos por extracción en la central de fabricación, o bien aportarse a la mezcla por separado de aquellos, como un producto comercial o especialmente preparado (filler de aportación). La proporción del polvo mineral de aportación a emplear en la mezcla será de al menos el 50% del contenido de filler total de la mezcla. Si el polvo mineral de los áridos fuese de mala calidad o susceptible de contaminación y/o degradación deberá extraerse en su totalidad, salvo el que quede inevitablemente adherido a los áridos tras su paso por el secador, que en ningún caso debe rebasar el dos por ciento (2%) de la masa de la mezcla.

Para evitar problemas de escurrimiento y/o de segregación del ligante durante el almacenamiento, transporte y extendido de la mezcla bituminosa, es necesario incorporar aditivos estabilizantes, en base a las recomendaciones de contenidos de ligante indicados más adelante, que habitualmente son fibras orgánicas o minerales. Se pueden emplear otros tipos de aditivos para mejorar algunas de las propiedades de las mezclas AUTL, como es la manejabilidad o la adhesividad árido-ligante. En todos los casos se debe indicar cual es el tipo de aditivo empleado, el

porcentaje sobre el peso de la mezcla, el método de incorporación en la planta que asegure la dispersión completa y las propiedades finales de la mezcla estudiada. Podría establecerse, a modo de recomendación, una relación directa entre el porcentaje de fibras necesario y el contenido de ligante de la mezcla, comprendido entre un 0,03% a un 0,07% (pe. para un 6,5% de ligante si empleamos un 0,3 % de fibras, la relación fibras/betún es de 0,046) siendo la proporción más empleada de forma generalizada del **0,3-0,4 % sobre el peso de la mezcla.**

3. COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA.

La designación de las mezclas AUTL es la establecida en la UNE-EN 13108-9, siguiendo el siguiente esquema:

AUTL	D	LIGANTE
-------------	----------	----------------

Donde: **AUTL** es la denominación en ingles de mezcla para capas ultrafinas, **D** es tamaño máximo nominal del árido, expresado como la abertura del tamiz que deja pasar entre un noventa y un cien por cien (90% y 100%) del total de árido, y **Ligante** indica la designación del tipo de ligante hidrocarbonado utilizado.

En los estudios realizados en el proyecto de investigación se han diferenciado dos tipos de mezclas AUTL, abiertas y densas, identificadas con una letra al final de la denominación de la mezcla: A y/o D. **Dos tipos de husos granulométricos distintos**, para diferentes contenidos de huecos: **mezclas AUTL Densas y mezclas AUTL Abiertas**, debiendo emplear el huso que más se ajuste a las necesidades de la obra (urbanas, autovías, glorietas, etc...). Son los siguientes:

TIPO DE MEZCLA	Huso granulométrico				
	11,2	8	5,6	2	0,063
AUTL 5,6A (Abierta)		100	90-100	15-25	5-10
AUTL 8A (Abierta)	100	90-100		10-25	5-10
AUTL 5,6D (Densa)		100	90-100	20-35	5-10
AUTL 8D (Densa)	100	90-100		20-35	5-10

Husos granulométricos recomendados. cernido acumulado (% en masa).

En todos los casos el **porcentaje de ligante será superior al 6% sobre el peso de la mezcla.** En el caso de que la densidad de los áridos sea diferente a 2,65 g/cm³ los contenidos mínimos de ligante indicado se deben corregir multiplicando por su factor corrección.

La relación ponderal recomendable entre los contenidos de polvo mineral y ligante hidrocarbonado determinada en la fórmula de trabajo, **debe estar comprendida entre 1,2 y 1,6 para mezclas AUTL con contenidos de huecos entre 3-8% (densas) y entre 1,0 y 1,4 para mezclas AUTL con contenidos de huecos entre 10-16% (abiertas).**

4. ESTUDIO DE LA MEZCLA Y OBTENCIÓN DE LA FÓRMULA DE TRABAJO

La fórmula de trabajo debe recoger toda la información relativa a la composición de la mezcla, características, fabricación, identificación y proporción de cada fracción del árido, granulometría de los áridos combinados incluido el polvo mineral (recuperación y/o aportación), identificación y dosificación de ligante hidrocarbonado y los aditivos. Sin obviar tiempos de mezcla, temperaturas de calentamiento de áridos, ligante y de la mezcla, forma de incorporación y tiempo de mezclado del aditivo estabilizante para asegurar la completa dispersión del aditivo en la mezcla.

La dosificación de ligante hidrocarbonado en la fórmula de trabajo se fijará teniendo en cuenta los materiales empleados, características de la actuación, clima, tráfico y la experiencia obtenida en casos análogos. Es aconsejable determinar la dotación de ligante óptima para un grosor de película de betún determinado a partir del cálculo de la superficie específica de los áridos.

De igual forma la composición propuesta debe asegurar el cumplimiento de las características de la unidad terminada en lo referente a la macrotextura superficial, así como su resistencia al deslizamiento. La composición final de la mezcla se debe definir teniendo en cuenta el estado

del soporte y el espesor teórico de la mezcla, aspectos importantes para asegurar las características superficiales y funcionamiento de las mismas.

La determinación de los huecos en las probetas de mezcla bituminosa no es exactamente la misma que para las mezclas convencionales. **Las probetas tienen un espesor menor y se deben fabricar con el compactador por impactos aplicando 25 golpes por cada cara, para un espesor de probeta final comprendido entre 35 y 45 milímetros**, ya que 35 mm es el espesor mínimo que deben tener las probetas para realizar otros ensayos mecánicos según su norma de ensayo, como la sensibilidad al agua. Se podrían fabricar probetas de 20 mm, mas parecidas al espesor real, pero no sirven para ser empleadas en otro tipo de ensayos. **No se recomienda emplear la prensa giratoria para estudiar esta propiedad.**

Al igual que el resto de las mezclas, se comprobará la adhesividad árido-ligante mediante la caracterización de la acción del agua a partir de la resistencia conservada con el ensayo de tracción indirecta tras inmersión realizado a quince grados Celsius (15° C), según la UNE-EN 12697-12, con las probetas fabricadas en el apartado anterior y **se exigirá un valor mínimo del noventa por ciento (90%)**. Se podrá mejorar la adhesividad entre el árido y el ligante hidrocarbonado mediante activantes directamente incorporados al ligante.

Las probetas se compactan mediante el compactador por impacto con una energía de 25 golpes por cara, para conseguir un espesor final entre 35-45 mm (espesores más reducidos posibles que permiten evaluar ensayos de resistencias a tracción según EN 12697-12 y que más cercanos son a los 2 cm máximos). Los valores de cohesión mediante el ensayo de resistencia a tracción indirecta obtenidos en este proyecto son superiores a 1,1 MPa, pero estos valores vienen condicionados por el porcentaje de ligante empleado y el porcentaje de huecos obtenido.

El **escurrimiento del ligante se determina mediante el método de Schelleberg**, recogido en la UNE-EN 12697-18, y **debe ser inferior al tres por mil (0,3%)**.

En las mezclas ultradelgadas no es preciso valorar las deformaciones permanentes, pero puede comprobarse a partir de testigos de espesor mínimo de 150 mm o fabricando probetas con un espesor máximo de 2 cm y empleando el compactador de placas UNE EN 12697-33, realizando posteriormente el ensayo de pista según la UNE EN 12697-22, siendo la altura de las probetas más desfavorable 2 cm. Los valores de **pendiente de deformación en pista (WTS) deben ser inferiores a 0,07 mm/103 ciclos** para cualquier zona térmica estival y tipo de tráfico, siendo ideal que las deformaciones totales (RD) sean inferiores a los 2 mm.

Puede determinarse la pérdida de partículas, siguiendo la norma UNE-EN 12697-17 para determinar la cohesión de las mezclas, en mayor grado para las del tipo abierto. Las probetas se fabrican con el compactador de impacto aplicando 25 golpes por cada cara y un espesor final entre 35 y 45 milímetros, pudiendo realizar el ensayo en aire o tras inmersión en agua durante un día a 60 °C. Aunque no es un ensayo discriminatorio, **los valores recomendados para mezclas AUTL cerradas son <15% en húmedo y < 10% seco**, siendo ideal valores por debajo de 10% en ambos casos. **Sobre mezclas abiertas**, aunque depende del contenido final de huecos, si puede ser un ensayo más definitorio, **se recomiendan valores < 20% en húmedo y 15% en seco**, siendo ideal <15% en húmedo y <10% en seco, ya que si queremos mezclas con más macrotextura puede que los valores se acerquen más a los primeros que a los segundos, y también influenciado cuando empleemos tamaños de áridos mayores. Sobre este tipo de AUTL A, se recomienda comparar los valores de pérdida de partículas con los valores de resistencia tracción, tanto en seco como húmedo.

Dentro del proyecto de investigación se han realizado varios ensayos para verificar las propiedades de las mezclas, así como de los materiales consti-

PROYECTO DE INVESTIGACION ASFALTHIN. EXPERIENCIAS Y RECOMENDACIONES PARA MEZCLAS BITUMINOSAS TIPO ULTRADELGADAS (AUTL Asphalt for Ultra-Thin Layer)

tuyentes. Es conveniente emplear nuevos ensayos para determinar y asegurar el comportamiento de estos materiales. Será importante validar ensayos de medida de dos propiedades fundamentales de las AUTL: **adherencia entre capas y la cohesión superficial de la mezcla**, ambos con la mezcla colocada en la propia obra.

En la fase de estudio, es interesante conocer las características del material realizando **ensayos de fisuración a diferentes temperaturas, empleando el ensayo Fénix**, para evaluar la evolución de la ductilidad y tenacidad del material con la temperatura. En la siguiente tabla se presentan resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto.

ENSAYOS DE ESPECIALES	Autl 8 (PMB45/80-65)	Autl 8 (asfalthin i)	Autl 8 (asfalthin ii)
Ensayo Fénix a 5 °C (25 golpes/cara)			
IRT, Índice Rigidez a Tracción (MPa/mm)	---	---	1,8
GF, energía de fractura (J/m ²)	---	---	911
IT, Índice de Tenacidad (mN)	---	---	448
d0,5Pm, Desplazamiento al 50 % de carga (mm)	---	---	1,1
Ensayo Fénix a 20 °C (25 golpes/cara)			
IRT, Índice Rigidez a Tracción (MPa/mm) >0,4 (BBTM B)	0,8	0,71	0,9
GF, Energía de Fractura (J/m ²) >300 (BBTM B)	511	403	415
IT, Índice de Tenacidad (mN) >600 (BBTM B)	930	587	577
d0,5Pm, Desplazamiento al 50 % de carga (mm)	2,6	2,14	2,0

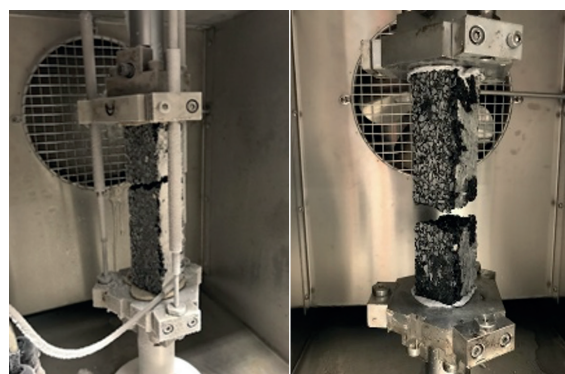
Para evaluar este aspecto, también se puede emplear los **ensayos de propagación de fisura, según la norma EN 12697-44, empleando el ensayo de flexión con probeta semicircular**, aunque se obtienen menos parámetros evaluables. En la siguiente tabla se pueden observar

resultados encontrados para una mezcla AUTL y diferentes tipos de ligantes evaluados a su temperatura de compactación.

Tª ensayo 15°C	Recorrido, mm	F.max, Kgf	Altura, mm	Deformación unitaria, εmax,i, %	Tensión max, σmax,i N/mm ²	Resistencia rotura, Kic,i, N/mm ³
AUTL PMB 45/80-65 (165°C)	2,2	411,2	52,4	2419,0	2,2	13,0
AUTL ASFALTHIN 1 (140°C)	1,6	422,3	52,3	3387,6	2,3	13,4
AUTL ASFALTHIN 2 (160°C)	1,5	442,2	52,3	3575,0	2,4	14,0

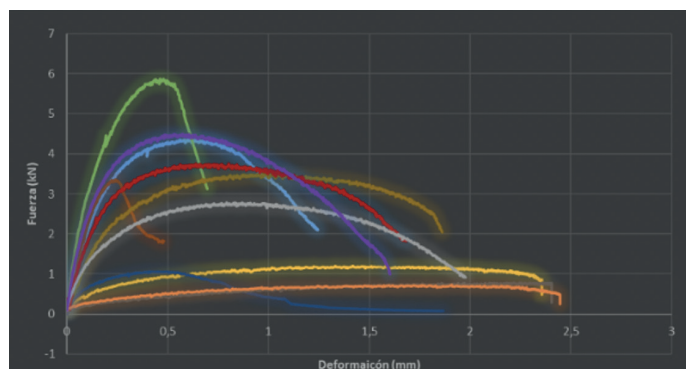
Según la norma UNE-EN 13108-9, se indica que se evalúen las temperaturas a las que se producen las fisuraciones térmicas del material por retracción, empleando el método de ensayo referido en la norma EN12697-46 (**TSRST**), **a pesar de no ser un ensayo muy sensible y reproducible**, destacando solamente poder conocer la evolución de la pendiente de la carga de retracción del material. En la siguiente tabla se pueden observar valores encontrados sobre una mezcla AUTL fabricada con diferentes ligantes a su temperatura de compactación:

Mezcla	Temperaturas compactación	Tc (°C)
AUTL PMB 45/80-65	160 °C	-27,5
AUTL Asfalthin 1	140 °C	-27,0
AUTL Asfalthin 2	160 °C	-29.0



Otro ensayo de interés es el empleo de la norma EN 12697-44, aplicando tracciones uniaxiales a

diferentes temperaturas para conocer sus resistencias a tracción, pero con la opción de poder evaluar sus curvas de rotura y poder obtener otros parámetros, como su índice de rigidez antes de la carga máxima, evaluar tenacidades una vez vaya decayendo la carga después de su valor máximo y sus energías de fracturas.



Curvas de Carga maxima frente Deformación respecto a Temperatura, de diferentes AUTL con diferentes ligantes.

5. EJECUCIÓN

La **preparación de la superficie existente** es uno de los puntos más importantes para asegurar el éxito de la aplicación de estos tipos de mezclas. Se debe comprobar siempre la regularidad superficial y el adecuado estado de la superficie sobre la que se vaya a extender la mezcla bituminosa ultradelgada. La superficie existente, si está constituida por un pavimento heterogéneo se deberá, además, eliminar mediante fresado los excesos de ligante y sellar las zonas demasiado permeables, así como restablecer una regularidad superficial aceptable y, en su caso, reparar zonas con algún tipo de deterioro.

Sobre la superficie de asiento se ejecutará un riego de adherencia, según el artículo 531 del PG-3, teniendo especial cuidado de que dicho riego no sea eliminado antes de la extensión de la mezcla. Se comprobará especialmente que la emulsión haya roto y que su ligante residual quede adherido a la superficie, así como la ausencia de suciedad en la superficie de la emulsión previo al extendido de la mezcla. Se reco-

miendan emulsiones especiales para riegos de adherencia que aseguren que el ligante residual permanezca con el paso del tráfico de obra, por lo que deben emplearse emulsiones ANTISTICK con ligante residual duro. Además, se recomienda que sea modificado para asegurar un buen comportamiento a cualquier temperatura de servicio (especialmente para tráfico T00, T0, T1 y T2). **Las dotaciones dependerán del estado del firme soporte, desde el punto de vista de grado de envejecimiento, microfisuración, macrotextura, aspecto superficial (saturado o abierto), etc, pero se recomiendan dotaciones superiores a $\geq 0,6 \text{ g/cm}^2$ de emulsión bituminosa.**

Las mezclas bituminosas ultradelgadas se fabricarán por medio de centrales, capaces de manejar simultáneamente en frío el número de fracciones del árido que exija la fórmula de trabajo adoptada (mínimo 2 fracciones). Es necesario que la central disponga de sistemas separados de almacenamiento y dosificación del polvo mineral recuperado y de aportación, los cuales deberán ser independientes de los correspondientes al resto de los áridos, y estar protegidos de la humedad. Es importante disponer de un sistema de dosificación de los áridos en frío correctamente calibrado, así como los diferentes sistemas de dosificación en caliente de la planta (áridos, betún y filler). La incorporación de aditivos estabilizantes a la mezcla se realizará directamente al mezclador mediante dispositivos adecuados para poder dosificarlos con precisión suficiente. Debe garantizarse con suficiente precisión que durante la fabricación a escala industrial se reproduce la dosificación estudiada en la fórmula de trabajo en el laboratorio.

Las extendedoras serán autopropulsadas, y estarán dotadas de los dispositivos automáticos de nivelación necesarios para extender la mezcla bituminosa con la configuración deseada y aplicando un mínimo de precompactación, que asegure un correcto proceso de extendido en estos espesores, así como alcanzar las velocidades de avance recomendadas por el fabricante

para este tipo de mezclas. Es recomendable emplear equipos de transferencia autopropulsados de tipo silo móvil que garantice la homogeneización granulométrica y uniformidad térmica del material, así como realizar mapas de registro térmico del proceso. En caso de acoplar en la extendedora dispositivos para el incremento de la anchura de extendido, éstos deberán quedar perfectamente alineados con los de aquélla y conseguir una mezcla continua y uniforme.

En el desarrollo del proyecto se han utilizado compactadores de rodillos metálicos autopropulsados, con inversores de sentido de marcha de acción suave, y dotados de dispositivos para la limpieza de sus llantas durante la compactación y evitar la adherencia de la mezcla sobre ellos. En zonas poco accesibles para los compactadores de rodillos metálicos se podrán utilizar planchas o rodillos vibrantes de características apropiadas para lograr en dichas zonas una terminación superficial y compacidad semejante al resto de la obra.

Para asegurar la **obtención de valores elevados de CRT en los primeros meses de puesta en servicio, puede emplearse la técnica de microincrustación de finos en su superficie durante el proceso de compactación de la mezcla.**

Es conveniente que antes de iniciarse la puesta en obra de cada tipo de mezcla bituminosa se realice un tramo de prueba, para comprobar la fórmula de trabajo, la forma de actuación de los equipos de extensión y compactación y las características superficiales como la macrotextura superficial obtenida mediante el método de círculo de arena según la UNE-EN 13036-1.

6. CONTROL DE CALIDAD

Respecto al control de procedencia de los materiales, es recomendable ser muy estrictos con las características a exigir en los materiales constituyentes para poder alcanzar las propiedades deseadas en la mezcla bituminosa. De todos ellos (áridos, ligante, polvo mineral y adi-

tivos) deben tomarse muestras antes del inicio de la obra para verificar los valores estudiados en el laboratorio.

Para el caso de los ligantes es importante conocer su penetración, punto de reblandecimiento y viscosidad. Para el caso de los áridos se deben comprobar las características granulométricas, densidad de cada fracción, homogeneidad del material en el acopio, coeficiente de forma, dureza y la limpieza. Se debe extremar las precauciones durante las operaciones de formación de los acopios y almacenamiento de los materiales (altura, separación, etc...). En cuanto al polvo mineral, tanto de recuperación como de aportación, debe verificarse su homogeneidad y características granulométricas y la densidad.

En cuanto al **control de calidad de la mezcla** debe realizarse mediante la toma de muestras durante el proceso de fabricación en planta, pero también puede hacerse durante el proceso de extendido de la misma. Se debe tomar el número de muestras necesarias para asegurar una correcta composición del material, así como permitir verificar las características estudiadas. En todos los casos, con cada toma de muestra se realizará: identificación y trazabilidad del material, control del aspecto de la mezcla y medición de la temperatura.

Los ensayos más importantes, y recomendados a efectuar durante el control de calidad de la mezcla bituminosa son los siguientes:

- Dosificación de ligante, según UNE-EN 12697-1 o UNE-EN 12697-39.
- Granulometría de los áridos extraídos, según la UNE-EN 12697-2.
- Determinación de los huecos, UNE-EN 12697-8.

En la valoración de resultados, se pueden aplicar las tolerancias que vienen indicadas en los pliegos para otros tipos de mezclas:

- Tamices iguales o superiores al 2 mm de la norma UNE-EN 933-2: $\pm 5\%$.

- Tamices comprendidos entre el 2 mm y el 0,063 mm de la norma UNE-EN 933-2: $\pm 3\%$.
- Tamiz 0,063 mm de la norma UNE-EN 933-2: $\pm 1\%$.

La tolerancia admisible, en más o en menos, respecto de la dotación de ligante hidrocarbonado de la fórmula de trabajo será del tres por mil ($\pm 0,3\%$) en masa del total de mezcla bituminosa (incluido el polvo mineral), sin bajar del mínimo especificado en la fórmula de trabajo.

Otros ensayos para realizar el control de las características de la mezcla:

- Escurrimiento del ligante, según UNE-EN 12797-18.
- Sensibilidad al agua según la norma UNE-EN 12697-12.
- Ensayo Cántabro según la norma UNE-EN 12697-17 (solo recomendable para mezclas abiertas).

La frecuencia de los ensayos de la mezcla se determinará para cada obra ajustándose a las características de cada una (tipología de pavimento, volumen de la obra, rendimiento, zona urbana, etc...). En todo caso es recomendable realizar al menos un control diario de la composición.

En cualquiera de los ensayos realizados durante las operaciones de control de calidad, deben tenerse en cuentas las condiciones de ensayo y la preparación de probetas empleadas en el laboratorio para la realización de la fórmula de trabajo, y reproducirlas y/o indicar cualquier variación sobre las mismas.

Finalmente debe hacerse una valoración de la unidad terminada, una de las propiedades de mayor importancia es la adherencia entre las capas, de la mezcla AUTL al soporte sobre la que se extiende. Es conveniente extraer testigos y confirmar que se obtienen valores aceptables empleando el sistema y el procedimiento ade-

cuado (método A de la norma NLT-382) que asegure una buena disposición del diámetro de los testigos con la configuración del equipo.

La superficie de la capa deberá presentar una textura homogénea, uniforme y exenta de segregaciones o defectos. Se deben asegurar unos valores mínimos de la macrotextura superficial medidos con la UNE-EN 13036-1, así como para la resistencia al deslizamiento según la NLT-336 (valores >60). Las características de la mezcla, así como el espesor de colocación en la obra, provocan que obtengan valores diferentes a los obtenidos para otros tipos de mezclas similares durante la medición de la macrotextura superficial con este procedimiento (circulo de arena). Valores razonables para estos materiales son >0.9 para AUTL cerradas y >1.2 para AUTL abiertas. Igualmente se verificará la regularidad superficial.

7. CONCLUSIONES

Todas las recomendaciones indicadas en el presente documento son el resultado de los trabajos y la experiencia adquirida en el desarrollo del proyecto de investigación ASFALTHIN.

Se ha trabajado con los materiales disponibles en las canteras y se han desarrollado ligantes específicos para asegurar el correcto comportamiento de la mezcla bituminosa.

Los resultados obtenidos en los trabajos realizados están a disposición de los Organismos Oficiales para el desarrollo de futuras especificaciones técnicas de estos productos.

8. AGRADECIMIENTOS

La realización del Proyecto ASFALTHIN ha sido posible gracias a la contribución financiera del Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI) a través del Programa CENIT. Las empresas que participan en el Proyecto desean mostrar su gratitud por dicha contribución.