

Memoria técnica **XXII CILA de Granada**



“Sostenibilidad, innovación y cultura en cada viaje”

15 de septiembre 2024

EDICIÓN:

Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (Asefma)
Avenida General Perón 26, 2ºA
28020 Madrid

Instituto Técnico Avanzado de Ferias, Eventos y Congresos (itafec)
Calle Junta de Castilla León 3
28669 Boadilla del Monte, Madrid

ISBN: 978-84-09-65558-8

Madrid, septiembre de 2024

“PRIMERAS ESPECIFICACIONES TECNICAS DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON POLVO DE NEUMATICOS FUERA DE USO, EN VIALIDAD DE BUENOS AIRES, ARGENTINA”

Gerardo Botasso (1), Julián Rivera (1), Luis Delbono, Enrique Fensel (1), Ignacio Zapata (1), Adrián Segura (1)

Pablo Morano (2), Bernardino Capra (2), Lisandro Lalli (2), Lucas Tiseira (2), Augusto Perazo (2)

- (1) LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP – CIC PBA. La Plata, Argentina. E-mail: gerardobot@hotmail.com.ar.
- (2) Dirección de Vialidad de Buenos Aires. Calle 122 y 48 La Plata, Argentina

Resumen

El uso del polvo de neumático en mezclas asfálticas es una tecnología de gran crecimiento en el mundo y en particular con grandes avances en Argentina.

En base al financiamiento de un fondo de innovación tecnológica de la provincia de Buenos Aires, FITBA [1], el LEMaC, Centro de Investigaciones Viales de la UTN La Plata [2], realiza en conjunto con la Dirección de Vialidad de la provincia de Buenos Aires las primeras especificaciones técnicas de tres tipos de mezclas asfálticas con polvo de neumático fuera de uso;

- Mezcla asfáltica tipo SMA con polvo de neumático fuera de uso pre digerido o activado
- Mezcla asfáltica antirreflejo de fisuras con polvo de neumático fuera de uso modificado por vía húmeda o con polvo pre digerido o activado.
- Mezcla asfáltica densa con asfalto mejorado o modificado con polvo de neumático fuera de uso por vía húmeda o con polvo pre digerido o activado.

En Argentina se han realizado obras con mezcla asfáltica con polvo de neumático con marcos normativos específicos para las mismas, sin contar hasta ahora con un marco regulatorio que motive tanto a proyectistas, como a los organismos públicos, la inclusión en proyectos de carreteras sostenibles.

Se presentan los resultados obtenidos, utilizando el formato de las especificaciones vigentes en la Dirección de Vialidad de Buenos Aires, más la realización de ensayos y la discusión de técnicas de control y diseño a partir de dos tesis doctorales relacionadas con la tecnología vinculadas al LEMaC.

Cabe mencionar también, a partir del desarrollo del proyecto, la realización de jornadas de debate con la participación de los actores de la cadena de valor del proceso de producción; tales como empresas trituradoras de neumáticos, petroleras, empresas constructoras, entidades de normalización, organismos públicos y sector privado en general.

Se ha considerado incorporar por primera vez la utilización del polvo de neumático fuera de uso pre digerido o activado como aporte de trascendencia e innovación en la vialidad local.

Palabras Claves: POLVO DE NEUMATICO, RECICLADO, ESPECIFICACION

1 Introducción

El neumático es un producto de consumo que, cuando llega al final de su vida útil, se transforma en un residuo y, como tal, exige una gestión adecuada.

Esta gestión requiere de un marco legal, que permita generar un entorno de logística inversa y de posibilidades de uso.

En gran parte de los países de América, las legislaciones vigentes se basan en la responsabilidad extendida del productor, REP, mediante la cual las empresas fabricantes o importadoras de neumáticos generan la estructura de gestión para recuperar los neumáticos incorporados al mercado local; procediendo a su reciclado y reutilización. Se previene así la producción de residuos y se fomenta la reducción, reutilización, reciclado y otras formas de valorización; dejando para el último lugar su depósito en vertederos u otras formas de eliminación que no contemplen ningún tipo de recuperación.

Cabe destacar que las características propias de los neumáticos desechados condicionan las actividades para su gestión, puesto que:

- ✓ Si no se actúa sobre ellos, son prácticamente indestructibles.
- ✓ Son inflamables.

Las dificultades para su eliminación mediante su depósito en vertedero son debidas a que:

- ✓ No se pueden compactar debido a su flexibilidad.
- ✓ No permiten recuperar los productos de los que están formados.
- ✓ Son un refugio ideal para “vectores biológicos”.
- ✓ Pueden acumular lixiviados y gases.

En la República Argentina se generan unas 135.000 tn/año según datos de la Cámara de la Industria del Neumático [3]. En la Figura 1 se puede observar vertedero de neumáticos fuera de uso.



Figura 1. Vista de neumáticos fuera de uso.

Una de las alternativas a efectos de disminuir los volúmenes generados en vertederos, es el reciclado de los neumáticos fuera de uso, NFU. Existen diferentes tipos de instalaciones de trituración, de acuerdo con la utilidad que se le quiera dar al producto final. Para sumar caucho proveniente de NFU en mezcla asfálticas se hace necesario llevarlo a tamaño polvo, siendo en general su exigencia que pase el 100% por la malla N° 25 de ASTM, como se puede observar en el Apartado 3. En estos casos se requiere de trituradora primaria, secundaria, granuladores, ciclones y tamices como estructura principal de la planta de trituración, como se observa en la Figura 2.



Figura 2. Vista de una planta de trituración de NFU [4]

2 Incorporación del polvo de NFU en las mezclas asfálticas

Las formas en que se incorpora el polvo de NFU en las mezclas asfálticas en caliente son variadas, reconociéndose tres procedimientos (vías):

2.1 Vía húmeda (modificación del asfalto con polvo de caucho)

Este sistema consiste en la modificación del asfalto con la adición del polvo de NFU, previo a su incorporación a la mezcla con los áridos.

Para realizar la modificación, es necesario contar con una planta de modificación de asfaltos con molino coloidal. Existen dos tipos de molinos: de alta cizalla o de baja cizalla. En el primero de los casos las tasas de NFU en el asfalto pueden llegar al 20 % en peso de polvo sobre peso de asfalto. En los segundos, molinos de baja cizalla, la dispersión resulta estable y transportable en tasas de hasta un 12 % de polvo de NFU sobre peso de ligante.

Una vez modificado el asfalto se incorpora como ligante modificado al mezclador de la planta asfáltica. La temperatura y la energía de corte entregada al sistema asfalto – caucho permite acelerar el proceso de digestión del polvo de caucho en el asfalto. Se denomina digestión a la humectación e hinchamiento de las partículas de caucho con las fracciones aceitosas y resinosas del asfalto.

2.2 Caucho pre digerido o activado (Modificación de la mezcla asfáltica)

El polvo de caucho de neumáticos es previamente tratado, con el propósito de modificar su capacidad de intercambio con el ligante asfáltico. Este proceso industrial permite que se active la denominada “digestión” del polvo de NFU. Existen al menos cuatro patentes internacionales con tecnologías de aditivos, los cuales, incorporados en un reactor, logran activar a las partículas de caucho.

Esto resulta ser un cambio central en la estrategia de dispersión del polvo de caucho, ya que el polvo de neumático activado permite disponer en la obra de un producto industrializado, eliminando la necesidad de contar con una instalación de dispersión en una central de modificación o en la propia planta asfáltica.

Por otro lado, el producto activado se incorpora directamente al proceso de mezclado del asfalto convencional con los áridos, modificando a la mezcla asfáltica y no al asfalto. La incorporación del polvo pre digerido se realiza en general con un equipo de acción neumática en la caja de mezclado externo de la planta asfáltica, dónde se incorpora el filler de aporte.

2.3 Vía seca (Modificación de la mezcla asfáltica)

En este caso, el polvo de caucho se incorpora directamente en la planta asfáltica, como en el caso anterior pero, como el proceso de digestión no se ha dado, incluyendo tiempos de mezclado y de permanencia de la mezcla en planta y en el transporte superiores a una hora.

Se hace necesario hacer un análisis detallado de los tiempos de digestión del caucho de NFU en la mezcla asfáltica en caliente. Los procesos de producción son más lentos. La digestión en este contexto resulta ser menos efectiva y los resultados logrados en general resultan ser menos auspiciosos. Resulta oportuna su utilización cuando no se dispone de las dos tecnologías anteriormente citadas.

En estas primeras especificaciones redactadas en Argentina, se hace un análisis de cada una de las “vías” de incorporación, con un detalle en cada caso. Resulta central disponer de la mayor cantidad de información que permita hacer fácil el uso de la tecnología en un sentido práctico y con la menor cantidad de improvisaciones a la hora de su implementación.

El presente trabajo hace una síntesis conceptual de los documentos elaborados como especificaciones técnicas de asfaltos con polvo de NFU y los tres tipos de mezclas asfálticas señaladas en el resumen.

3 Exigencia al polvo de NFU

Para su aplicación en obras de pavimentación, es el que resulta de triturar neumáticos fuera de uso hasta tamaños inferiores a la malla N°25 de ASTM (0,71 mm).

En el caso que se utilice NFU pre digerido o activado, pueden presentar en su composición polvo mineral, betún y otros aditivos. El fabricante deberá proporcionar la composición y características del aditivo, a fin de corregir en base a su tasa de aporte, los áridos y filler utilizados. Las proporciones de filler y asfalto que se incorporan con este producto habrá que tenerlas en cuenta para el diseño del esqueleto mineral y para determinar el contenido total de ligante de la mezcla [5].

Tabla 1. Exigencia polvo de NFU

Tamaño nominal de las aberturas del tamiz (mm)	Porcentaje pasante de material
2,36 mm	100
1,18 mm	100
0,71 mm	95-100
0,60 mm	50-90
0,30 mm	20 - 50
0,15 mm	10-30
0,075mm	0 - 15
Contenido de material ferroso UNE-EN 14243-2 (%)	0.01
Contenido de material textil UNE-EN 14243-2 (%)	0.05
Declarar composición	obligatoria
Densidad aparente (g/cm ³)	0,45-0,48
Densidad real (g/cm ³)	1,15-1,17

El polvo de caucho se suministrará a granel o en recipientes estancos. Cada partida se acompañará de una nota de entrega y de una hoja de características en los que quede perfectamente identificado el material (origen y características técnicas).

También se solicitará se indique la cantidad de neumáticos triturados que dieron origen a esa partida o entrega.

Se ha verificado que los productores locales de NFU pueden cumplir los niveles de exigencias indicados en la Tabla 1.

4 Asfaltos

Las mezclas asfálticas modificadas con polvo de NFU se podrán elaborar con asfalto modificado con polvo de NFU, cuando se utiliza la vía húmeda.

Se realizará en primera instancia la clasificación por PG, ASTM D6373, determinación de propiedades reológicas de materiales bituminosos AASHTO T315 / ASTM D7175 y la norma ASTM D6521[6] para el ensayo de envejecimiento de ligantes asfálticos utilizando el recipiente de envejecimiento presurizado PAV.

Para la clasificación del asfalto con la incorporación del NFU, se propone utilizar la clasificación fundamentada en la experiencia española en el artículo 212: Betunes modificados con polímeros, perteneciente al PG 3 Pliego de especificaciones técnicas del Ministerio de fomento de España [7] y la orden circular 21/2007 sobre el uso y especificaciones que deben cumplir los ligantes y mezclas bituminosas que incorporen polvo de NFU. En todos los casos ha sido verificado el cumplimiento en laboratorio de los valores fijados y se ha comprobado la existencia de las tecnologías de caracterización en la Dirección de Vialidad de la provincia de Buenos Aires.

De esta forma se consideran tres tipos de asfaltos:

- ✓ Asfaltos mejorados con polvo de NFU. Incluye hasta 12 % de polvo de NFU. Fabricación con molino de baja o alta cizalla. Ver Tabla 2.
- ✓ Asfalto Modificado con polvo de NFU. Tasas de entre 12 y 18 % de polvo de NFU. Fabricación con molino de baja cizalla, sólo si la modificación se realiza en la planta asfáltica. Fabricación con molino de alta cizalla, posibilidad de transportar el asfalto modificado. Ver Tabla 3.
- ✓ Asfalto modificado de alta viscosidad. Tasas superiores al 20 % de polvo de NFU. Fabricación con molino de alta cizalla, transportable. Ver Tabla 4.

En algunas determinaciones el marco normativo se amplió a ASTM en combinación con las normas UNE originales de la clasificación, debido a su mayor grado de utilización en la región.

Tabla 2. Asfaltos mejorados con polvo de NFU

Característica		Norma de referencia	Unidad	BC 35/50	BC 50/70
Asfalto original					
Penetración, 25 °C		ASTM D-5	0,1 mm	35-50	50-70
Punto de reblandecimiento anillo y bola		ASTM D-95	°C	≥58	≥53
Punto de fragilidad Fraass		UNE EN 12593	°C	≤-5	≤-8
Fuerza ductilidad (5cm/min)	5°C	UNE EN 13589 UNE EN 13703	J/cm ²	≥0,5	
Recuperación elástica a 25°C		UNE EN 13398	%	≥10	
Estabilidad al almacenamiento	Diferencia de anillo y bola	UNE EN 13399	°C	≤10	
	Diferencia de penetración		0,1 mm	≤8	≤10
Solubilidad		ASTM D-5546	%	≥92	
Punto de inflamación v/a		ASTM D-92	°C	≥235	
Residuo del ensayo de película fina y rotatoria		ASTM D-1754			
Variación de masa		ASTM D- 2872	%	≤1,0	
Penetración retenida		ASTM D- 2872	%p.o.	≥65	≥60
Variación del Punto de Reblandecimiento		ASTM D- 2872	°C	min -4 máx +8	min -5 máx +10

Se ha propuesto en la discusión pública realizada el día 2 de noviembre del 2023, reemplazar la letra B de bitumen (utilizada mayoritariamente en España) por la letra A proveniente de la primera de Asfalto, como se lo denomina en Argentina y la región latinoamericana.

Por otro lado, se ha especificado para todos los casos señalados, que las condiciones de almacenamiento del asfalto con caucho deben realizarse en un tanque durante al menos 8 horas y por un máximo de 72 horas, previamente a su empleo en la fabricación de mezclas asfálticas. El tanque ha de ser preferiblemente vertical y provisto de sistema de calefacción, agitación y recirculación, además de puntos de salida de muestras a distintas alturas de la columna vertical. Los tanques de almacenamiento, además de disponer de sistemas de calentamiento y aislamiento térmico, como es habitual, deben estar provistos de un removedor que mantenga el producto continuamente agitado para prevenir decantaciones y heterogeneidades.

- El tiempo máximo de almacenamiento debe ser de 3 días.
- La temperatura de almacenamiento debe ser similar o inferior a la de digestión.

Tabla 3. Asfaltos modificados con polvo de NFU

DENOMINACIÓN UNE-EN 14023			PMB C 10/40-70	PMB C 25/55-65	PMB C 45/80-60	PMB C 45/80-65	PMB C 45/80-75	PMB C 75/130-60
CARACTERÍSTICAS	UNE-EN	UNID.	Ensayos sobre el asfalto original					
PENETRACIÓN A 25°C	1426	0,1 mm	10-40	25-55	45-80	45-80	45-80	75-130
PUNTO DE REBLANDECIMIENTO	1427	°C	≥ 70	≥ 65	≥ 60	≥ 65	≥ 75	≥ 60
COHESIÓN. FUERZA-DUCTILIDAD	13589 13703	J/cm ²	≥ 2 a 15°C	≥ 2 a 10°C	≥ 2 a 5°C	≥ 3 a 5°C	≥ 3 a 5°C	≥ 1 a 5°C
PUNTO DE FRAGILIDAD FRAASS	12593	°C	≤ -5	≤ -7	≤ -12	≤ -15	≤ -15	≤ -15
RECUPERACIÓN ELÁSTICA A 25°C	13398	%	TBR	≥ 50	≥ 50	≥ 70	≥ 80	≥ 60
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO (*)	DIFERENCIA DE P.A.	13399 1427	°C	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5
	DIFERENCIA DE P.	13399 1426	0,1mm	≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 13
PUNTO DE INFLAMACIÓN	ISO 2592	°C	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 220
Durabilidad – Resistencia al envejecimiento UNE-EN 12607-1								
CAMBIO DE MASA	12607-1	%	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
PENETRACIÓN RETENIDA	1426	%	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60
INCREMENTO DEL PUNTO DE REBLANDECIMIENTO	1427	°C	≤ 8	≤ 8	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
DISMINUCIÓN DEL PUNTO DE REBLANDECIMIENTO	1427	°C	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5

Debe decirse que, efectivamente, tiempos de almacenamiento superiores a las 72 horas pueden afectar negativamente a las propiedades del producto. Sin embargo, de acuerdo con la experiencia de excelentes resultados prácticos, tiempos de interacción (fabricación + almacenamiento) de 1 hora son suficientes para alcanzar la digestión y cumplir las especificaciones que se exigen al ligante, incluso en el caso de los betunes modificados de alta viscosidad con caucho.

Se produce un fenómeno químico de proceso de desvulcanización del caucho por las temperaturas expuestas en el proceso de dispersión, pero sobre todo se registra un fenómeno físico de absorción de fracciones ligeras del asfalto por parte del gránulo de caucho. Ese proceso se denomina digestión del polvo de caucho y resulta ser necesario para que se produzca la modificación.

Existen varias técnicas para estudiar el proceso de digestión del caucho en el asfalto. Entre ellas, las de fraccionamiento del betún (SARA), espectrometría de infrarrojos, cromatografía de filtración en gel y microscopía de fluorescencia. Las mismas se han recomendado como valoraciones deseables.

El proceso de digestión se ve favorecido por:

- ✓ Aumento de la temperatura
- ✓ Aumento del tiempo de contacto
- ✓ Disminución del tamaño máximo de las partículas de caucho
- ✓ Mayores contenidos de fracciones ligeras del asfalto
- ✓ Aumento de la energía de mezclado

Tabla 4. Asfaltos modificados de alta viscosidad con polvo de NFU

Característica	Norma de referencia	Unidad	BMAVC-1	BMAVC-2	BMAVC-3	
Asfalto original						
Penetración, 25°C	UNE EN 1426	0,1 mm	15-30	35-50	55-70	
Punto de reblandecimiento	UNE EN 1427	°C	≥75	≥70	≥70	
Punto de fragilidad Fraass	UNE EN 12593	°C	≤-4	≤-8	≤-15	
Fuerza ductilidad (5cm/min)	5°C	UNE EN 13589	J/cm ²	--	2	3
	10°C	UNE EN 13703		2	--	--
Consistencia (Flotador a 60°C)	NLT 183	s	≥3000			
Viscosidad dinámica	135°C	UNE EN 13302	mPa.s	≤7500	≤5000	
	170°C			≥2000	≥1200	≥800
Recuperación elástica	25°C	UNE EN 13398	%	≥10	≥20	≥30
Estabilidad almacenamiento(*)	al Dif. Ablan Dif. Penet	UNE EN 13399	°C	≤5		
			0,1 mm	≤20		
Punto de inflamación v/a	UNE EN ISO 2592	°C	≥235			
Residuo del ensayo de película fina y rotatoria	UNE EN 12607-1					
Variación de masa	UNE EN 12607-1	%	≤0,8	≤0,8	≤1,0	
Penetración retenida	UNE EN 1426	%p.o.	≥60			
Variación del Punto de Reblandecimiento	UNE EN 1427	°C	min -4 máx +10		min -5 máx +12	

Cuando se utilice la vía seca o el polvo de NFU pre digerido o activado se podrán elaborar las mezclas asfálticas con asfalto convencional. En ese caso la caracterización del asfalto se realizará según la norma IRAM 6835– Clasificación por viscosidad de los asfaltos de usos vial [8].

De esta forma el asfalto convencional podrá clasificar como CA-5/10/20/30/40 según su respectiva viscosidad.

Se le solicitará además la determinación del grado de performance, PG, según la clasificación por PG, Performance Grade, ASTM D6373.

Para clasificar el asfalto que se ha modificado directamente en la mezcla asfáltica elaborada, podrán utilizarse los métodos de extracción de ligante vigentes en las especificaciones de la Dirección de Vialidad de la provincia de Buenos Aires. A partir de aquí, el asfalto recuperado tendrá que compararse con los estándares fijados en el presente apartado según encuadre en los tipos enunciados en las Tablas 2, 3 o 4.

5 Mezclas asfálticas

La Dirección de Vialidad de la provincia de Buenos Aires, posee el Pliego Único de Especificaciones Técnicas Generales, edición 2019, PUETG-DVBA 2019 [9]. En el presente trabajo se muestran aquellos aspectos que amplían el alcance y los requerimientos para este tipo de mezclas asfálticas en lo que se refiere a la tecnología del caucho. La estructura de los cuatro documentos generados respeta la organización, estructura, modalidades de control y partes del diseño, fabricación y control de calidad que dicho pliego posee.

Se define como mezcla asfáltica en caliente modificada con polvo de neumático fuera de uso a la combinación de un ligante hidrocarbonado, polvo de neumático (en dotación comprendida entre el 8 y 35 % sobre el peso de asfalto), o entre 0 y 3 % sobre el peso total de la mezcla asfáltica cuando el polvo de NFU se incorpora en forma directa en la mezcla, áridos (incluido el polvo mineral) y, en su caso, aditivos, de manera que todas las partículas del árido queden recubiertas

por una película homogénea y gruesa de mástico filler-asfalto modificado con polvo de neumático fuera de uso. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante, el neumático fuera de uso y los áridos (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la temperatura ambiente.

5.1 Clasificación de las mezclas asfálticas en función de la dotación del polvo de NFU.

Los principales tipos de mezclas asfálticas en caliente en función de la dotación de polvo de neumático fuera de uso son las siguientes:

- ✓ Mezclas asfálticas en caliente mejoradas, con dotaciones de polvo de NFU del 8 al 12 % (en porcentaje sobre peso total del asfalto modificado empleado). Entre 0,6 % - 0,8 % en peso de NFU sobre el peso total de la mezcla asfáltica.
- ✓ Mezclas asfálticas en caliente modificadas, con dotaciones de polvo de NFU del 12 al 18 % (en porcentaje sobre peso total del asfalto modificado empleado). Entre 1,0 a 1,5 % en peso de NFU sobre el peso total de la mezcla asfáltica.
- ✓ Mezclas asfálticas en caliente altamente modificadas, con dotaciones de polvo de NFU superiores al 18 % (en porcentaje sobre peso total del asfalto modificado empleado). Entre 1,5 % a 3,0 % en peso de NFU sobre el peso total de la mezcla asfáltica.

El grado de mejora que se quiera conseguir para la mezcla asfáltica dependerá de la dotación de polvo de NFU que se utilice [10].

Se recomienda considerar las siguientes relaciones como orientadoras del proceso de diseño a la hora de seleccionar la tasa de polvo de NFU posible en la mezcla asfáltica, según se indican en la Figura 3.

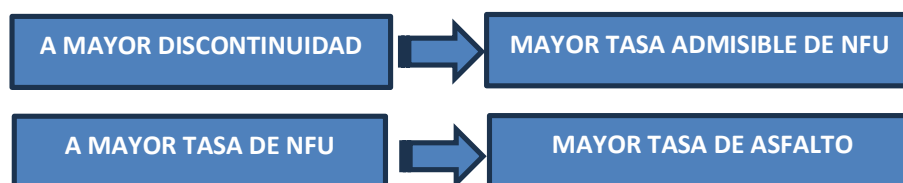


Figura 3. Relaciones entre tasa de NFU y Asfalto.

5.2 Clasificación de las mezclas asfálticas en función de la combinación granular

En función de la combinación granular, se han presentado en las especificaciones tres tipos de mezclas asfálticas en caliente, con vistas a elaborar los tramos de prueba correspondientes, considerando las necesidades de la Dirección de Vialidad de Buenos Aires.

- ✓ Mezcla asfáltica para retardo de fisuras.
- ✓ Concreto asfáltico en caliente Stone Mastic Asphalt (SMA) sin fibra de celulosa y con polvo de NFU pre digerido o activado.
- ✓ Mezclas asfálticas de granulometría continua.

5.3 Mezcla asfáltica para retardo de fisuras (MARF)

Se define como mezcla asfáltica para retardo de fisuras con reciclado de caucho a la combinación de áridos con granulometría densa discontinua, filler y un ligante asfáltico altamente modificado tipo BMAVC 1b o de polvo de caucho pre digerido o activado. Estas mezclas son fabricadas en plantas asfálticas y colocadas en obra a temperatura superior a 160 °C.

Su finalidad es aportar una capa que dote a la estructura de una mayor capacidad de retrasar la aparición de las fisuras en la superficie.

Las MARF presentan granulometría discontinua con un tamaño máximo de agregado pétreo de 12,5 mm. Para su designación se emplea el siguiente sistema:

Tabla 5. Denominación de las mezclas retardo de fisuras

MARF	TM	BMAVC-X
		CA-XX NFU-XX

Donde:

- ✓ MARF: Sigla que indica mezcla asfáltica para retardo de fisuras con reciclado de caucho.
- ✓ TM: Número que indica el tamaño más próximo al tamaño máximo nominal (TMN) del agregado pétreo, definido en milímetros. El TMN se define como la dimensión del tamiz de menor abertura, de la serie normalizada de tamices, que retiene hasta el 10 % en peso, de la mezcla del árido.
- ✓ BMAVC-XX: Indicación correspondiente a los asfaltos modificados que presenta una alta viscosidad, según (ver especificaciones técnicas particular ajustándose a lo prescrito en el documento 001 INTRODUCCION Y CLASIFICACION DE ASFALTO CAUCHO).
- ✓ CA-XX y NFU-XX PREDIGERIDO: indica el empleo de aditivos consistentes en polvo de neumático pre digerido o activado con asfalto y mezcla elaborada con asfalto convencional con grado de viscosidad XX si se emplea la norma IRAM-IAPG A 6835.

La granulometría resultante de la mezcla o composición de las diferentes fracciones de áridos incluido el Filler debe estar comprendida dentro de los puntos de control según la Tabla 6.

Tabla 6. Puntos de control granulométrico de la MARF

Tamicesmm	Porcentaje en peso que pasa (*)
	MARF 10
12,5	100
9,5	75-97
6,3	40-65
4,75	25-40
2,36	20-35
0.60	12-25
0.075	7-10

5.4 Concreto asfáltico en caliente Stone Mastic Asphalt (SMA) sin fibra de celulosa y con polvo de NFU pre digerido o activado.

Se define así a un concreto asfáltico en caliente con ligante asfáltico convencional y caucho de NFU pre digerido o activado, en un porcentaje mayor al de una mezcla asfáltica convencional, áridos con granulometría densa discontinua, filler, sin fibras de celulosa

Son fabricadas en plantas asfálticas y colocadas en obra a temperatura superior a 160 °C.

Su finalidad es dotar a la carpeta de rodamiento de adecuadas condiciones de resistencia mecánica, macro textura, resistencia al deslizamiento y propiedades fono absorbente.

Presentan granulometría discontinua con cuatro tamaños máximos de agregados pétreos: 19, 12,5, 9,5 y 6,4 mm. Para su designación se emplea la nomenclatura señalada en la Tabla 7:

Tabla 7. Denominación de las mezclas tipo SMA

SMA	TM	CA-XX	NFU-XX
-----	----	-------	--------

Donde:

- ✓ SMA: Sigla que indica concreto asfáltico en caliente Stone Mastic Asphalt.
- ✓ TM: Número que indica el tamaño más próximo al tamaño máximo nominal (TMN) del agregado pétreo, definido en milímetros. El TMN se define como la dimensión del tamiz de menor abertura, de la serie normalizada de tamices, que retiene hasta el 10 % en peso, de la mezcla del árido.

- ✓ CA-XX: Indicación correspondiente a los asfaltos convencionales con grado de viscosidad XX, norma IRAM-IAPG A 6835.
- ✓ NFU-XX: indica el porcentaje en peso de NFU utilizado respecto del peso de asfalto. Caucho activado o pre digerido.

La granulometría resultante de la mezcla o composición de las diferentes fracciones de áridos incluido el Filler debe estar comprendida dentro de los puntos establecidos en la Tabla 8

Tabla 8. Puntos de control granulométrico de SMA

Tamices mm	Porcentaje en peso que pasa			
	SMA6	SMA10	SMA12	SMA19
19,0	100	100	100	100
12,5	100	100	90-100	45-60
9,5	100	90-100	32-62	30-45
6,4	100	—	—	—
4,75	90-100	28-43	25-32	20-25
2,36	23-30	22-28	20-27	16-23
0,075	10-13	10-13	9-13	9-13

Las curvas granulométricas de diseño adoptadas deben ser presentadas en la dosificación con toda la serie de tamices.

5.5 Concretos asfálticos en caliente densamente graduado con asfalto mejorado o modificado con polvo de NFU

Se define como Concreto Asfáltico en Caliente (CAC) densamente graduado, a la combinación de un ligante asfáltico mejorado o modificado con polvo de caucho de NFU, a la combinación de un ligante modificado, áridos y filler con granulometría densa continua. Puede llegar a contener aditivos y/o fibras. Estas mezclas son elaboradas en plantas asfálticas y colocadas en obra a temperaturas superiores a la temperatura ambiente.

A continuación, se resume el sistema de designación para las mezclas asfálticas que se utiliza a lo largo del presente documento, de manera de individualizar los diferentes tipos de mezclas asfálticas abordadas o alcanzadas en esta sección.

Tabla 9. Denominación de las mezclas tipo CAC

CAC	D	TM	BC-XX o BMC-XX
			CA-XX NFU-XX

Donde:

- ✓ CAC: Sigla que indica “Concreto Asfáltico en Caliente”.
- ✓ D: Letra que indica el tipo de esqueleto pétreo densamente graduado.
- ✓ TM: Número que indica el tamaño próximo al tamaño máximo nominal (TMN) del agregado pétreo, definido en milímetros. El TMN se define como la dimensión del tamiz de menor abertura, de la serie normalizada de tamices, que retiene hasta el 10% en peso, de la mezcla del árido.
- ✓ BC-XX: Cemento asfáltico mejorado con NFU por vía húmeda.
- ✓ BMC-XX: Cemento asfáltico modificado con NFU por vía húmeda.
- ✓ CA-XX: Indicación correspondiente a los asfaltos convencionales con grado de viscosidad XX, norma IRAM-IAPG A 6835.
- ✓ NFU-XX: indica el porcentaje en peso de NFU utilizado respecto del peso de asfalto. El caucho utilizado se podrá incorporar por vía húmeda y modificar al ligante o podrá ser caucho activado o pre digerido, o por vía seca.

La granulometría resultante de la mezcla o composición de las diferentes fracciones de áridos (incluido el Filler) debe estar comprendida dentro de los puntos de control de la Tabla 10.

Tabla 10. Puntos de control granulométrico de las CAC

Tamices mm	Porcentaje en peso que pasa		
	CACD-12	CACD-19	CACD-25
25,0	---	100	100
19,0	100	83-100	80-100
12,5	80-95	--	--
9,5	71-86	60-75	51-67
4,75	47-62	45-60	33-48
2,36	30-45	33-47	22-37
0,60	15-25	17-29	9-20
0,30	10-18	12-21	5-14
0,075	4-8	5-8	2-4

La ejecución de las mezclas asfálticas en caliente definidas anteriormente incluye las siguientes operaciones:

- ✓ Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.
- ✓ Fabricación de la mezcla de acuerdo con la fórmula de trabajo. Transporte de la mezcla al lugar de empleo.
- ✓ Preparación de la superficie que va a recibir la mezcla. Extensión y compactación de la mezcla.

En todos los casos se deberá identificar tipo y dotación de polvo de neumático fuera de uso, referido a la masa del asfalto o de la mezcla asfáltica y tecnología de incorporación (húmeda o caucho pre digerido)

En caso de asfaltos modificados con polvo de neumático fuera de uso (proceso de dispersión por vía húmeda) la temperatura de mezclado y de compactación serán de 180 °C y 165 °C respectivamente, siempre que se garanticen las condiciones de bombeo.

En el caso de polvo pre digerido, después de calentar los agregados a 180 °C, se agrega el mismo (que está a temperatura ambiente) a los agregados, en caso de que se utilice esa tecnología.

El polvo de NFU pre digerido, deberá incorporarse a la caja donde se incorpora el filler con un sistema de alimentación neumático que pueda ser controlado desde el tablero de la planta. En la especificación se detalla el funcionamiento de la misma.

Una vez bien mezclados los áridos y el polvo de caucho pre digerido o activado, se añadirá a la mezcla el asfalto base, previamente calentado a una temperatura entre 170 y 180 °C. La mezcla asfáltica debe compactarse tan pronto como se aplique y la compactación debe completarse con una temperatura de mezcla no inferior a 150 °C.

El método de diseño especificado es el método Marshall, donde se obtienen las relaciones volumétricas, la determinación de contenido de asfalto efectivo, la caracterización completa de los áridos y del filler de aporte.

Se ha sumado en todos los casos las determinaciones de la resistencia a tracción indirecta conservada y la evaluación a la resistencia a las deformaciones permanentes.

Se ha especificado también un plan de control de calidad, considerando siempre la realización de in tramo de prueba y las verificaciones en planta y en obra de la maquinaria

6 Taller de discusión pública

El 2 de noviembre de 2023, se realiza un taller de discusión pública organizado por la Dirección de Vialidad de la provincia de Buenos Aires, el LEMaC y la Subsecretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la provincia de Buenos Aires. Esta última ha sido quien financió la elaboración de estas especificaciones por medio del fondo de innovación FITBA.

Participaron entre otros, empresas trituradoras de neumáticos, firmas comerciales del exterior (España y Suiza) proveedores del caucho activo o pre digerido, ya que es una tecnología incipiente en el país. Además, asociaciones tales como la Asociación Argentina de Carreteras, Comisión Permanente del Asfalto, Instituto de Normalización IRAM, empresas constructoras, medios de comunicación especializados, usuarios, docentes, investigadores de otras universidades, entre otros.

El grupo de trabajo, compuesto por los autores de este documento, hace una presentación por tema. Luego se genera el debate y participación de los asistentes y se elabora el documento final.

7 Conclusiones

- ✓ Por primera vez un organismo vial de Argentina, específicamente la Dirección de Vialidad de la provincia de Buenos Aires, dispone de especificaciones de mezclas asfálticas con polvo de NFU, considerando las innovaciones tecnológicas más importantes, que han hecho más fácil el uso de esta tecnología.
- ✓ Las especificaciones detallan marcos claros de clasificación y han dado como solución el uso de polvo de NFU en tres tipos de mezclas asfálticas que resultan centrales para la Vialidad, tanto para obra nueva, como para rehabilitaciones.
- ✓ En todo lo referente al uso del polvo de neumático, siguiendo la estructura del Pliego Único, se sumaron detalladamente los aspectos de diseño y constructivos necesarios para que la innovación sea interpretada en forma sencilla en la obra.
- ✓ No se pueden proyectar mezclas asfálticas con polvo de NFU, si los organismos del estado no poseen el marco normativo adecuado.

8 Referencias

- [1] “Fondo de Innovación Tecnológica de Buenos Aires. FITBA”. (2023). https://www.gba.gov.ar/ciencia/fondo_de_innovacion_tecnologica_de_buenos_aires.
- [2] “LEMaC. Centro de Investigaciones viales”, UTN FRLP – CIC PBA. (2023). <https://lemac.frlp.utn.edu.ar/>
- [3] Botasso, H.G. (2018). “*Dispersiones de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso. Su empleo en mezclas asfálticas densas y antiderrapantes*”: Editorial edUtecNE, ISBN 978-987-1896-87-5. La Plata. Argentina.
- [4] “*Planta de trituración de neumáticos fuera de uso*” (2023). Estado de Hidalgo. México.
- [5] “*Manual de empleo de caucho en mezclas bituminosas*”(2010). http://www.carreteros.org/normativa/firmes/pdfs/otros_pdf/si/manualnfu.pdf (Diciembre 2023)
- [6] “*Normas ASTM*”. (2023). <https://la.astm.org/es/standards/>
- [7] “*Pliego de Prescripciones técnicas Generales*” PG3.(2023). <https://www.mitma.gob.es/carreteras/normativa-tecnica/17-pliegos-de-prescripciones-tecnicas-generales>
- [8] “*Normas IRAM, Argentina*”. (2023). <https://www.iram.org.ar/>
- [9] “*Pliego Único de Especificaciones Generales de la Dirección de Vialidad de la provincia de Buenos Aires, PUETG-DVBA*” (2019). <http://www.vialidad.gba.gov.ar/datos/licitaciones/Pliego%20%C3%A9nico%20de%20Especificaciones%20T%C3%A9cnicas%202019.pdf> (2023)
- [10] Alfonso de Leon Alonso, L.; Saiz Rodríguez, L.; Perez Aparicio, R. (2018). “*20 años de mezclas asfálticas con polvo de neumático en las carreteras españolas*”. SIGNUS. Madrid. España.