



Concreto asfáltico en caliente denso con asfalto modificado con caucho reciclado de NFU

Mg. Ing. Gerardo Botasso¹
Ing. Adrián Segura²

RESUMEN

Actualmente, las mezclas asfálticas son utilizadas, en su mayoría, en las construcciones viales, especialmente bajo la forma de concretos asfálticos, los cuales, correctamente diseñados, pueden brindar pavimentos con una larga vida útil. Sin embargo, esta duración puede verse notablemente reducida por condiciones adversas, como tránsito pesado, alto volumen de tránsito canalizado, zonas de frenado, intersecciones, paradas de autobuses, estacionamiento y playas de maniobras de grandes cargas, esfuerzos tangenciales en curvas cerradas, accesos a cabinas de peaje, etc.. Los efectos sobre estos pavimentos se ven materializados especialmente cuando la temperatura es elevada, pues ello da como resultado la aparición de severas deformaciones del tipo plásticas permanentes, lo que genera condiciones de inseguridad en el traslado de los vehículos a altas velocidades.

Desde la tecnología de las mezclas asfálticas se pueden realizar diseños que permitan sumar un adecuado desempeño frente a estas exigencias. El presente trabajo arriba el tratamiento y modificación del cemento asfáltico más utilizado en concretos asfálticos del tipo densos en la región central de la Argentina, clasificado como un CA-20, con adición de polvo de caucho proveniente de neumáticos fuera de uso. Para ello, se han tratado de optimizar el resto de variables que afectan la resistencia a las deformaciones plásticas permanentes y establecer un marco comparativo en el desempeño de mezclas tomando como variables el tipo de ligante asfáltico.

La utilización de los neumáticos fuera de uso pretende mejorar el desempeño del ligante modificando sus propiedades reológicas y, por ende, el comportamiento de la mezcla, lo que promueve, a su vez, una forma de deposición final de los NFU.

II. Las deformaciones plásticas permanentes

Se puede decir que las deformaciones plásticas son canales que se forman a lo largo de la trayectoria longitudinal de circulación de los vehículos, exactamente en las huellas por donde ruedan los neumáticos sobre el pavimento. Representan la acumulación de pequeñas deformaciones permanentes producidas por aplicaciones de carga provenientes del mismo rodado de los vehículos sobre la superficie del pavimento y son uno de los tipos de deterioro de mayor preocupación dentro del estudio del comportamiento de las mezclas asfálticas en caliente, debido a su incidencia preponderante en el camino y su alta intervención como factor generador de accidentes.

La acumulación de deformaciones plásticas en una capa de concreto asfáltico puede ser causada por una reducción volumétrica del material que compone la mezcla asfáltica y por las deformaciones debidas a los esfuerzos cortantes que transmiten las cargas del tránsito.

La deformación plástica permanente se caracteriza por una sección transversal del pavimento que no se encuentra en la posición original de diseño; se llama *permanente* porque representa una acumulación de pequeñas cantidades de deformación irrecuperable que ocurre cada vez que se le aplica la carga. Existen dos tipos principales: a) por fallas en la subrasante y b) por fallas en la capa de la mezcla asfáltica.



FOTO 1. Mezcla con ahuellamiento

Se puede decir que los mecanismos principales de formación de huellas en el área de sollicitación son los siguientes:

- Compactación del tránsito. En esta fase inicial, la compactación debida al tránsito tiene una mayor influencia en las deformaciones.

- El volumen que disminuye por debajo de las llantas es aproximadamente igual al volumen que se incrementa por los bordes en la parte superior del pavimento. Esto es un indicador de que mayormente la compactación se efectúa bajo las sollicitaciones del tránsito y que las huellas son causadas primordialmente por desplazamiento con volumen constante. Esta fase se consideró en gran parte para representar el comportamiento de la deformación en el tiempo de vida del pavimento.

La deformación a través de las capas de concreto asfáltico es mayor cerca de la superficie donde se aplican las cargas y gradualmente decrece en las capas de niveles inferiores. El flujo plástico se reduce con la profundidad.

Los principales factores que hacen sensible a una mezcla al ahuellamiento son:

- Granulometría de los áridos
- Forma, tamaño y textura de los áridos
- Contenido de polvo mineral en la mezcla
- Tipo y cantidad de ligante asfáltico, modificación del asfalto
- Contenido de vacíos en el agregado mineral y contenido de vacíos en la mezcla asfáltica
- Cargas por eje equivalente de los vehículos y presión de contacto de los neumáticos con el pavimento y frecuencia
- Las condiciones ambientales

El presente artículo trata sobre los cambios producidos en la resistencia al ahuellamiento en un concreto asfáltico denso cuando se utiliza, como modificador del ligante, polvo de neumáticos fuera de uso, incorporados por vía húmeda al mismo.

Los objetivos que se persiguen con la modificación de los asfaltos son contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes de las mezclas que componen las capas de rodamiento, lo que acrecentaría la rigidez; disminuir el fisuramiento por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga, para aumentar su elasticidad, contar con un ligante de mejores características adhesivas y gozar también de buenas propiedades de tensión de deformación a bajas temperaturas.

III. Utilización del caucho reciclado

El efecto de la adición de cualquier modificador debe compararse con los incrementos de costos producidos en las mezclas con el fin de obtener su beneficio. Desde hace años, la ingeniería vial buscó conciliarse con los aspectos ambientales y procuró que las obras produzcan el menor impacto sobre el medio ambiente. Esta variable conlleva a extremar los cuidados en explotaciones de canteras, usos de recursos naturales no renovables y consumo de energía en procesos en caliente.

La existencia de neumáticos desechados en Latinoamérica es creciente, y muchas son las experiencias y pruebas realizadas en cuanto a la incorporación de caucho a asfaltos y mezclas asfálticas en los distintos países, en donde a la ecuación de inversión inicial versus durabilidad se deben sumar los costos ambientales mediante el análisis de ciclo de vida, en el cual se valoran los costos totales y se incluye el ambiental y los consumos energéticos para cada proceso de reciclado utilizado.

El caucho reciclado es denominado generalmente como *grano de caucho reciclado* (desde ahora GCR) en la mayoría de los países latinoamericanos en donde ha sido utilizado.

Los tipos de cauchos más empleados en la fabricación de neumáticos son los naturales, estireno butadieno, polisoprenos y polibutadienos. Los cauchos naturales proporcionan elasticidad, mientras que los sintéticos, estabilidad térmica. Se une a ello un proceso de vulcanizado entrelazando las cadenas de polímeros con moléculas de azufre a alta presión y temperatura. El grano de caucho reciclado se puede obtener en procesos diferentes, tales como: recapado, molienda a temperatura ambiente, molienda criogénica.

Estos tres procesos, cada uno características propias, con creciente costo en el orden en que se los ha expuesto, representan distintas alternativas de obtención de granos de caucho.

En México, Brasil, Colombia, Chile y Argentina se ha observado una creciente utilización de GCR proveniente de los procesos de recapado o recauchutado, en donde, mediante medios mecánicos como amoladoras o desgastadoras, se obtiene el GCR sin mayores contaminantes. Luego, se muele a temperatura ambiente y se obtienen granulometrías que varían desde el milímetro hasta el entorno de los 10 mm.

IV. La Microdispersión por vía húmeda

La microdispersión de caucho por vía húmeda es la tecnología utilizada en la presente investigación, consistente en la adición del polvo de neumático en la masa del ligante asfáltico en determinadas condiciones de temperatura y acciones mecánicas, que se describen a continuación.

La vía húmeda garantiza una adecuada interacción entre las fracciones de caucho y las fracciones malténicas y resinosas del asfalto, de lo que resulta el proceso de humectación e hinchamiento buscado, al menos en forma parcial, ya que la molécula de azufre del vulcanizado limita dicho proceso. De esta forma, se busca lograr que el caucho pueda interactuar con el asfalto y lograr la modificación del mismo.

El funcionamiento del dispersor se considera en tres etapas que componen el ciclo de mezclado:

Etapas 1: los materiales son colocados por succión en el fondo del cabezal de trabajo y sometidos a una intensa acción de mezclado por la rotación a alta velocidad de las hojas en el espacio cerrado (aprox. 7000 rpm).

Etapas 2: durante la expulsión desde el cabezal de trabajo, las hojas del rotor dan al material una intensa acción de corte a alta velocidad, lo que garantiza una rápida y total dispersión.

Etapas 3: los materiales procesados son luego expedidos con gran fuerza y velocidad dentro del cuerpo de la mezcla. Al mismo tiempo, el material nuevo ingresa a la base del cabezal mezclador.

El total de la mezcla pasa a través del cabezal mezclador cientos de veces durante el proceso. El tiempo máximo del proceso está en relación directa con el no cambio de las propiedades en el ligante base, verificado sin la adición.

V. Experiencia propuesta

Con el propósito de poder comparar el efecto producido por la adición de caucho al asfalto, se establece un marco comparativo entre la dispersión asfalto-caucho de neumático reciclado con otra dispersión ampliamente utilizada en las mezclas densas CAC D20, como lo es asfalto-SBS.

La proporción de caucho óptima utilizada depende, entre otros factores, del tamaño de las partículas, el origen del mismo, la energía de dispersión aplicada y del uso de la misma, que puede variar del 5 al 26%. La experiencia actual ha considerado una energía de 7000 rpm fácilmente obtenible a escala industrial con dispersores o molinos coloidales; el tamaño de la molienda pasa el 100% la malla 25 de ASTM.

El caucho utilizado se caracterizó por temogravimetría, método cuasi-isostático, en cuya composición aparece:

Tabla 1 : Caracterización del NFU

Tipo de caucho	Porcentaje (%)
Caucho natural	11
Plastificantes	12
Caucho sintético	15
Polibutadieno	22
Carbón fijo	35
Cenizas	5

En la presente experiencia se utilizaron dos modificadores, a saber:

- 8% de caucho proveniente de NFU.
- 3% para el SBS, como blanco de comparación los que se expresan en porcentaje del peso del cemento asfáltico.

V.1. Caracterización del ligante asfáltico

A continuación, se presenta la caracterización de los tres ligantes asfálticos usados en la experiencia: cemento asfáltico base, asfalto con incorporación del reciclado de neumáticos y cemento asfáltico con incorporación de polímero SBS. Con estos asfaltos se confeccionaron las mezclas que fueron ensayadas a módulo dinámico, ahuellamiento y adherencia.

Tabla 2 : Caracterización de los ligantes asfálticos

Ensayo	Unidad	C.A. - 20 base	C.A. + Caucho (8%)	C.A. + SBS (3%)
Penetración	1/10 mm	70	44	51
Punto ablandamiento	°C	47	52	71
Recuperación Elástica Lineal	%	16	21	90
Recuperación Elástica torsional	%	15	33	74
Viscosidad (135° C)	cP	412	1011	1113
Viscosidad (150° C)	cP	207	506,1	421,5
Viscosidad (170° C)	cP	98	239,4	218,2
Viscosidad (190° C)	cP	53,2	134,8	131,4
Punto de inflamación	°C	228	235	237
Índice de penetración		-0,9	0,1	3,0

Tabla 3 : Estabilidad al almacenamiento de los ligantes modificados

Diferencia de penetración	1/10 mm	-	4	2
Dif. pto. ablandamiento	°C	-	8	5

V.2. Caracterización de los áridos

La granulometría de los áridos que intervienen en la mezcla y la composición de la mezcla CAC D20, de acuerdo con los límites granulométricos planteados en las especificaciones vigentes en Argentina, arrojaron los siguientes resultados:

El tipo de árido de trituración utilizado es un agregado granítico gris cuarzo-feldespático, cuyas características son:

Tabla 4 : Caracterización de los agregados

Árido	Determinación	Valor
Piedra partida 6:19	Índice de lajas	22
	Peso específico (gr/cm ³)	2.69
	Desgaste los ángeles(%)	20
Arena de trituración 0:6	Equivalente arena (%)	68
	Peso específico (gr/cm ³)	2.68
	Materia orgánica (%)	0.01
Arena Silíceas (natural)	Equivalente arena (%)	71
Filler de aporte (cal)	Peso específico (gr/cm ³)	2.63
	Densidad aparente en Tolueno (gr/cm ³)	0.65

Tabla 5 : Granulometría de la mezcla

Tamiz	C. Min.	Mezcla	C. Max
3/4	100	100,00	100
1/2	70	83,20	90
3/8	57	69,40	77
4	45	58,62	65
8	32	43,28	55
16	26	29,24	47
30	21	20,84	36
50	15	15,12	27
100	9	9,41	18
200	4	6,67	10

Tabla 6 : Dosificación total CAC D20

Material	Porcentaje en Peso (%)
Material	Porcentaje en peso (%)
Piedra partida granítica 6.19:	41.8
Arena de trituración 0:6:	47.4
Arena silíceas (Natural)	4.7
Filler de aporte (Cal)	1.0
Cemento Asfáltico Modificado con SBS o Caucho NFU	5.1

V.3. Valores Marshall de la mezcla

Desde el punto de vista volumétrico y mecánico se utiliza la metodología Marshall.

Tabla 7 : Valores Marshall

Parámetro	CAC D20 c / AM3	CAC D20 c / NFU
golpes por caras	75	75
Estabilidad (KN)	1400	1134
Relación estabilidad – fluencia (KN/mm)	3508	2268
Porcentaje de vacíos en mezcla (%)	3.4	3.5
Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VAM)	15.9	15.9
Porcentaje relación betún – vacíos	78.9	78.9
Densidad Marshall (g/cm3)	2.444	2.428

Foto 2 : elaboración de mezcla CAC D20 C/ NFU



Foto 3 : Marshall mezcla CAC D20 C/ NFU



V.4. Ensayo de ahuellamiento

El ensayo de ahuellamiento (*wheel tracking test*) se realizó sobre dos ejemplares: uno correspondiente a la mezcla realizada con asfalto modificado con caucho molido y la restante realizada con asfalto modificado con polímero SBS, bajo norma europea BS EN 12697-22:2003.

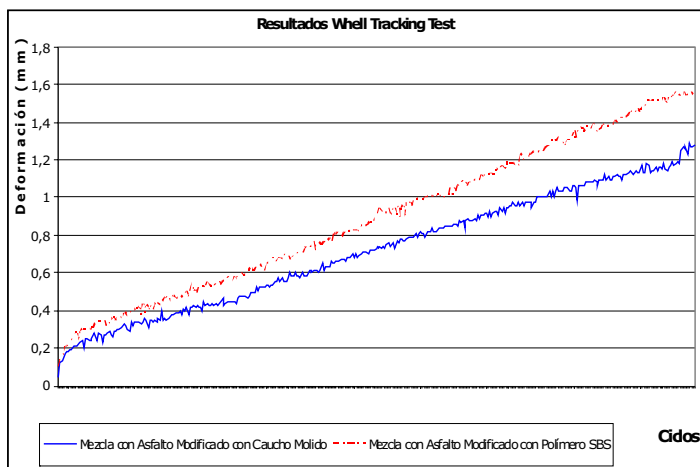
Tabla 8 : Parámetros ahuellamiento

	WTS (mmx10 ⁻³)	RD (mm)	PRD (mm/mm)
CAC D20 c/ NFU	0,011	1,28	0,025
CAC D20 c/ AM3	0.0129	1.57	0.031

Donde:

WTS: Pendiente media de ahuellamiento.
RD: Profundidad de ahuellamiento media.
PRD: Profundidad de ahuellamiento media proporcional.

Los resultados obtenidos se grafican a continuación. La gráfica representa la variación de la deformación, en milímetros, versus los ciclos de la carga.



Gráfica 1 : Deformación versus ciclos de agua

Los valores de los ensayos realizados, como muestra el gráfico, son de 1,3 mm aproximadamente para la mezcla con asfalto modificado con caucho molido y de 1,6 mm de deformación para la mezcla modificada con polímero SBS. Dichos valores de la deformación son los correspondientes al final del período del ensayo, una vez completados los 10000 ciclos de carga, que representan aproximadamente 10 años de puesta en obra una mezcla, es decir, en servicio.

Se presentan a continuación fotografías del ensayo de ahuellamiento.



Foto 4 : Equipo de ensayo WTT



Foto 5 : Probetas ensayadas a ahuellamiento

V.5. Test de Lottman (adherencia)

Las mezclas asfálticas se ven sumamente afectadas durante su vida útil por factores, entre otros, como los combustibles derramados, la temperatura, el aire y la humedad, este último evaluado con este método. Para ello, se simulará la pérdida de resistencia o daño que puedan sufrir los pavimentos conformados con mezclas asfálticas por efectos de la humedad y serán evaluados utilizando como equipo la prensa Lottman, aunque es importante aclarar que el efecto del agua en las mezclas asfálticas es de difícil evaluación debido a variables como los vacíos de aire en la mezcla.

Tabla 9 : Test de Lottman

Mezcla asfáltica	Tracción directa (g/cm ³)		Cálculo del TSR (tensile strength ratio ; > al 80%)
	Resistencia seca R _s	Resistencia húmeda R _h	
Mezcla base Convencional	11,2		100
Comparación con la mezcla base	Convencional	10,2	91,5
	Modificado con 8% de caucho	11,2	100
	Modificado con 3% de SBS	14,1	126



Foto 6 : Equipo de ensayo Test de Lottman

VI. CONCLUSIONES

- Ø La cantidad de caucho a incorporar se ha definido en 8 %. Ha surgido de la “tensión” entre la estabilidad de la dispersión y el máximo grado de modificación para garantizar la mejor performance desde el punto de vista reológico.
- Ø La recuperación elástica por torsión. Este parámetro es significativo a la hora de valorar la eficiencia del proceso de modificación. Los valores logrados del orden del 30 % fueron un gran aliciente, máxime si se considera que se partió de valores del orden del 15 % en el asfalto convencional.
- Ø La penetración, el punto de ablandamiento y la viscosidad. Se observa una disminución en la penetración, un aumento del punto de ablandamiento y de la viscosidad en los dos ligantes modificados, lo que da la noción que las modificaciones realizadas han generado ligantes menos susceptibles térmicamente.
- Ø La mezcla densa. Se han alcanzado valores volumétricos y mecánicos esperables en una mezcla densa al realizar el ensayo de ahuellamiento, se ha comprobado que la relación existente entre los valores obtenidos entre una mezcla densa con asfalto modificado con SBS y la misma mezcla con la incorporación de caucho proveniente de NFU como reemplazo del SBS.
- Ø La resistencia al ahuellamiento en la mezcla confeccionada con caucho proveniente de NFU es del mismo nivel que una mezcla confeccionada con un polímero virgen. La experiencia llevada adelante en un tramo urbano de la ciudad de La Plata, sometida a cargas pesadas, permite vislumbrar que es posible incorporar caucho proveniente de NFU en mezclas densas, deshacerse de un residuo altamente contaminante y que ocupa elevados volúmenes en los vertederos y obtener beneficios del mismo nivel que cuando se tienen que comprar polímeros vírgenes.



BITUPER S.A.C.

42 años de tecnología en asfaltos





TRATAMIENTO SUPERFICIAL CON RIEGO SINCRONIZADO



SLURRY SEAL CARRETERA PANAMERICANA SUR



TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA EN CAJAMARCA



MICROPAVIMENTO CARRETERA PANAMERICANA SUR

<p>BITUCOTE Plus® Mejorador de adherencia tipo amina para asfaltos</p>	<p>BITUMIX® Mezcla asfáltica instantánea en bolsas para uso inmediato</p>	<p>BITUSOIL® Aglutinante orgánico saponificado</p>	<p>BITULASTIC® Cemento asfáltico modificado con polímeros SBS</p>	<p>BITUGRIP® Pegamento asfáltico para marcas de pavimento (TACHAS)</p>
<p>BITUFLEX® Sellante elastomérico para grietas y fisuras</p>	<p>EMULSIÓN ASFÁLTICA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rotura Rápida • Rotura Media • Rotura Lenta 			<ul style="list-style-type: none"> • Superestable • Rotura Controlada • Modificada con Polímeros • Especiales

Oficina: Av. del Pinar 152 - Of. 1005 • Chacarilla del Estanque - Surco • Telfs: 372-7601 / 372 7605 / 372 6943 Anexo 20 - Fax 21