XVI CONGRESO ARGENTINO DE VIALIDAD Y TRÁNSITO

OCTUBRE DE 2012 – CÓRDOBA, ARGENTINA

ÁREA TEMÁTICA 3: PAVIMENTOS

Nº DE ORDEN: 027

UTILIZACION DE ASFALTO MODIFICADO CON NEUMATICOS FUERA DE USO (NFU) EN MICROCONCRETO DISCONTINUO EN CALIENTE

AUTORES: Adrián Segura - María Josefina Positieri - Gerardo Botasso
INSTITUCIÓN: Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Córdoba
LEMaC, Centro de Investigaciones Viales. Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional La Plata
PAÍS: Argentina

RESUMEN

Las capas de rodadura de los pavimentos han sido consideradas tradicionalmente más bien como una estructura que debe soportar las cargas del tránsito que como una superficie sobre la que se deslizan los vehículos.
A fin de optimizar las dos funciones (estructural y superficial), la tendencia es considerar el espesor del paquete del pavimento con función estructural y una piel más o menos fina con parámetros superficiales (macrotextura y microtextura) con una adecuada función de rodadura y por tanto formada por mezclas acordes a su función, como son la adherencia neumático-calzada, proyecciones de agua (spray), desgaste de neumáticos, ruido, entre otras.
Así surgen los microconcretos, mezclas bituminosas que poseen un tamaño máximo de agregado asociado a bajos espesores; estos brindan propiedades de macro y microtextura adecuados en función de una marcada discontinuidad de la curva granulométrica.
Para que un microconcreto discontinuo en caliente posea una performance adecuada en el tiempo deberá contar con la incorporación de ligantes asfálticos modificados, siendo los modificadores más usuales el SBS, EVA, SBR.
El presente trabajo valora las propiedades físico-mecánicas de este tipo de mezcla al producirse la sustitución de un asfalto modificado con polímero virgen por uno modificado con reciclado de NFU. Esto se logra por medio de una modelización en laboratorio que permite predecir el comportamiento de la mezcla bajo condiciones de tránsito y observando los gradientes de deterioro de la macrotextura y de la mircrotextura cuando se produce dicha sustitución. Como resultado, la posibilidad de aprovechar un polímero desechado como es el triturado de neumático fuera de uso (NFU), brinda una respuesta a una necesidad de disminuir costos en la fabricación de asfaltos modificados, y con ello disminuir el impacto ambiental de los NFU en el mundo.

1. Introducción

Se define como microaglomerado discontinuo en caliente, a aquella mezcla de granulometría discontinua, que es elaborada y colocada en caliente como capa de rodadura de calzadas. Sus materiales componentes son la combinación de un cemento asfáltico modificado con polímeros, áridos que presentan una discontinuidad granulométrica muy acentuada en los tamaños intermedios del total de la gradación, relleno mineral y eventualmente aditivos. Realizada la mezcla de estos materiales todas las partículas deben quedar recubiertas por una película homogénea de asfalto (Especificaciones Técnicas de mezclas asfálticas en caliente de bajo espesor de la Comisión Permanente del asfalto de Argentina Versión 01, año 2006.)
Su finalidad es dotar a la capa de rodamiento de adecuadas condiciones de resistencia mecánica, resistencia al deslizamiento y propiedades fono absorbentes.
Estas mezclas de espesor máximo tres centímetros utilizan por lo general como árido grueso una piedra artificial triturada de tamaño máximo 12 mm y un árido fino de aproximadamente tamaño máximo 3 mm presentándose como ausente la fracción entre los 3 y 6 mm situación ésta que genera la discontinuidad en la curva de la mezcla de agregados.

Se deben considerar dos aspectos fundamentales en el diseño y proyecto de una mezcla asfáltica (Botasso et al, 2002):

- La función resistente, que determina los materiales y los espesores de las capas a emplear en la construcción.
- La función superficial, que determina las condiciones de textura y acabado que se deben exigir a las capas superiores del camino para que resulten seguras y confortables.

En el caso de los microaglomerados, éstos aportan sólo función superficial, existiendo la necesidad de que los mismos se coloquen sobre mezclas asfálticas de mayor espesor que aportaron el coeficiente estructural necesario.

2. Fenómenos de superficie en la calzada de un pavimento

2.1. Mecanismos físicos de la adherencia neumáticos

Los principales mecanismos físicos por los que un neumático proporciona su capacidad de adherencia con el suelo son dos: adhesión e histéresis.

Por adhesión se entiende al fenómeno por el que los átomos de dos cuerpos en contacto, sean rígidos o no, desarrollan una pequeña fuerza electromagnética de atracción mutua. La resistencia a la rotura de estas fuerzas provoca la aparición de otras paralelas a la superficie de contacto, que se opondrán a cualquier movimiento relativo entre los dos cuerpos (Mecanismos Físicos De La Adherencia, 2007).

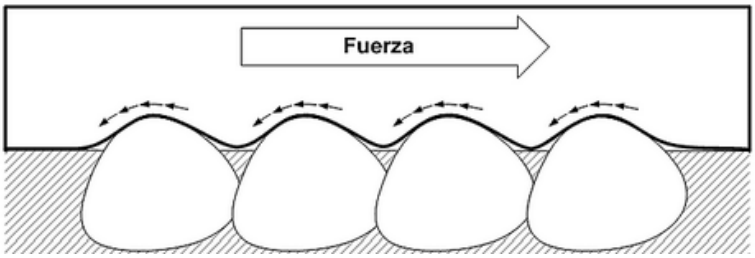

FIGURA Nº 1. Adhesión agregado neumático

El segundo mecanismo por el que el neumático desarrolla su adherencia y que diferencia el caucho de otros muchos materiales es la histéresis. El fenómeno de histéresis está presente en el caucho por su comportamiento visco-elástico.

El deslizamiento de una pieza de este material sobre una irregularidad en la superficie de contacto provoca una deformación. Cuando esta irregularidad se ha superado, el caucho tiende a recuperar su forma original y su contacto con la superficie pero, debido a la histéresis, no de manera inmediata (Botasso et al, 2002).

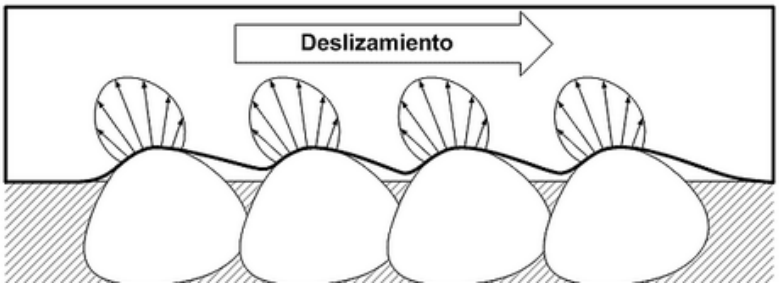

FIGURA Nº 2. Comportamiento histérico

Este desfase entre causa (presión o tensión aplicada) y efecto (deformación) hace que el neumático apoyado sobre una superficie rugosa como es el asfalto «abrace» las irregularidades de manera asimétrica, más por delante de esa rugosidad que por detrás, en el sentido de la marcha. Esto genera una distribución de presiones orientada en sentido contrario al deslizamiento, lo que contribuye a la fuerza de fricción total.
A este fenómeno se debe que un neumático «blando» tenga mejor agarre que uno «duro», y que la mayor tracción se obtenga cuando la rueda está sufriendo un cierto deslizamiento. El área de la superficie de contacto entre un neumático y la calzada queda definida en gran medida por la presión de inflado y el peso que recae sobre él.
El grado de histéresis aceptable está limitado en última instancia por la generación de calor asociada a la deformación cíclica del caucho, que puede degradar las prestaciones del neumático y en última instancia destruirlo. La disminución en la generación de calor debida a las menores deformaciones que sufre un neumático ancho permite el empleo de compuestos más blandos, que proporcionen una mayor adherencia.
Sobre asfalto seco, un neumático de turismo tiene un coeficiente de rozamiento en torno a 0,8-1,0. Es decir, puede desarrollar una fuerza (lateral, longitudinal o combinada) entre el 80 y el 100 por ciento del peso que recae sobre él. Un neumático de competición puede fácilmente duplicar estos valores (Panorámica Actual De Las Mezclas Bituminosas, 2001).

2.2. Histéresis y resistencia a la rodadura

Una consecuencia negativa de la histéresis de un neumático es la resistencia a la rodadura. Al girar, las sucesivas secciones del neumático son deformadas al entrar en contacto con la calzada, no recuperando de forma inmediata su forma original, a consecuencia de la visco-elasticidad del caucho (Mecanismos Físicos De La Adherencia, 2007).

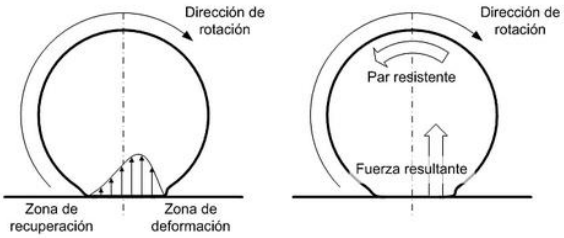

FIGURA Nº 3. Funcionamiento en rotación

Este retardo provoca que buena parte de la energía empleada en su deformación no sea recuperada al volver a su forma original, traduciéndose en una distribución de presiones desigual en la huella, más intensas en su parte delantera.

Esta distribución de presiones puede ser resumida en una única fuerza resultante, que a efectos de análisis dinámico cause el mismo efecto sobre la rueda. Dicha fuerza tendrá una dirección vertical, y su punto de aplicación estará ligeramente desplazado por delante del eje vertical del neumático.
Como toda fuerza cuya dirección de aplicación no pase por el centro de rotación de un objeto, imprimirá al mismo un momento angular o par. En el caso del neumático, este par se opondrá a su rodadura, y deberá ser vencido por la energía proveniente del motor, incrementando por tanto el consumo de combustible y reduciendo la velocidad máxima (Cooper K. E. et al, 1985).
La resistencia a la rodadura crece con la velocidad, pero de manera reducida siempre que no se sobrepase aquélla para la que el neumático ha sido diseñado. En tales circunstancias se puede cuantificar entre el 1,0 por ciento y 1,5 por ciento del peso que recae sobre ella. A velocidades reducidas como las alcanzadas en tránsito urbano su valor es netamente superior a la resistencia aerodinámica, que crece con el cuadrado de la velocidad. A las velocidades desarrolladas en el camino la resistencia aerodinámica es el factor dominante de la resistencia al avance.
La histéresis tiene, por tanto, un efecto provechoso, la adherencia con el asfalto y uno negativo, la resistencia a la rodadura. (Carrasco, Orlando, 2001). Cuando un neumático rueda sobre pavimento seco, el contacto entre la banda de rodadura y el pavimento se produce en toda la superficie de la huella.

Cuando lo hace sobre asfalto lo suficientemente mojado como para que exista una película de agua sobre él, es necesario que los canales tallados sobre el neumático evacúen el agua hacia los laterales. La consecuencia de todo esto es que el área sobre la que efectivamente se genera adherencia es mucho más reducida en mojado que en seco, por lo que el agarre es más reducido. Únicamente en la parte trasera de la huella participan los dos mecanismos principales de generación de fricción (adhesión e histéresis). En la región intermedia apenas hay contacto directo entre superficies, por lo que sólo la histéresis puede proporcionar algo de adherencia.
Un neumático «blando», con una elevada histéresis, presenta por tanto ventajas también en el agarre sobre pavimento mojado. Además, por causa del agua, hay un coeficiente de fricción menor y una mayor refrigeración; es decir un neumático hecho para agua tolera un grado de histéresis muy alto sin que el calor generado suponga un problema.
Un neumático de calle tiene que proporcionar un resultado satisfactorio en situaciones muy variadas, por lo que el margen de maniobra es escaso. En competiciones en las que las ruedas pueden ser sustituidas si las condiciones climatológicas cambian, los neumáticos de lluvia pueden presentar grados de histéresis tan elevados que serían destruidos en pocas vueltas si fueran empleados a ritmo de carrera sobre pavimento seco.
A mayor velocidad, menor es el tiempo disponible para acelerar y desplazar el agua hacia los laterales y, por tanto, mayor la superficie que «flota» sobre el agua y menor la que efectivamente proporciona agarre. Si la velocidad es excesiva y el neumático es incapaz de evacuar la suficiente cantidad de agua como para que se llegue a producir contacto con la calzada, toda la huella se encontrará cubierta por una película de agua, y el neumático ofrecerá una direccionalidad y capacidad de tracción prácticamente nula. Es lo que se conoce como «aquaplaning».

A mayor anchura del neumático, mayor será su tendencia a sufrir aquaplaning. Al ser la huella más ancha, la distancia que debe recorrer el agua hasta ser expulsada por los laterales también es mayor. Además, esta mayor distancia debe ser recorrida en menor tiempo, puesto que la huella también es más corta.
Una característica que hace al aquaplaning especialmente peligroso es lo difícil que es para el conductor apercibirse de su inminencia a través del volante. La pérdida de adherencia lateral sobre asfalto seco se percibe por un progresivo incremento en la ligereza de la dirección, fruto de la pérdida de la tendencia autocentrante del neumático. Por el contrario, la pérdida de firmeza en la dirección provocada por aquaplaning se produce repentinamente, cuando las ruedas ya han perdido completamente el contacto con el suelo (Friedenthal, Esteban, 2004).
Desde las tecnologías de las mezclas asfálticas se pueden generar condiciones superficiales que permitan que la textura de la capa de rodamiento en conjunto con las características de los neumáticos provoquen la mejor combinación posible a fin de evacuar rápidamente el agua del nivel superior del pavimento y generar la mayor adherencia neumático calzada disminuyendo el fenómeno de hidroplaneo y mejorando la adherencia neumático calzada.
Las mezclas que mejor performance desarrollan a nivel de superficie generando texturas ásperas y rugosas son mezclas que en general serán de espesor menor a 3 cm. denominadas microaglomerados asfálticos, tal cual se definieran al comienzo de este articulo. Las texturas deseables se denominan (Botasso et al, 2002):

- Macrotextura: dada por la longitud de onda del tamaño del agregado grueso, es la que permite la evacuación del agua que se comentó con anterioridad.
- Microtextura: Dada por la aspereza del mastic asfáltico conformado por el ligante y los finos y fillers de la mezcla, permitiendo las mejoras en la adherencia neumático calzada.

Ambas en niveles adecuados permiten disminuir las distancias de frenado, con pavimento mojado, ya que se evacúa más rápidamente el agua y el agarre del neumático aumenta.

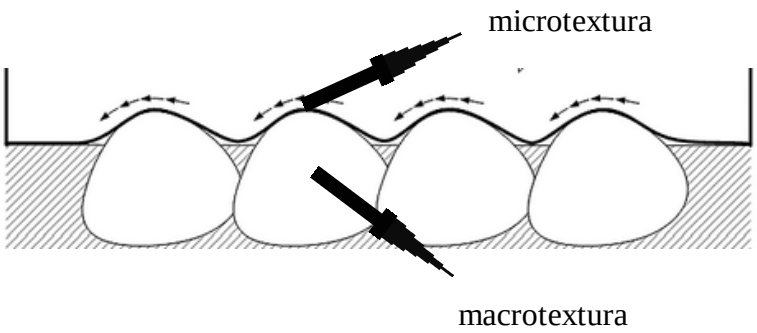

Figura Nº 4. Macrotextura y Microtextura.

3. Las dispersiones de los polímeros en el asfalto

Para que esta mezclas denominadas antiderrapantes mantengan sus valores en el tiempo, frente al amasado del tránsito y de la temperatura de la calzada, se hace necesario contar

con asfalto modificado con polímero, tal cual versa la definición de un microaglomerado en la introducción. Los polímeros se dispersan en el asfalto aportando una fuerte energía de corte, temperatura y contando con la suficiente cantidad de hidrocarburos naftenos aromáticos y polares aromáticos que humecten al polímero y permitan que este se hinche dentro de la masa de asfalto.
Se cuentan con dos tipos de polímeros. Por un lado el Estireno Butadieno Estireno, SBS, polímero virgen en forma de pelets.
Por otro lado el polvo proveniente de la trituración ambiental de los neumáticos fuera de uso, NFU. En la Foto N° 1 se pueden observar dichos polímeros:

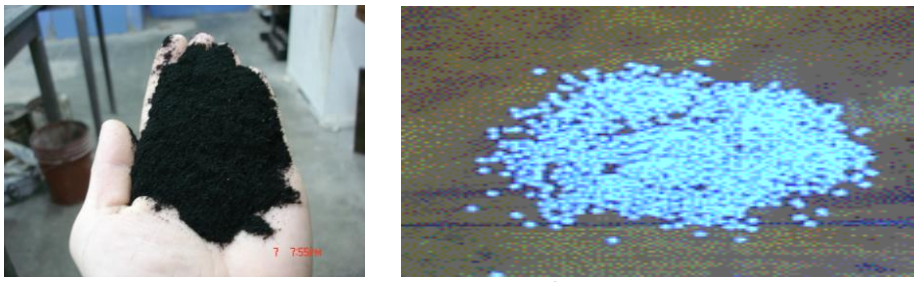

Foto Nº 1. Caucho molido NFU y Polímero SBS

El dispersor utilizado en este proceso es el mostrado en la Foto N° 2:

Foto Nº 2. Equipo dispersor de NFU y SBS en asfalto.

Se caracterizaron las dispersiones poliméricas en base a lo fijado con la Norma IRAM 6596, en la Tabla Nº 1 se pueden observar los valores obtenidos.

Ensayo	Unidad	CA–20+ 8% NFU	CA-20+ 3 % SBS
Penetración	1/10 mm	44	69
Punto de ablandamiento	ºC	56	65
Recuperación elástica torsional	%	33	71
Ductilidad a (5 ºC)	cm.	15	42

Tabla Nº 1. Caracterización de los asfaltos modificados con NFU y con SBS.

4. Características de la mezcla

Las mezclas asfálticas de superficie trascienden el diseño de laboratorio convencional. Vale decir no alcanza con tener valores de estabilidad, flujo, vacíos, etc., sino que se necesita considerar la prestación en obra una vez colocada a fin de valorar su desempeño en condición de pavimento mojado frente a un frenado de emergencia, situación ésta considerada crítica en la distancia que recorre un vehículo al intentar esa maniobra.
En general se clasifican como:

- MAC M8 y M10: microconcretos asfálticos en caliente con granulometría discontinua, monogranulares de tamaño máximo de agregados 8 y 10 mm respectivamente, especialmente proyectados para capas de entre 15 y 25 mm.
- MAC F8 y F10: microconcretos asfálticos en caliente con granulometría discontinua de tamaño máximo de agregados 8 y 10 mm respectivamente, especialmente proyectados para capas de entre 20 y 25 mm los MAC F8 y entre 25 y 35 mm los MAC F10.

En el presente trabajo se diseña un MAC F10 con asfaltos modificado con NFU y SBS. La macrotextura se puede medir en forma puntual con un ensayo denominado parche de arena, (Norma IRAM 1555), se aprecia en la Foto N° 3. La microtextura se puede medir en forma puntual con un ensayo denominado péndulo inglés TRRL (Norma IRAM 1850), se aprecia en la Foto N° 4 el instrumental.

Foto Nº 3. Parche de arena.

Foto Nº 4. Péndulo TRRL.

Los valores exigidos habitualmente en las especificaciones se expresan en la Tabla N° 2, los cuales son:

Tipo de Textura	Norma	F8 - F10
Macrotextura (altura de circulo de parche de arena) [mm]	IRAM 1850	Promedio del lote > 1.1 Mínimo absoluto > 0.8
Microtextura (Coeficiente de resistencia al ahuellamiento) BPN	NLT 175	Mínimo 0.65

Tabla Nº 2. Valores exigibles de Macro y Micro Textura.

El IRAM es el Instituto de Normalización de Materiales de Argentina y las normas NLT son las correspondientes al Ministerio de Fomento de España. (Avilés Lorenzo, Pérez Gimenez, Félix Edmundo. Universitat Politècnica de Catalunya. 2002).

5. El diseño del modelo de laboratorio

No se ha desarrollado aún en laboratorio, según se ha indagado en la bibliografía, un modelo que permita predecir la futura macro y microtextura de una mezcla, antes de ser colocada al menos en un tramo de prueba. Menos aún ver cómo resultan esos valores instantáneos cuando son sometidos a ciclos de temperatura y tránsito, observando el deterioro de estos parámetros con aumentos en la aplicación del número de pasadas de ejes del tránsito.

En el presente trabajo, que forma parte de una tesis de postgrado, se ha desarrollado una modelización que utiliza ensayos dinámicos diseñados para otros fines y que dadas sus características pueden constituirse en el modelo buscado.

En concreto se ha propuesto que en laboratorio se puedan hacer modelos que superen la escala de una probeta del ensayo Marshall, constituyendo una pieza de mayor superficie, de 30 cm x 30 cm., en donde las condiciones de texturas puedan ser observadas.

Foto Nº 5. Probeta de 30 x 30 cm

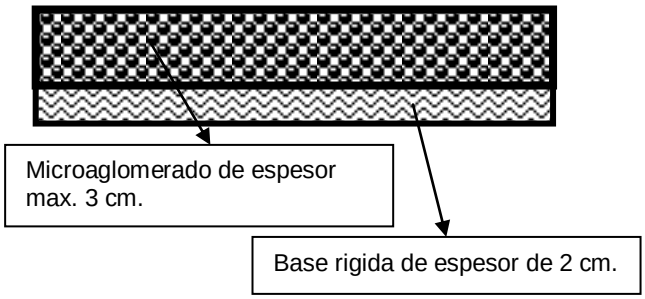

Figura Nº 5. Esquema del modelo de ensayo.

El modelo de probeta proviene del ensayo de ahuellamiento (Wheel Tracking Test – Foto N° 6) que cumple con la Norma Europea BS EN 12697-22:2003 y homologada en Argentina para estudiar las deformaciones plásticas permanentes en las mezclas asfálticas de capacidad estructural, por acción del tránsito pesado. Este equipo aplica en la probeta una carga con ciclos sinusoidales, tal cual lo hace el tránsito en la calzada con una frecuencia de 26,5 ciclos por minuto, pudiendo variarse la temperatura de ensayo según las condiciones climáticas de diseño en donde se encuentre la obra. En el caso de ahuellamiento este ensayo se realiza a 60º C pues es donde se pone de manifiesto este tipo de fenómeno. La idea es que esta carga sea la que produzca el deterioro de las condiciones de superficie para los dos tipos de modificadores utilizados en el microaglomerado.

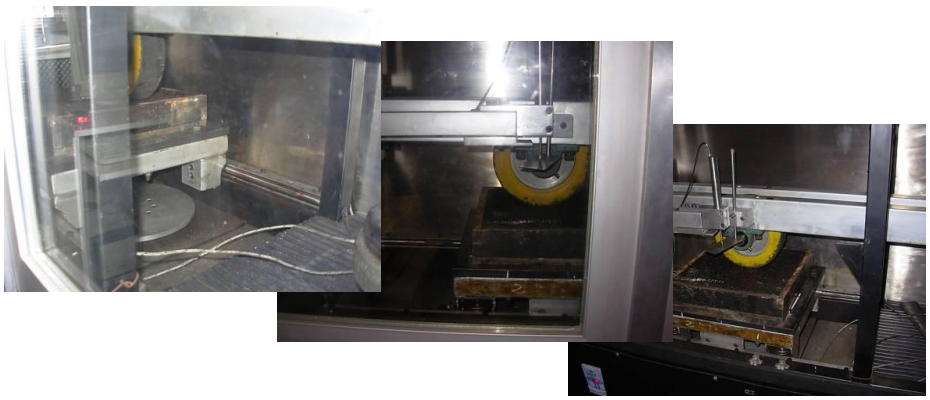

Foto Nº 6. Equipo de Wheel Tracking Test.

El modelo propuesto propone el moldeo de esta probeta con el equipo de compactación mostrado en la Foto N° 7, que simula las condiciones mínimas de compactación que una micromezcla necesita en la obra.

Foto Nº 7. Equipo de compactación de la muestra

Se pretende de esta forma conformar las mezclas tipo microaglomerado discontinuo en caliente utilizando los dos tipos de modificadores del ligante asfáltico, el SBS y el NFU. Una vez obtenidas estas muestras proceder sobre esta superficie a medir la macrotextura en

forma puntual con el ensayo del parche de arena y la microtextura en forma puntual con el péndulo inglés TRRL en condición de pavimentos mojado.
Luego de estas determinaciones se somete a las muestras a la acción de la rueda del equipo de Wheel Tracking Test, con el fin de que simule la acción del tránsito y provoque el deterioro en las condiciones iniciales de textura. La mezcla utilizada es una MAC F10 de las características expresadas en la Tabla N° 3:

Materiales componentes	Nomenclatura	Porcentajes en mezcla
Piedra triturada granítica	6:12	62.4
Arena granítica de trituración	0:3	27,4
Filler: Cal	cal	4,8
Asfalto utilizados en cada caso	CA-20+ 8 % de NFU	5,4
	CA-20+ 3 % SBS	5,4

Tabla Nº 3. Dosificación de las mezclas diseñadas con Asfalto modificado con NFU y SBS

Para el diseño de la mezcla se ha utilizado agregado granítico y un cemento asfáltico que por sus valores de viscosidad clasifica como un CA-20. La cantidad de asfalto en cada mezcla fue el mismo, un 5,4 % en peso de la mezcla.
La cantidad óptima que permitió alcanzar valores similares de desempeño entre los dos ligantes fueron la adición del 8 % de NFU y del 3 % de SBS.
Se muestran en la Foto N° 8, detalles del proceso de formación:

Foto Nº 8. Elaboración de la mezcla

En la Tabla N° 4 se expresa la granulometría de la mezcla y el Gráfico N° 1, se puede observar la curva de la mezcla MAC F10 discontinua entre los tamices Nº 4 y 8 de ASTM.

% Que pasan				
Tamiz	Abert.	C. Min	Mezcla	C. Max
1/2	12700	100	99,93	100
3/8	9500	75	94,60	97
1/4	6250	40	58,68	65
4	4750	25	32,93	40
8	2360	20	25,74	35
30	600	12	12,96	25
200	75	7	7,88	10

Tabla Nº 4. Granulometría de la mezcla

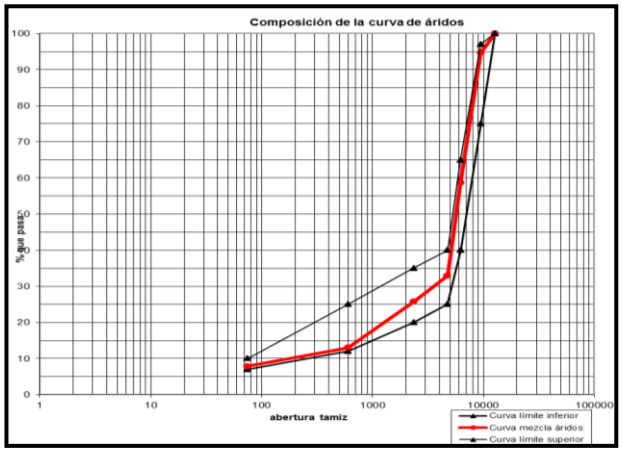

Gráfico Nº 1. Curva de la mezcla y limites

Luego se procedió al diseño con la metodología Marshall, la cual arrojó los valores volumétricos y mecánicos, de la Tabla N° 5:

Mezcla Asfáltica	Densidad Marshall (g/cm^3)	Densidad Rice (g/cm^3)	Vacíos (%)	Estabilidad (kg)	Fluencia (mm)	Vacíos Agregado Mineral (%)	Relación Betún Vacíos (%)
Modificado con 8% de Caucho	2,302	2,453	6,2	875	4,3	18,6	66.8
Modificado con SBS	2,312	2,443	5,4	1096	4.4	17,9	69,7

Tabla Nº 5. Valores volumétricos y mecánicos del ensayo Marshall.

Los valores obtenidos tanto en forma volumétrica como mecánica cumplen con lo exigido habitualmente para este tipo de mezclas discontinuas en las especificaciones técnicas vigentes en Argentina para mezclas de bajo espesor redactadas por la Comisión Permanente del Asfalto, en el año 2006. Luego se procede al moldeo de las probetas para el modelo seleccionado en la forma que se ha indicado dando como resultado las siguientes muestras que se muestran en la Foto N° 9.

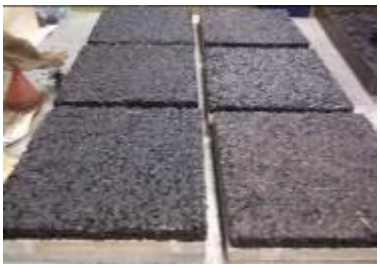

Foto Nº 9. Muestras de 30 x 30 de MAC F10 con asfaltos con NFU y SBS.

Una vez confeccionadas y acondicionadas durante dos (2) horas a 60 ºC las probetas de 30 x 30 cm., se procede a la utilización del equipo de Whell tracking test para la simulación del tránsito sobre las probetas. Dicha simulación se realizará en tres franjas contiguas (cada una de ancho igual a la de la rueda) sobre la superficie de las probetas, esto es a los fines de generar una superficie lo suficientemente ancha que permita la realización de los ensayos de evaluación de macro y microtextura luego de la simulación del tránsito. En la Foto N° 10 se muestran imágenes del proceso.

Foto Nº 10. Procedimiento de carga con el WTT
en las probetas - 3 pasadas una al lado de la otra.

6. Medición de la Macrotextura en la muestras antes y después de la acción del tránsito simulado con el equipo de WTT

Como se citara con anterioridad las determinaciones de macrotextura se realizan con el equipo de parche de arena. Las medidas puntuales consisten en extender sobre la superficie de un pavimento un volumen determinado de arena fina uniforme, que se distribuye y enrasa mediante un esparcidor, quedando la arena enrasada con los picos más salientes. Se procura extender la arena formando un círculo, con lo que es fácil determinar el área cubierta por la arena. A partir del volumen de arena utilizado y del área de pavimento cubierta por ella, se calcula una profundidad media de los huecos rellenos por la arena, valor que se utiliza como medida de la macrotextura superficial del pavimento.

En la Tabla N° 6 se pueden observar los valores medios de macrotextura en los dos microaglomerados y la disminución de este parámetro cuando fue sometido a la acción del tránsito durante 2 horas en cada franja, totalizando un total de tres franjas de carga a una temperatura extrema de 60 ºC. En las Fotos N° 11 se aprecia el procedimiento.

Mezcla MAC F10	Antes WTT	Después WTT	Disminución de la macrotextura (%)
	H (mm)	H (mm)	
Con NFU	1.100	0.591	46.3
Con SBS	1.114	0.684	38.6

Tabla Nº 6. Deterioro de la Macrotextura.

Foto Nº 11. Medición de la macrotextura con el parche de arena sobre el modelo.

7. Medición de la Microtextura en la muestras antes y después de la acción del tránsito simulado con el equipo de WTT

La microtextura se puede medir en forma puntual con el ensayo denominado péndulo inglés TRRL (Norma IRAM 1850), como ya fuera descripto.
Este ensayo consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas, provisto en su extremo de una zapata de caucho, cuando la arista de la zapata roza sobre la superficie a ensayar, con una presión determinada, a lo largo de una longitud fija. Esta pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo. Esta operación se realizó antes y después de la simulación del tránsito en el modelo, con los resultados arrojados en la Tabla N° 7.

Mezcla MAC F10	Antes WTT	Después WTT	Disminución MICROTEXTURA (%)
	Coeficiente BPN	Coeficiente BPN	
Con NFU	0.882	0.838	5,0
Con SBS	0.773	0.750	3,0

Tabla Nº 7. Deterioro de la Microtextura.

En la Foto N° 12, se pueden observar las determinaciones realizadas con el ensayo descrito del Péndulo TRRL.

Foto Nº 12. Medición de la Microtextura con Péndulo TRRL sobre el modelo.

8. Análisis de los resultados obtenidos

A la luz de las experiencias realizadas, se pueden observar en el proceso de caracterización desarrollado las siguientes particularidades:

- Al dispersar polvo de NFU en el cemento asfáltico CA-20 utilizado se han logrado aumentar el punto de ablandamiento del ligante asfáltico original y aumentar la recuperación elástica por torsión. Para ello el equipo dispersor ha demostrado ser una herramienta que permite la microdispersión.
- Se observa que la densidad Marshall alcanzada con el asfalto modificado con 8 % de NFU, es menor que la que se obtiene con el asfalto modificado con SBS. Esto es posible se deba al efecto de amortiguación que genera el polvo de caucho triturado en la mezcla asfáltica. De hecho el 8 % fue el porcentaje máximo admitido entre los valores de modificación óptimos del ligante asfáltico y las pérdidas de densidad en las mezclas, siendo estas dos valoraciones, grado de modificación alcanzado por el asfalto versus densidad de las mezclas, dos valores que se tensionan entre sí.
- Los valores obtenidos volumétricos y mecánicos cumplen con lo exigido en las especificaciones para este tipo de mezclas discontinuas finas.
- Las determinaciones realizadas sobre los modelos realizados han permitido evaluar la macrotextura y la microtextura.
- Los valores de macrotextura son un poco menor en el microaglomerado con caucho que en el realizado con polímero virgen. Es posible se deba a la mayor cantidad de vacíos obtenidos en la mezcla con adición de NFU. La pérdida de macrotextura en la mezcla realizada con asfalto modificado con NFU, es mayor que en el microaglomerado convencional; también se puede inferir que esto sea debido al mayor porcentaje de vacíos de la mezcla. Sin embargo ambas pérdidas mantienen entornos razonables de serviciabilidad dadas las condiciones de temperatura de 60°C a las que se han sometido en el modelo de ensayo de Wheel Tracking Test. En ambos casos resultan ser superiores a los valores habitualmente exigidos para planificar una próxima intervención superficial debido al deterioro de la macrotextura, este umbral es de H = 0,5 mm.

- En cuanto a los valores de microtextura obtenidos antes y después del proceso de solicitación del modelo son satisfactorios y conservan mejor performance los microaglomerados desarrollados con polvo de NFU. Esto se presume se deba a que el mastic asfáltico generado en la envuelta del árido grueso, que constituye la microtextura, es más áspero debido a la presencia de las partículas microdispersas del polvo de neumático fuera de uso en el mezcla.

9. Conclusiones

- Es posible aplicar el modelo de solicitación del ensayo de Wheel Tracking Test, como modelo de carga y solicitación para el deterioro de la macrotextura y de la microtextura de un microaglomerado discontinuo en caliente como el de la experiencia, ya que se evidencian cambios en estas propiedades de significación, que si bien no se pueden asociar al ciclo real de deterioro de la calzada, sí permite establecer correlaciones comparativas entre diferentes mezclas hasta tanto se establezcan relaciones con los modelos a escala real en la calzada de la obra.
- Como se analizara en el punto anterior, el asfalto modificado con caucho proveniente de la trituración de neumáticos usados, permite desarrollar microaglomerados con valores de macrotecxtura y microtextura iniciales similares a los de una mezcla realizada con polímero virgen.
- Luego de poner las probetas de 30 x 30 cm en el equipo de Wheel Tracking Test, se observó que al someterlas a un proceso de 3 pasadas, a efectos de generar un área de valoración adecuada, las dos variables evaluadas se encuentran dentro de un rango de apreciación esperable.
- La macrotextura de las mezclas con NFU se deterioran más rápidamente que en un microaglomerado con polímero virgen, influyendo esto en la capacidad de evacuación del agua de la superficie de la calzada. Sin embargo los valores en ambos casos, antes y después del proceso de deterioro, son aun satisfactorios.
- En cuanto a la microtextura, la responsable de disminuir la distancia de frenado en condición de pavimento mojado, se ha visualizado una mejor performance en las mezclas realizadas con asfalto modificado con NFU. Esto se presume se debe a las condiciones de aspereza que el mastic adquiere con el polvo de neumáticos depositado sobre los áridos gruesos de la misma.
- Queda como pendiente correlacionar los valores alcanzados en laboratorio, tanto para las condiciones iniciales, como después del deterioro, con valores de deterioro percibidos en las obras, con condiciones climáticas y de tránsito de la región donde se realice la obra.

10. Bibliografía

- Avilés Lorenzo, Pérez Gimenez, Félix Edmundo (2002). Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona. España.
- Botasso G. et al (2002). Curso de Postgrado Nuevas Mezclas Asfálticas. LEMaC Centro Investigaciones Viales UTN Reg. La Plata. Argentina.

- BOTASSO G., GONZALEZ R., RIVERA J., REBOLLO O. (2005). Utilización de caucho en mezclas asfálticas. Congreso Ibero Latinoamericano del asfalto. Vol. 1. San José. Costa Rica.
- COOPER K., BROWN F. and POOLEY G. (1985). The Design of Agrégate Gradings for Asphalt Basecourses. Proceedings, The Association of Asphalt Paving Technologists. Vol. 54. Estados Unidos de América.
- Especificaciones Técnicas de mezclas asfálticas en caliente de bajo espesor (2006). Comisión Permanente del asfalto de Argentina Versión 01. Buenos Aires. Argentina.
- Friedenthal Esteban (2004). Tecnología Básica del Caucho. CITIC, Centro de Investigaciones Tecnológicas de la Industria del Caucho. Madrid. España.
- MECANISMOS FÍSICOS DE LA ADHERENCIA (2007) http://www.km77.com/tecnica/bastidor/adherencia/sumario1.asp
- NORMAS IRAM (2010). Instituto de Normalización Argentino. Catalogo de Normas electrónico. Versión 2010. Buenos Aires. Argentina.
- NORMAS NLT (2005). Normas del Ministerio de Fomento de España. Año 2005. Madrid. España.
- PANORÁMICA ACTUAL DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS (2001). ASEFEMA. España.