

Comparación de resultados del coeficiente de absorción acústica, microtextura y macrotextura entre microaglomerados en caliente realizados con asfalto AM-3 vs Asfalto Caucho

Cecilia Soengas, Carolina Gerardi, Gonzalo Botto, Matías Zapata y Gerardo Botasso

LEMaC Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina
+54-221-4890413, csoengas@frlp.utn.edu.ar

RESUMEN

El uso de microaglomerados discontinuos en la reparación superficial de vías urbanas y autopistas es cada vez más frecuente en la Argentina. Es por ello que se estudia la posibilidad de formular una MAC F 10 con asfalto AM-3 y con asfalto con incorporación de caucho molido, con la intención de comparar algunos de sus parámetros superficiales y acústicos, en busca de observar si existe una mejoría en estas propiedades al incorporar éste último en la mezcla. En algunos países europeos y en Norteamérica se han realizado numerosos estudios sobre la reducción en el ruido de rodadura producido por la interacción neumático-calzada cuando se utiliza una mezcla asfáltica porosa con caucho. Es por esta razón, el planteo de este trabajo.

El asfalto caucho se formula en laboratorio siguiendo el procedimiento LEMaC-A02/16 atendiendo los ensayos estipulados en la Norma IRAM 6673.

Se dosifica el MAC F 10 con asfalto AM-3 de acuerdo con las Especificaciones de la Comisión Permanente del Asfalto y luego con la misma mezcla de áridos, se dosifica utilizando asfalto caucho.

Con estas dosificaciones se moldean probetas de 30x30x3 cm con los dos ligantes en estudio. A estas probetas se les realiza el ensayo de Parche de Arena y Péndulo TRRL obteniéndose algunos de los parámetros superficiales iniciales. Para simular la sollicitación del tránsito, se somete a las probetas al WTT en base al procedimiento LEMaC-A03/16, realizándose nuevamente los ensayos de parche de arena y péndulo TRRL, comparando los resultados antes y después de la sollicitación de tránsito.

En las probetas se definen dos zonas de las cuales se extraen testigos para determinar los coeficientes de absorción acústica utilizando el método del Tubo Kundt/Tubo de impedancia. Con las determinaciones efectuadas hasta el momento, se puede arribar a buenas conclusiones con la hipótesis planteada.

FUNDAMENTOS

El grado de seguridad que se alcanza sobre una vía de comunicación depende en cierta forma de la terminación o acabado superficial de la carpeta de rodamiento. La textura lograda por la mezcla asfáltica que conforma dicha carpeta en su superficie, mejora la adherencia entre el neumático y la calzada generando una determinada fricción a diferentes velocidades de circulación de un vehículo, lo cual mejora la seguridad antes mencionada.

La textura del pavimento se puede describir mediante la microtextura y la macrotextura. La primera está referida a las pequeñas irregularidades aportadas por los materiales

componentes de la mezcla, es decir, de la textura de los áridos y mastic asfáltico. La macrotextura se genera según la disposición de los materiales componentes, su granulometría, tamaño máximo de los agregados, etc. Una mayor macrotextura de la carpeta, además de ofrecer mayor resistencia al deslizamiento de un vehículo ante una maniobra de frenado, permite una correcta evacuación de agua evitando que se genere el efecto aquaplaning. Por otra parte, una macrotextura muy pronunciada produce desgaste de los neumáticos del vehículo, mayor consumo de combustible y mayor ruido de rodadura.

Existen mezclas asfálticas de bajo espesor, utilizadas como carpeta de rodamiento que se disponen con el fin de mejorar las características superficiales anteriormente mencionadas. En particular los microaglomerados discontinuos en caliente (MAC) se diseñan para mejorar las condiciones de resistencia mecánica, macrotextura, resistencia al deslizamiento y propiedades fonoabsorbentes de la carpeta de rodamiento. Están compuestas por cementos asfálticos modificados con polímeros, áridos, relleno mineral y eventualmente aditivos.

En función al tamaño máximo de los agregados que la componen y al espesor de la capa de rodamiento al que fueron proyectadas, los MAC se clasifican como indica la Tabla N° 1:

TIPO DE MEZCLA		CARACTERÍSTICAS	
		T máx. (mm)	Espesor de capa de rodamiento (mm)
MAC	M8	8	Entre 15 y 25
	M10	10	
	F8	8	Entre 20 y 25
	F10	10	Entre 25 y 35

Tabla N° 1 - Tipos de microaglomerados en caliente

Este tipo de mezclas poseen una curva granulométrica discontinua generada por el tamaño de las fracciones de áridos que la componen. Con mayor precisión se puede decir que la cantidad de material que pasa la malla de 4.75 mm de abertura (tamiz IRAM N° 4) y queda retenida en el malla de 2.36 mm (tamiz IRAM N° 8) debe ser inferior al 8 % del total de áridos que conforman la curva. Esta discontinuidad en el tamaño de las partículas, incrementa la macrotextura de la mezcla mejorando las condiciones superficiales.

En nuestro país existen exigencias propuestas por la Comisión Permanente del Asfalto sobre las mezclas MAC utilizando AM-3 como ligante, pudiendo también utilizarse como alternativa un ligante asfáltico AM-2.

Uno de los objetivos del presente trabajo consiste en formular y fabricar un microaglomerado discontinuo en caliente compuesto con asfalto modificado con polvo de caucho proveniente de neumáticos fuera de uso (NFU), alcanzando condiciones de seguridad y confort, sobre una vía de comunicación, aceptables, utilizando un material reciclado en su composición.

Los NFU son una problemática a nivel mundial y particularmente en Argentina se estima que se generan 100.000 toneladas anuales, gran parte de estos neumáticos son enterrados pero con el agravante que poseen un tiempo de degradación de más de 600 años, otros se incineran generando una alta contaminación ambiental, y el resto que pueden quedar desechados en la vía pública acumulan insectos y roedores.

Es de esperar, que la incorporación de este material reciclado y triturado a un asfalto convencional, además de mejorar las propiedades visco elástica del ligante aumente la microtextura de la mezcla y ayude a disminuir el ruido de rodadura.

Existen numerosos equipos para determinar la textura superficial de un pavimento. En referencia a la microtextura, es posible evaluarla indirectamente por medio de un péndulo de fricción. Éste dispositivo mide la resistencia al deslizamiento que ofrece la superficie a ensayar, en función a la pérdida de energía que sufre el brazo del péndulo al dejarlo caer sobre la superficie mojada recorriendo una longitud de entre 122 y 127 mm. También se puede medir resistencia al deslizamiento con equipos acoplados a un vehículo o remolcados, la medición es continua y se diferencian en función a las características de la rueda de medida (rueda bloqueada, rueda parcialmente bloqueada o rueda oblicua).

Para determinar la macrotextura de un pavimento se utilizan fundamentalmente tres procedimientos, el método del parche de arena, en el cual se mide la profundidad media de un círculo de arena que se realiza sobre la superficie utilizando una cantidad y granulometría estandarizada de arena. También se puede evaluar mediante un drenómetro, según el tiempo que tarda en evacuar un volumen conocido de agua o a través de perfilómetros de alto rendimiento, que por medio de sensores se mide la distancia que existe entre el vehículo y la superficie del pavimento.

Los valores de macro y micro textura de una mezcla con cualquiera de los equipos o procedimientos anteriormente mencionados, nos permite calcular el Índice de Fricción Internacional (IFI). Éste es un índice de referencia que relaciona grado de fricción alcanzado entre el pavimento y el neumático de un vehículo a distintas velocidades de circulación. El valor del IFI se representa mediante dos números expresados entre paréntesis (F60, Sp). El primero indica el valor de la fricción, es un número adimensional y está comprendido entre cero y uno, donde el valor 0 indica deslizamiento perfecto, y 1 la máxima adherencia entre el neumático y la calzada. El segundo parámetro no tiene límites y su unidad es Km/h. Conociendo el IFI es posible definir la curva de referencia estimada F(S) de fricción – deslizamiento para el pavimento evaluado, mediante la Ecuación 1:

$$F(S) = F_{60} e^{((60-S)/Sp)} \quad \text{Ecuación 1}$$

El ruido de rodadura es la segunda fuente de ruido generada por los automóviles circulando, luego del motor y la transmisión. A partir de 40 km/h para automóviles y 70-80 km/h para vehículos de carga, éste es el principal contribuyente al ruido de tráfico. Se propaga directamente del vehículo, y se refleja en la superficie de la carretera. La reducción de ruido desde la fuente es más efectiva que los tratamientos en edificios o en el camino de la propagación, mediante la utilización de barreras acústicas. En los lugares en donde los recursos tecnológicos lo permiten, se han hecho grandes avances en el campo de la reducción de ruido generado por el rodado de vehículos.

Desde la expansión mundial de la tecnología aplicada en mezclas asfálticas con caucho, se han hecho numerosos estudios orientados a analizar el comportamiento acústico de las mismas. Estudios recientes realizados en Europa demostraron que hay una reducción de ruido de hasta 2 dB(A) [1]. Una ventaja importante de estas mezclas asfálticas es que

mantiene sus propiedades fonoabsorbentes en mayor medida cuando se las compara con las mezclas convencionales. En algunos estudios, la atenuación del ruido fue monitoreada a lo largo de un período de tiempo, mostrando que el nivel de sonoro medido al costado del pavimento aumenta en menor medida en mezclas asfálticas con caucho que en pavimentos convencionales.

Existe una relación directa entre el nivel de presión sonora (dBA) que se emite de la interacción neumático-pavimento y el coeficiente de absorción acústica del pavimento en cuestión. Esto es debido a que el ruido generado por el contacto entre el neumático y la superficie de la carretera consta principalmente de mecanismos de desplazamiento de aire causados por la cubierta. Uno de estos mecanismos sería el bombeo de aire en o entre el hueco que genera el dibujo de la cubierta y el pavimento. La correlación sería entonces que para un pavimento con un coeficiente de absorción acústica más alto, el nivel de presión sonora resultante será menor.

Al alcanzar una superficie, una porción de la onda sonora se refleja y otra es absorbida. La capacidad de absorción acústica de cualquier material es la relación entre la energía absorbida y la energía reflejada por el mismo. Es un valor que varía entre 0 (toda la energía se refleja) y 1 (toda la energía es absorbida). Uno de los métodos para la obtención del coeficiente de absorción es el del Tubo de Kundt (ISO 10534-2). Permite medir este parámetro en incidencia normal, al tener un tubo de sección S y longitud L , con una impedancia mecánica $Z_m L$ (material al cual se le quiere medir la absorción) en un extremo $x = L$, y un pistón (transductor acústico o parlante) en el otro $x = 0$. En el Gráfico N° 1 se puede visualizar lo explicado anteriormente. Si el pistón vibra armónicamente a una frecuencia lo suficientemente baja como para que sólo se propaguen ondas planas, entonces la presión de la onda en el tubo será la suma de dos ondas viajando en las direcciones positiva y negativa de x .

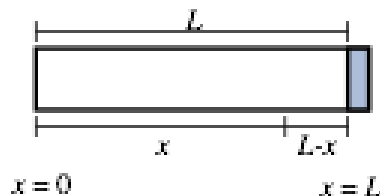


Gráfico N° 1 – Tubo de Kundt

La amplitud de la presión se muestra en el Gráfico 2

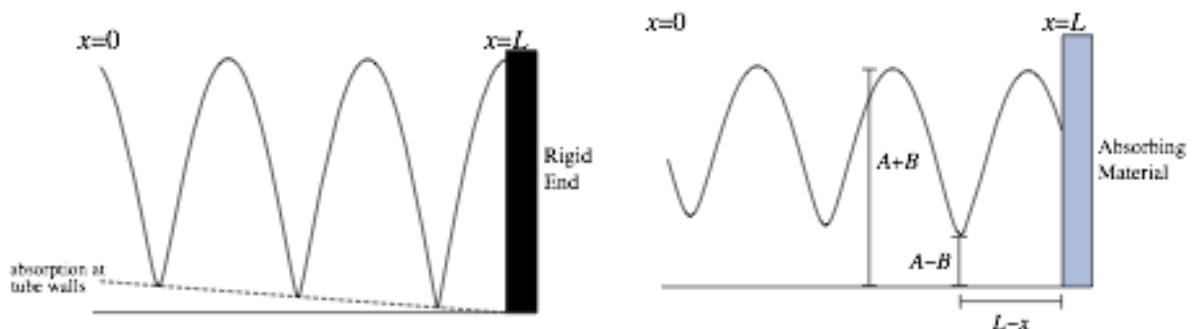


Gráfico N° 2 – Amplitud de presión

El gráfico de la izquierda muestra la amplitud de la presión en el tubo con una terminación rígida en $x = L$. Toda la energía sonora incidente en esta terminación es reflejada con la misma amplitud. Sin embargo, puede existir algo de absorción a lo largo de las paredes a medida que las ondas viajan hacia adelante y hacia atrás en el tubo. La figura de la derecha representa el caso en el que el tubo tiene un material absorbente en la terminación $x = L$. En este caso, una porción de la energía sonora incidente es absorbida por el material, de manera que las ondas reflejadas no tienen la misma amplitud que las ondas incidentes. Además, el material absorbente introduce un cambio de fase con la reflexión. La amplitud en un antinodo (presión máxima) es $(A + B)$, y la amplitud en un nodo (presión mínima) es $(A - B)$. No es posible medir A o B de manera directa. Sin embargo, se puede medir $(A + B)$ y $(A - B)$ utilizando el tubo de onda estacionaria.

Se define relación de onda estacionaria (SWR) a la relación entre máximo y mínimo de presión, por medio de la Ecuación 2.

$$SWR = \frac{A + B}{A - B}$$

Ecuación 2

Ésta expresión se puede reordenar de manera tal que se obtenga el coeficiente de reflexión B/A y el coeficiente de reflexión de potencia sonora R_{fl} , Ecuación 3

$$\frac{B}{A} = \frac{SWR - 1}{SWR + 1}, \quad R_{fl} = \left| \frac{B}{A} \right|^2 = \left(\frac{SWR - 1}{SWR + 1} \right)^2.$$

Ecuación 3

El coeficiente de absorción sonora α de la muestra evaluada a una frecuencia dada, se puede obtener mediante la Ecuación 4:

$$\alpha = 1 - R_{fl}^2 = 1 - \frac{(SWR - 1)^2}{(SWR + 1)^2} = \frac{4}{SWR + \frac{1}{SWR} + 2}.$$

Ecuación 4

Como puede apreciarse, el coeficiente de absorción es una función de la frecuencia, por lo que se requieren mediciones dentro de un rango de frecuencias de interés.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

El objetivo es analizar el comportamiento funcional de una carpeta de rodamiento elaborada con asfalto modificado con polvo de caucho proveniente de neumáticos fuera de uso (NFU). La Comisión Permanente del Asfalto estipula que un Microaglomerado Discontinuo en Caliente debe utilizar como ligante un asfalto modificado del tipo AM-3, partiendo de esa base se diseña una mezcla asfáltica MAC F10 siguiendo la metodología Marshall y verificando los parámetros mecánicos y volumétricos. Concluido el diseño, se fabrica una mezcla idéntica pero utilizando el asfalto caucho como ligante para finalmente poder comparar su desempeño con el microaglomerado compuesto con AM-3.

La fabricación del asfalto caucho se efectúa siguiendo la metodología de la “Guía de metodologías y procedimientos para uso vial desarrollados en el LEMaC” – edición 2016– LEMaC-A01/06). Se verifica que el producto final cumpla con los parámetros más relevantes especificados en la norma IRAM 6673: “Asfaltos con Inclusión de caucho reciclado por vía húmeda para uso vial. Clasificación y requisitos” para este tipo de material. En la Tabla N° 2 se vuelcan los valores representativos de cada parámetro y el resultado del ligante formulado en laboratorio.

ENSAYO	CLASIFICACIÓN IRAM 6673				Asfalto Caucho Elaborado en el LEMaC
	AC-1		AC-2		
	Mín	Máx	Mín	Máx	
Penetración (25 °C, 100 g, 5 s) IRAM 6576	35	50	50	80	50 (0.1 mm)
Punto de ablandamiento IRAM 6841	60	---	55	---	64 (°C)
Recuperación elástica torsional IRAM 6830	15		15		24 (%)
Viscosidad rotacional a 170°C IRAM 6837	---	800	---	600	540 (mPa.seg)

Tabla N° 2 – Parámetros determinados al asfalto caucho

Se moldearon probetas de MAC F10 en moldes de 30x30x3cm, estas dimensiones permiten realizar los ensayos necesarios para el estudio superficial de las muestras. Para lograr una óptima compactación de la mezcla se utilizó un compactador de rodillo verificando la densidad de las mismas.

La textura de cada probeta fue evaluada antes y después de someterla a un desgaste acelerado, siguiendo la metodología propuesta por el LEMaC “Procedimiento acelerado de simulación de acción del tránsito sobre capas asfálticas mediante empleo de equipo Wheel Tracking Test”. Se intenta estimar la caída de la fricción producto del paso vehicular sobre la carpeta de rodamiento y la comparación entre ambos tipos de mezclas asfálticas. En la Foto 1 se puede ver la metodología de trabajo.



Foto 1 - Confección y compactación de las probetas. Simulación de tránsito. Ensayo de Parche de Arena y Péndulo TRRL

Siguiendo la línea de investigación, las determinaciones se realizaron sobre testigos extraídos de las probetas previamente ensayadas y desgastadas por el equipo de Wheel Tracking Test. Sobre las mismas se distinguen dos zonas, las franjas laterales que no fueron

alteradas por el paso de la rueda cargada y la zona central desgastada por el equipo simulador de tránsito, dentro de la zona desgastada se distinguen con otra numeración los testigos extraídos del borde de la probeta ya que podrían verse alterado los resultados debido a encontrarse al final del recorrido de la rueda.

La evaluación del coeficiente de absorción sonora de los microaglomerados se desarrolla mediante el método de Tubo de Kundt / Tubo de Impedancia, Gráfico N° 3. Se utilizó un tubo de vidrio de 1,5 mts de largo y 4,5 cm de diámetro, el cual coincide con el diámetro de las muestras extraídas de las probetas. El tubo fue provisto por el Laboratorio de Física del Grupo de Investigación en Enseñanza de las Ciencias (IEC) de la UTN FRLP.

Se utilizó un generador de señales conectado a un micro parlante de mylar YDR40-2-64 de 40 mm de diámetro para generar la onda acústica que se mueve a lo largo del tubo y se refleja en la muestra. La interferencia de fase entre las ondas del tubo que son incidentes y que se reflejan en la muestra resultará en la formación de un patrón de onda estacionaria a lo largo del tubo. Si el 100% de la onda incidente es reflejada, entonces la onda incidente y reflejada tienen la misma amplitud; los nodos tienen presión nula y los antinodos el doble de presión. Si una porción de la energía sonora incidente es absorbida por la muestra, entonces la onda incidente y reflejada tienen distinta amplitud, y los nodos en el tubo ya no tienen presión nula. Las amplitudes de presión en los nodos y antinodos son capturadas con un micrófono de electret Radioshack 33-3013 y conducidas a través de una placa de audio M-Audio Fast Track USB hacia la computadora en donde se registran dichos niveles. De la relación entre amplitudes máximas y mínimas se obtuvo la relación de onda estacionaria (SWR) a partir de la cual se deriva el coeficiente de absorción acústica en función de la frecuencia para cada muestra medida.

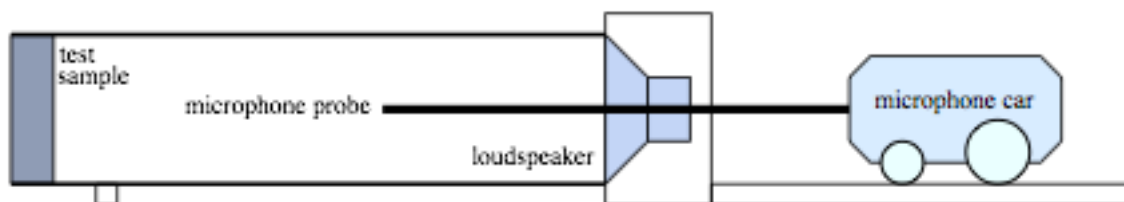


Gráfico N° 3 – Tubo de impedancia

Se utilizaron bandas de frecuencia de tercio de octava de 200 Hz a 5 KHz, ya que la frecuencia de corte superior para una guía de onda circular (tubo) lleno de aire viene dada por la expresión $f_{max} \approx 101/a$ donde a es el radio de la guía de onda. Al ser el tubo de 45mm de diámetro, f_{max} se encuentra alrededor de 4500 Hz. A partir de esta frecuencia, la onda que se propaga deja de ser plana y la medición no es representativa.

Se midieron 12 muestras de AM-3 (6 ensayadas y 6 no ensayadas) y 10 de asfalto caucho (5 ensayadas y 5 no ensayadas), obteniendo los coeficientes de absorción para cada una.

Aparte de comparar si existe una mejor absorción sonora producto de la incorporación de polvo de caucho en el ligante asfáltico, se desea determinar la variación producida por la alteración de la textura superficial de la carpeta de rodamiento debida al paso vehicular. En

la Foto 2 se observa la extracción de testigos y la numeración según su ubicación en la probeta.



Foto 2 – Extracción de testigos. Probeta luego de la extracción. Testigos extraídos de las probetas 1 y 2 de microaglomerado discontinuo

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Siguiendo el orden de la metodología propuesta se comenzó con el diseño del MAC F10 compuesta por asfalto modificado del tipo AM – 3. Las fracciones de áridos utilizadas fueron arena de trituración 0:3 y piedra partida granítica 6:12. Para lograr la discontinuidad en la curva, la fracción que pasa el tamiz de 4.75 mm y, es retenido en el Tamiz de 2.36 mm, fue inferior al 8 % del total del árido que conforman la curva. Esta condición la establece como recomendación la Comisión Permanente del Asfalto, en el Gráfico N° 4 se ve la curva conformada.

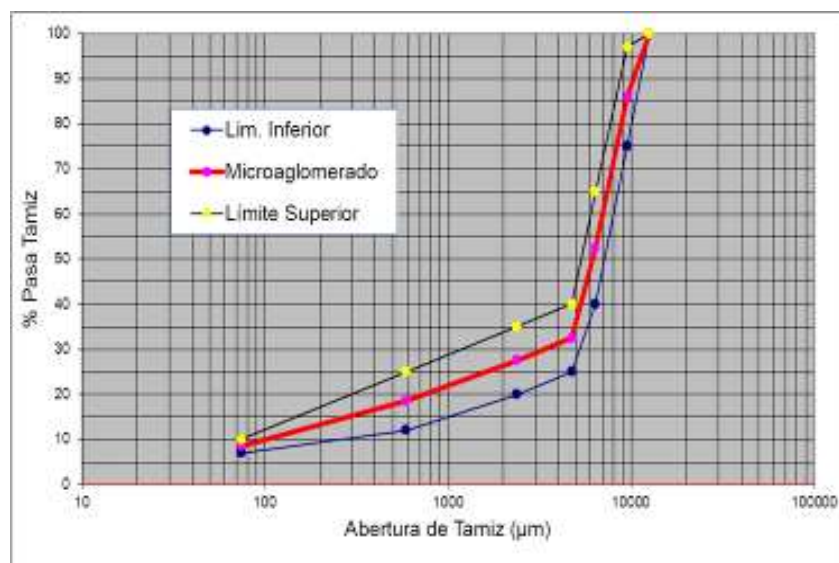


Gráfico N° 4 - Curva Granulométrica MAC F10

Los parámetros Marshall cumplieron con el 5.2 % de ligante en ambos tipos de mezclas, arrojando los resultados que se aprecian en la Tabla 3.

MEZCLA ASFÁLTICA	DENSIDAD MARSHALL	DENSIDAD RICE	VACÍOS	ESTABILIDAD	FLUENCIA
Con AM-3	2.383 (g/cm ³)	2.508 (g/cm ³)	5.0 (%)	1379 (kg)	4.9 (mm)
Con Asfalto Caucho	2.369 (g/cm ³)	2.518 (g/cm ³)	5.9 (%)	895 (kg)	3.3 (mm)

Tabla N° 3 - Valores volumétricos y mecánicos del ensayo Marshall

Si bien la estabilidad disminuye en la mezcla formulada con asfalto modificado con polvo de caucho, los valores proporcionados están dentro de los parámetros requeridos por la Especificación.

Sobre las probetas moldeadas y compactadas se analiza la textura mediante los ensayos de parche de arena y péndulo TRRL.

El procedimiento de desgaste superficial con el equipo de WTT consiste en hacer pasar la rueda cargada sobre cada probeta, previamente acondicionada durante 2 horas a 60 °C, en tres etapas de dos horas cada una, también a 60 °C. En la segunda y tercer etapa de ensayo, la rueda se coloca superpuesta sobre la huella producida en las pasadas anteriores con el objeto de generar una superficie más amplia que permita la extracción de los testigos y la realización de los ensayos de textura luego del desgaste. En la Tabla N° 4 se expresan el promedio de los resultados obtenidos de los ensayos de parche de arena y péndulo TRRL antes y después de ser sometidas a la simulación de tránsito.

Mezcla MAC F10	PARCHE DE ARENA			PÉNDULO TRRL		
	Antes del WTT	Después del WTT	Disminución de la Macrotextura	Antes del WTT	Después del WTT	Disminución de la Microtextura
	H (mm)	H (mm)		C.R.D	C.R.D.	
Con AM-3	1.012	0.787	0.225	0.717	0.600	0.118
Con Asfalto Caucho	0.800	0.753	0.047	0.858	0.626	0.232

Tabla N° 4 – Mediciones de Macrotextura y Microtextura

Cálculo del Índice de Fricción Internacional

En base a las determinaciones de la macrotextura (Tx) de las probetas, obtenidas mediante el ensayo del parche de arena, se aplica la Ecuación 5 para obtener el valor del S_p, primer componente del IFI.

$$S_p = a + b (Tx) \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde, a y b son constantes determinadas por el método de medición de la macrotextura. En correspondencia con el parche de arena, los valores de las constantes son los mostrados a continuación:

$$a = - 11,60 \quad b = 113,63$$

La constante de fricción a 60 Km/h (FR₆₀) se determina por medio de la Ecuación 6

$$FR_{60} = FRS \times e^{((S-60)/Sp)} \quad \text{Ecuación 6}$$

Dónde:

- FRS: Medida de fricción tomada durante el ensayo
- S: velocidad del equipo utilizado para medir la fricción
- Sp: constante de velocidad calculada con la ecuación 5

Con estos valores es posible determinar el segundo parámetro que define el IFI, mediante la Ecuación 7:

$$F_{60} = A + B (FR_{60}) + C (Tx) \quad \text{Ecuación 7}$$

Dónde:

- F_{60} : Fricción a 60 Km/h
- A, B y C son constantes correspondientes al equipo utilizado para determinar la fricción. Las constantes del péndulo de fricción TRRL son:

$$A = 0,07784 \quad B = 0,00709 \quad C = 0$$

Siguiendo esta metodología se determinó el Índice de Fricción Internacional de los dos tipos de microaglomerados discontinuos fabricados, uno con AM-3 como ligante y el otro con asfalto caucho, antes y después del desgaste superficial de los mismos. A continuación se expresan en la Tabla N° 5, los valores promedio obtenidos como resumen.

PROBETA	ENSAYO	MEDICIONES		SP (KM/H)	FR ₆₀	F ₆₀	IFI = (F ₆₀ , SP)
		TX	FRS				
Con AM-3	Antes	1.012	72	103.40	44.39	0.39	(0.39; 103)
	Después	0.787	60	77.83	31.56	0.30	(0.30; 77.84)
Con Asfalto Caucho	Antes	0.800	86	79.31	45.78	0.40	(0.40; 79.31)
	Después	0.753	63	73.97	32.05	0.31	(0.31; 79.97)

Tabla N° 5 – Cálculo del IFI

Finalmente es posible generar la curva de referencia estimada F(S) de fricción – deslizamiento a cualquier velocidad sobre los dos tipos de pavimentos evaluados en las diferentes condiciones superficiales, mediante la Ecuación 8. En el Gráfico 5 se pueden visualizar las curvas confeccionadas

$$F(S) = F_{60} e^{((60-S)/Sp)} \quad \text{Ecuación 8}$$

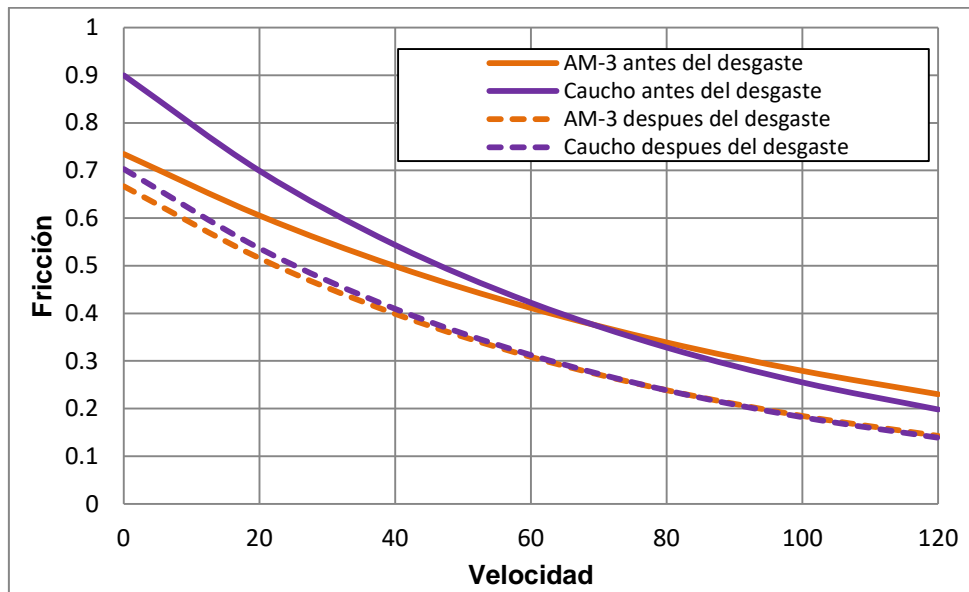


Gráfico 5: Curvas Fricción - Velocidad

En referencia al cálculo del valor de la absorción acústica, luego de realizar diversos métodos de medición, se valoraron los testigos de las distintas zonas extraídas por medio del tubo de impedancia. En el siguiente apartado se arriba a los resultados.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para visualizar mejor los resultados se confeccionan cuatro gráficos (Gráficos N° 6 al 9) diferenciando por una parte los tipos de materiales (AM – 3; Caucho) utilizados como ligante dentro de las mezclas, y por otra las condiciones superficiales de las probetas (antes y después del desgaste con el equipo de WTT). En todos los casos la fricción, como es de esperar, disminuye al aumentar la velocidad de circulación.

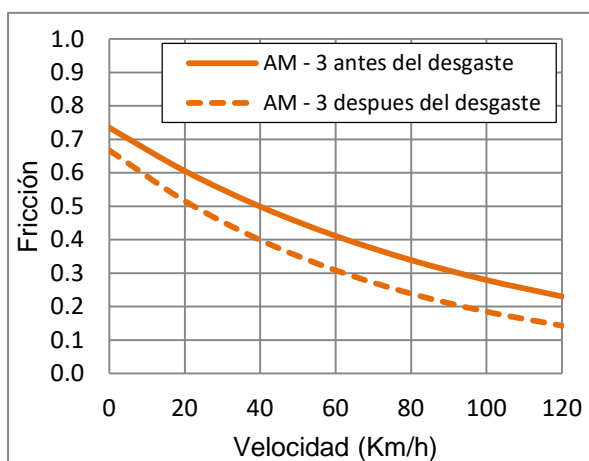


Gráfico N° 6: Curvas AM – 3

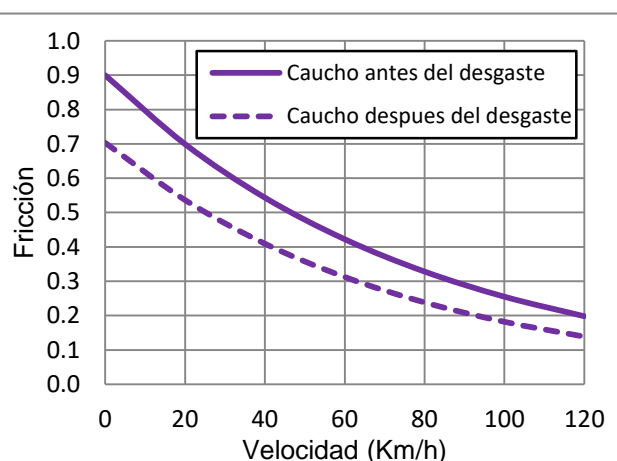


Gráfico N° 7: Curvas IFI Asfalto Caucho

Analizando el comportamiento del microaglomerado con AM – 3, se puede observar que a partir de los 40 Km/h la caída de la fricción sobre la probeta desgastada es prácticamente constante. A bajas velocidades la brecha entre ambas curvas es levemente inferior.

En el caso de las probetas fabricadas con asfalto con caucho incorporado, el efecto es inverso, concluyendo que una mayor microtextura mejora las condiciones de fricción a bajas velocidades. Mientras que a altas velocidades el factor más influyente es la macrotextura notándose una diferencia menos pronunciada entre las curvas.

En el gráfico N° 8 se refleja la influencia del desgaste de la macrotextura y microtextura sobre la superficie de ambos tipos de materiales. Se observa que una mayor microtextura sobre las probetas de caucho, aporta mayor adherencia entre el neumático y la calzada a bajas velocidades. Luego de los 60 Km/h el comportamiento de la mezcla con AM – 3 es superior, alcanzándose mayores valores de fricción.

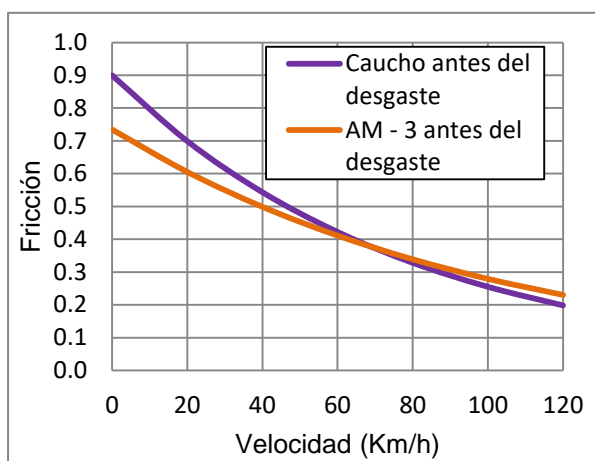


Gráfico 8. Fricción – Velocidad antes WTT

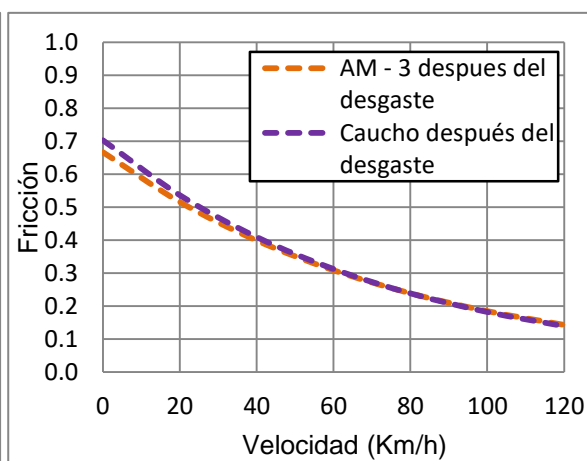


Gráfico 9. Fricción – Velocidad después WTT

Finalmente, se comparan ambos materiales después de la simulación del tránsito (Gráfico N° 9). Las curvas reflejan diferencias ínfimas de fricción a partir de los 20Km/h en toda la gama de velocidades de circulación.

La variación del coeficiente de absorción acústica medido en las muestras con el desgaste generado por el WTT resultó ser distinta para el asfalto caucho que para AM-3. Para ésta última se obtuvieron valores de α más elevados en las muestras ensayadas que en las no ensayadas, lo cual indicaría una mejora en las propiedades acústicas con el desgaste. Esto podría deberse a que el numero de muestras promediado es bajo y el resultado poco representativo. Para el asfalto caucho en cambio, los valores de α se redujeron para las muestras ensayadas.

En la Tabla N° 6 se muestran los resultados obtenidos de coeficiente de absorción acústica totales promediados para cada tipo de mezcla asfáltica:

f	Promedio α AM-3	Promedio α Asfalto Caucho
200 Hz	0,86	0,92
250 Hz	0,85	0,92
315 Hz	0,52	0,52
400 Hz	0,75	0,8
500 Hz	0,6	0,69
630 Hz	0,50	0,56
800 Hz	0,58	0,61
1 KHz	0,53	0,58
1K25Hz	0,32	0,39
1K6Hz	0,10	0,12
2 KHz	0,27	0,30
2K5Hz	0,29	0,4
3K15Hz	0,30	0,26
4 KHz	0,39	0,51
5 KHz	0,50	0,57

Tabla N° 6 – Promedio de coeficientes de absorción acústica

Se puede observar que para 13 de las 15 bandas de frecuencia analizadas, el coeficiente de absorción es mayor en la mezcla que incorpora caucho en el ligante asfáltico, lo cual presentaría una mejora importante en lo que respecta a la reducción de ruido de rodadura generado por la interacción neumático - pavimento. Los altos valores de α obtenidos para las bandas de frecuencias de 200, 250, 315, 400 y 500 Hz tienen que ver con el espesor de la muestra (3cm). Para estas frecuencias, la longitud de onda supera el espesor, por lo que gran parte de la energía acústica atraviesa la muestra y la onda reflejada resulta ser muy pequeña en amplitud. Esto deriva en valores de α elevados y poco representativos de la realidad. Por otro lado, el contenido espectral del ruido de rodadura tiene su máximo en 1KHz, 1K25Hz y 1K6Hz, y a su vez son las frecuencias que resultan ser las más molestas para el oído humano. Estudios posteriores sobre el nivel de presión sonora medido in-situ y su correlación con los valores de α obtenidos son necesarios para arribar a conclusiones definitivas sobre el impacto en la reducción del ruido de rodadura mediante la implementación de esta mezcla asfáltica.

CONCLUSIONES

Es posible fabricar Asfalto modificado con polvo de Caucho proveniente de neumáticos fuera de uso en laboratorio, cumpliendo lo especificado por la norma IRAM 6673. A pesar de ello se continuará investigando con diferentes granulometrías de polvo de caucho ya que no se pudo distinguir entre las dos clasificaciones que propone la Norma.

Se formuló un microaglomerado discontinuo en caliente con Asfalto Caucho a pesar de no estar especificado a nivel Nacional. Se tomaron los parámetros de un microaglomerado con asfalto modificado AM-3 lográndose a obtener parámetros similares.

De acuerdo al Gráfico N° 9, analizando las curvas de ambos ligantes luego del paso de la rueda cargada (simulación de tránsito), se puede concluir que a una velocidad superior a los 60 km/h, la fricción desarrollada sobre ambos materiales es prácticamente igual.

Considerando solo los parámetros superficiales, podemos decir que los microaglomerados conformados en laboratorio tanto con AM-3 como con asfalto caucho, tienen la misma resistencia al deslizamiento luego de la simulación de tránsito y a altas velocidades.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Paje S, Bueno M, Terán F, Miró R, Pérez-Jiménez F, Martínez AH. "Acoustic field evaluation of asphalt mixtures with crumb rubber". *Appl Acoust* 2010;71:578–82.

[2] Crocker M J, Zhuang Li, Arenas J P. "Measurements of Tyre/Road Noise and of Acoustical Properties of Porous Road Surfaces", *International Journal of Acoustics and Vibration*, Vol. 10, No. 2, 2005, pp 52-60

[3] Russell D A, "Absorption Coefficients and Impedance". Science and Mathematics Department, Kettering University, Flint, MI, 48504

[4] Manual de Evaluación de Pavimentos. "Maestría en vías terrestres. Módulo III. Diseño de Pavimentos I. Evaluación de Pavimentos" Autores: Ing. Maylin Corros B., Ing. Ernesto Urbáez P. e Ing. Gustavo Corredor M. (Año 2009)

[5] XVI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. Trabajo "Utilización de asfalto modificado con neumáticos fuera de uso (NFU) en microconcreto discontinuo en caliente". Autores: Ing. Botasso Gerardo, Positieri María Josefina y Segura Adrián (Año 2012)

[6] Proyecto de Pliego de Especificaciones Técnicas Generales para Mezclas Asfálticas en Caliente de Bajo Espesor para Carpetas de Rodamiento de la Comisión Permanente del Asfalto "Microconcretos asfálticos en caliente MAC F8 y F10, MAC M8 y M10". (2010)

[7] Norma IRAM 1555 "Determinación del coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo TRRL". (Año 1998)

[8] Norma IRAM 1850 "Método de determinación de la profundidad de la macrotextura superficial de un pavimento mediante el círculo de arena". (Año 1987)

[9] Artículo "Análisis de la Oferta de Fricción en Vías Pavimentadas de Chile" de la Revista de la Asociación Española de Carreteras N° 199 octubre 2010.

[9] "Guía de metodologías y procedimientos para uso vial desarrollados en el LEMaC" Edición 2016 ISBN 978-987-1896-51-6