

Copyright 2011, Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis - IBP

Este Trabajo Técnico, elaborado para ser presentado en el *XVI CILA – Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto* a realizarse entre el 20 y el 25 de noviembre de 2011 en Rio de Janeiro, fue seleccionado por el Comité Técnico del evento para dicho fin, de concordancia con las informaciones contenidas en el resumen sometido por el/los autor(es). Tal cual presentado, su contenido no fue revisado por el IBP. Por ende, los organizadores no traducirán ni corregirán los textos recibidos. La versión original del material presentado no refleja necesariamente las opiniones del *Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis*, sus Asociados y Representantes. El/los autores de este Trabajo Técnico tienen pleno conocimiento de esto y aprueban su publicación en los Anales del

XVI CILA – Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto.

Resumen

La capa superior del pavimento asfáltico es directamente responsables de las siguientes características funcionales: 1. Distancia de frenado, 2. Ruido del tráfico, 3. Drenaje superficial, 4. Visibilidad de las señales de pintura, 5. Durabilidad, y 6. Regularidad superficial (confort del viajero). Es posible controlar la obtención de las características mencionadas por intermedio de los siguientes parámetros: 1. La micro textura del agregado individual, que puede ser definida por intermedio del índice PSV (Polished Stone Value), responsable principalmente del coeficiente de fricción y la distancia de frenado, 2. La macro textura de la mezcla, que puede ser definida por intermedio de la profundidad de la malla superficial, responsable principalmente del ruido del tráfico, del drenaje superficial, del realce de la pintura y de la distancia de frenado, y 3. La mega textura del pavimento, que puede definirse por intermedio del Índice de Regularidad Internacional (IRI), responsable del confort del viajero. Para obtener las propiedades mencionadas es necesario utilizar agregados con valores de PSV del orden de 50-52, mezclas con una granulometría basada en los principios de diseño del Superpave 19 mm (mezclas “S”) americana, y del SMA 0/11 alemán.

Debido a la crisis del petróleo, que ha provocado un alza significativa de los precios de los ligantes bituminosos, es altamente beneficioso tratar de lograr los beneficios mencionados por medio de capas de espesor mínimo, sin comprometer la calidad, la seguridad y la durabilidad de la carpeta asfáltica.

Este trabajo presenta detalles del diseño, la implementación y el nivel de servicio obtenidos en Israel con mezclas Stone Mastic Asphalt (SMA) altamente exitosas en capas de 2 a 3 cm de espesor con agregados gruesos de 5 mm a 8 mm. La aplicación de estas mezclas ha dado excelentes resultados a lo largo de los últimos años.

Abstract

The upper layer of the asphalt pavement is directly responsible for the following functional properties: 1. Stopping distance, 2. Traffic noise, 3. Surface drainage, 4. Visibility of paint marks, 5. Durability, and 6. Pavement roughness. To maximize these characteristics, the following parameters should be optimized: 1. The microstructure of the single aggregate, which controls the friction coefficient, and can be defined by the PSV (Polished Surface Value) index, 2. The macrostructure of the mix, which affects the traffic noise, the surface drainage, the visibility of the paint marks, and the stopping distance, and can be defined by the depth and texture of the pavement surface, and 3. The megatexture of the pavement, which controls the pavement smoothness, that can be defined using the International Roughness Index (IRI). The achievement of the properties cited above can be granted using a coarse aggregate with a PSV value of 50 to 52, a grain size distribution following the design principles of Superpave 19 mm (“S” shaped mixes), and the characteristics of the German SMA 0/11.

Due to the oil crisis, which contributed to a significant raise in bitumen prices, it is highly convenient to try to achieve the above mentioned benefits using a layer as thin as possible, without compromising the quality, the safety and the durability of the wearing course.

This paper presents the design, the implementation and the levels of service achieved in Israel with Stone Mastic Asphalt (SMA) mixes of 2 to 3 cm thickness using a 5 to 8 mm coarse aggregate. These mixes have shown an excellent performance for several years.

¹ Ingeniero Civil – YONA, Engineering Consulting & Management Ltd., Israel

² PHD, Ingeniería Civil – YONA, Engineering Consulting & Management Ltd., Israel

1. Introducción

Las bondades de las mezclas SMA (Stone Mastic o Matrix Asphalt) son conocidas y aprovechadas mundialmente en los últimos 20 años. El SMA se desarrolló en Alemania a fines de los años 60 del siglo pasado al formalizarse la aplicación manual del “Gussasphalt”, un procedimiento usado para combatir los daños de las llantas de nieve, por medio de la producción en planta del SplittMastix Asphalt a partir de 1968 (Kast, 1985, Haeussler, 1994). No fue sino hasta el año 1990 que el SMA llegó a EEUU como consecuencia del viaje de los expertos de EAST (European Asphalt Study Tour) que publicaron sus recomendaciones en AASHTO 1991. En su reporte, los expertos americanos resaltaron las virtudes del SMA para combatir ahuellamientos y roderas, y concluyeron que se trataba de una mezcla asfáltica con un alto potencial de éxito en las carreteras americanas. Un grupo de trabajo conjunto de la NAPA y FHWA americanas (NAPA 1994) propusieron definir al SMA como “Una mezcla asfáltica en caliente de granulometría discontinua con un contenido de bitumen y agregado grueso tan alto como sea posible, con el objeto de obtener un contacto firme en la matriz granular adherida con un mástico rico en bitumen, filler y estabilizador”.

El uso de capas asfálticas finas o ultra finas se difundió en la década de los 90 del siglo pasado para resolver problemas de fricción o regenerar la textura de la capa de desgaste en pavimentos flexibles. En Francia (Brosseaud et al, 1992) se implementaron mezclas muy finas (denominadas BBTM) en capas de 20 a 25 mm, y ultra finas (denominadas BBUM) con una tasa de aplicación de 25 a 35 kg/m². En E.E.U.U se implementaron capas ultrafinas, conocidas también con el nombre Novachip, en tasas de aplicación de 30 a 40 kg/m² (Kandhal y Lockett, 1997). No siempre se usó la terminología “SMA” para denominar a estas mezclas, aunque en todos los casos se ha utilizado una granulometría discontinua con predominancia de una fracción gruesa de tamaño uniforme para resaltar la textura y apertura de la superficie de rodadura.

La implementación del SMA en Israel comenzó en 1995, y luego de incorporar adaptaciones locales a los preceptos europeos, se ha constituido en la mezcla exigida en las especificaciones nacionales para las carreteras de alto tráfico. Las mezclas SMA ultra finas han ganado enorme popularidad en las calles y arterias principales de las grandes ciudades por sus enormes ventajas funcionales y su espesor pequeño que no compromete estructuras fijas y aceras.

Otro factor que contribuyó a la popularidad de las mezclas ultra finas en Israel es la crisis que se produjo en las canteras de agregado basáltico por la alta demanda de esta roca para el mejoramiento del coeficiente de fricción. La escasez se hizo más notoria en la fracción 5-10 mm siendo ésta la fracción dominante en la producción de SMA 12.5 y SMA 19, que han sido las mezclas predominantes en las capas superiores de la red nacional rural. En el proceso de triturado, se genera un excedente de las fracciones 2-5 y 10-15 que no encontraban una adecuada demanda. Fue así que se optó por investigar e implementar mezclas finas y ultra finas para aprovechar estas fracciones de agregado grueso.

Este trabajo describe datos de diseño, producción y performance de mezclas SMA 0/5 y 0/8 en proyectos rurales y urbanos. La experiencia con estas mezclas ha sido altamente exitosa ya que se ha logrado obtener todas las bondades de las mezclas SMA en el aspecto funcional, a un costo atractivo por metro cuadrado debido al espesor pequeño de estas mezclas.

2. Descripción de los Proyectos y Mezclas

La Tabla 1 describe los proyectos presentados en este trabajo, la clasificación de las vías (urbana o rural) y los tipos de mezclas implementados en cada caso. En todos los casos los espesores de las capas fluctuaron entre 8 y 25 mm.

Tabla 1. Proyectos y mezclas SMA Ultra Finas

Proyecto No.	Lugar/ Usuario	Nomenclatura	Urbano (U) Rural (R)	Tipo de Mezcla	Año de Implementación
1	Tel Aviv	TA	U	SMA 0/5	2003
2	Ramat Gan	RG	U	SMA 0/5	2004
3	Netivei Ayalon	NA	R	SMA 0/5, 0/8	2004
4	Carreteras Estatales	PWD	R	SMA 0/5, 0/8	2007

2.1 Proyecto Tel Aviv (TA)

La Tabla 2 muestra la granulometría de la mezcla SMA 0/5 implementada en la ciudad de Tel Aviv. Este mezcla se produjo con bitumen AC-40 y fibras estabilizadoras de tipo Viatop 66 de JRS Alemania con un contenido del 0.5% del peso de la mezcla.

Tabla 2. Granulometría de la mezcla SMA 0/5 - TA

mall, mm	8	5	2	0.075
% pasante	100	90	35	9.0

El diseño de la mezcla se realizó de acuerdo al método Marshall con una energía de compactación de 50 golpes por lado. La Tabla 3 presenta un resumen de las propiedades de la mezcla SMA 0/5 TA.

Tabla 3. Propiedades de la mezcla SMA 0/5 - TA

Densidad, Kg/m ³	Estabilidad, Libras	Flujo, mm	% de vacíos	VMA (%)	%Estabilidad Retenida	(%) drenado
2,380	2,250	3.0	4.5	20.0	94	0.1

En la Tabla 3, el VMA representa el porcentaje de vacíos en el agregado mineral, el porcentaje de estabilidad retenida es el cociente entre la estabilidad Marshall al término de 24 horas de inmersión en agua a 60° y la estabilidad Marshall al término de 30 minutos en agua a 60°. El porcentaje drenado es la relación entre el bitumen que drena de la mezcla caliente en relación al bitumen original incorporado. Esta mezcla fue distribuida en una zona urbana en un espesor de 8 a 20 mm, en partes sobre una capa niveladora y en partes directamente sobre la superficie escarificada. Esta zona padecía de desgaste y roderas debido al tráfico pesado

2.2 Proyecto Ramat Gan (RG)

La mezcla SMA 0/5 fue utilizada en una zona urbana de la ciudad de Ramat Gan a fin de reducir los niveles de ruido del tráfico vehicular, por lo cual se optó por un diseño de mezcla “abierto” con un alto porcentaje de vacíos. Las tablas 4 y 5 presentan las características y propiedades del SMA-RG.

Tabla 4. Granulometría de la mezcla SMA 0/5 - RG

mall, mm	8	5	2	0.075
% pasante	100	95	28	6.0

Esta mezcla fue elaborada con un contenido de bitumen AC-40 del 6.2%, y 0.5% de fibras Viatop 66.

Tabla 5. Propiedades de la mezcla SMA 0/5 - RG

Estabilidad, Libras	Flujo, mm	% de vacíos	%Estabilidad Retenida	(%) drenado
1,870	3.6	10.0	93	0.05

Mediciones de ruido mostraron que el nivel de éste bajó 5.5 dB(A) del parámetro L_{eq} durante las horas pico entre las 7:00 y 10:00 de la mañana para un tránsito mixto de vehículos privados, autobuses y camiones, de un nivel de 64.7 dB(A) a 59.2 dB(A). La Figura 1 despliega una foto donde se distingue la textura de la mezcla RG.



Figura 1. Textura de la mezcla SMA 0/5 – RG

2.3 Proyecto Netivei Ayalon (NA)

En el año 2004 la empresa Netivei Ayalon (NA) ejecutó 4 secciones de ensayo para comparar y seleccionar la mezcla más adecuada para reducir el ruido del tráfico vehicular sin comprometer los requerimientos de fricción, la regularidad superficial, y los plazos de mantenimiento. La autopista NA es una arteria fundamental de la zona metropolitana de Tel Aviv con niveles de tráfico del orden de los 250,000 vehículos/día.

Las secciones de ensayo se realizaron con mezclas SMA 0/5, SMA 0/8, una mezcla porosa y una mezcla densa de referencia. Todas las mezclas se realizaron con agregado grueso basáltico en secciones de 250 m de largo. La Tabla 6 describe la composición de estas 4 mezclas asfálticas.

Tabla 6. Composición de las mezclas asfálticas en las secciones de ensayo de NA

Mezcla	% pasante malla indicada en mm								Bitumen		Fibras	
	25	19	12.5	9.5	8	5	2	0.075	Tipo	Contenido, %	Tipo	Contenido, %
SMA0/8				100	92	28	17	8.5	AC-40	5.8	Viatop 66	0.5
SMA0/5					100	95	20	4.0	AC-40	6.0	Viatop 66	0.5
Mezcla porosa			100	85	-	20	15	6.0	AC-30	4.0	-	-
Mezcla densa	100	92	73	53	-	48	33	5.5	AC-30	4.0	-	-

El contenido de vacíos de diseño para estas mezclas fue: SMA 0/8, 7.5%; SMA 0/5, 12.0%; la mezcla porosa, 20.0%, y la mezcla densa, 4.5%.

La regularidad superficial se determinó por medio del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) el cual se midió antes y después de colocar la mezcla superior para evaluar el nivel de mejora del IRI. La Figura 2 muestra los valores de IRI obtenidos para el SMA 0/8, SMA 0/5 y la mezcla porosa. Como puede verse, las 3 capas contribuyeron a mejorar el IRI, pero la contribución de las mezclas fina y ultra fina ha sido más pronunciada a pesar de su espesor pequeño.

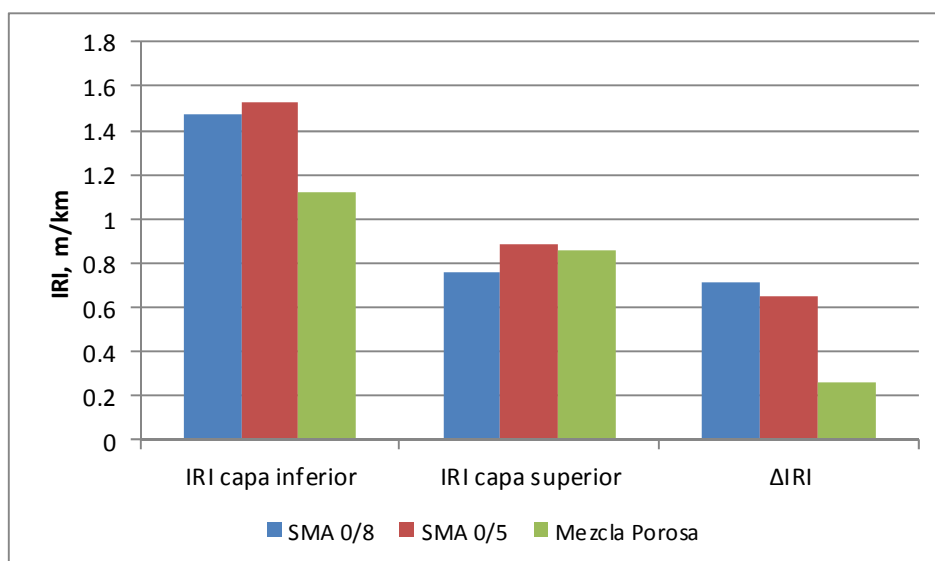


Figura 2. Valores de IRI antes y después de colocada la capa superior – Proyecto NA

En las secciones de experimento NA se midió también el coeficiente de fricción con el equipo ROAR de la empresa Norsemeter a una velocidad de 75 km/hr, con un film de agua de 0.5 mm. La medición se realizó inmediatamente después de la aplicación de las mezclas y al término de 1 año de tráfico. La Figura 3 despliega los datos de fricción.

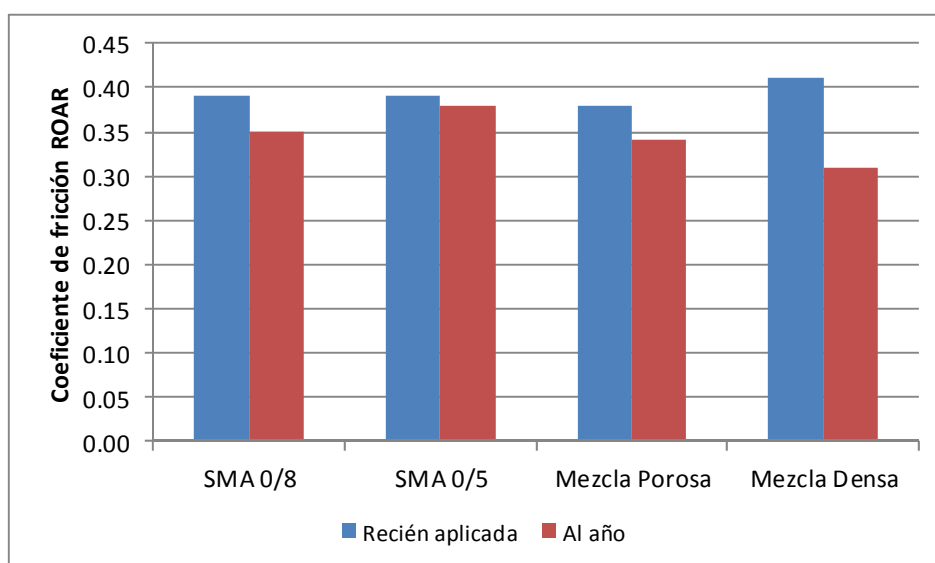


Figure 3. Coeficiente de fricción – Proyecto NA

Como puede verse en la Figura 3, los 4 tipos de mezclas desplegaron valores similares de coeficiente de fricción inmediatamente después de colocadas, incluso con la mezcla densa aportando los valores mayores por encima de 0.40. Sin embargo, al término de 1 año de servicio, se nota un desgaste mayor de la fricción en la mezcla densa, mientras las 2 mezclas finas de SMA 0/8 y SMA 0/5 y la mezcla porosa mantienen valores similares. Como se indicó, las 4 mezclas fueron elaboradas con agregado grueso basáltico con un alto valor de PSV.

El ruido del tráfico se midió antes de la apertura de las secciones al tráfico en un experimento controlado en el cual viajaron vehículos privados y camiones a velocidades selectas. La Figura 4 muestra los niveles de reducción del ruido del tráfico en relación a la mezcla densa a 3 velocidades.

Como puede verse en la Figura 4, un aumento de la velocidad provoca un aumento en la reducción del ruido del tráfico para las 3 mezclas comparadas con la mezcla densa referencial. Así y todo, a 50 km/hr las 3 mezclas reducen el ruido del tráfico entre 3.5 y 6 dB(A). Las 2 mezclas SMA son más efectivas que la mezcla porosa en reducir el ruido del tráfico, y entre estas, el SMA 0/5 es más efectivo aún que el SMA 0/8. Los valores de reducción obtenidos son muy significativos si se tiene en cuenta que una reducción del ruido del tráfico del orden de los 3.5 dB(A) equivale a alejar la fuente de ruido a una distancia doble, o reducir la cantidad de tráfico en un 50%.

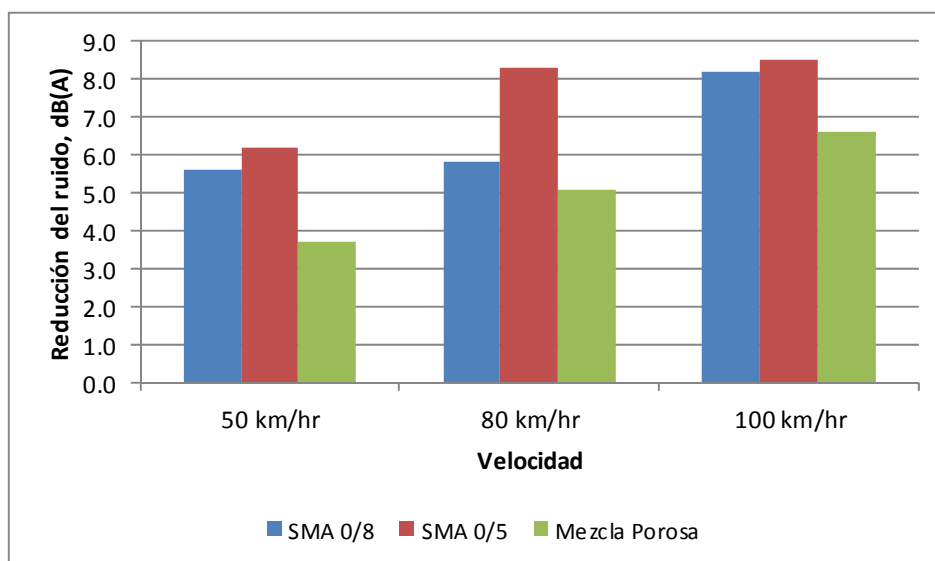


Figure 4. Reducción del ruido de tráfico – Proyecto NA

La Figura 5 muestra una foto de la textura de las mezclas SMA 0/8 y SMA 0/5 al término del primer año de servicio.



Figure 5. Textura de las mezclas SMA 0/8 y SMA 0/5 al año de servicio– Proyecto NA

2.4 Proyecto Carreteras Estatales (PWD)

Debido a la pronunciada escasez de agregado grueso basáltico en la fracción 5-10 mm, lo cual ocasionó la paralización de trabajos programados en varios proyectos, el Departamento de Obras Públicas de Israel decidió en el año 2007 ampliar el número de fracciones para la producción de mezclas asfálticas a 3, y reducir el espesor de la capa de rodadura a la mitad, para lograr de esta manera un aprovechamiento 6 veces más alto de los agregados: 3 fracciones en vez de 1, y espesor de 50%. Esta decisión logró también contrarrestar el alza del bitumen y los insumos de trabajo, logrando un ahorro significativo con respecto a las normas vigentes previo a esta decisión.

Para sentar las bases técnicas de esta decisión de usar capas finas y ultra finas, se llevó a cabo un experimento de campo que contempló diferentes tipos de mezclas SMA en las carreteras estatales más transitadas, con niveles de tráfico en exceso de 200,000 vpd. Las mezclas contempladas fueron:

- SMA 0/5 con fracción dominante de 2 a 5 mm en un espesor diseño de 1.5 cm.
- SMA 0/10 con fracción dominante de 5 a 10 mm en un espesor de diseño de 2.0 cm.
- SMA 0/15 con fracción dominante de 10 a 15 mm en un espesor de diseño de 3.0 cm.

En el desarrollo del experimento se analizaron también diferentes tipos y contenidos de fibras estabilizadoras y bitumen. La Tabla 7 describe la granulometría, el tipo y contenido de las fibras estabilizadoras, y el tipo y contenido de Bitumen de las diferentes mezclas del proyecto.

Tabla 7. Mezclas asfálticas SMA finas y ultra finas – Proyecto PWD

Mezcla	% pasante malla en mm							Fibras estabilizadoras		Bitumen	
	15	12.5	9.5	8.0	4.75	2.00	0.075	Tipo	%	Tipo	%
SMA 0/5				100	92	27	9.0	VIATOP 66	0.5	PG70-10	6.3
								VIATOP 66	0.5	PG74-10	6.2
								VIATOP PREMIUM	0.4	PG74-10	6.2
SMA 0/10		100	92	82	27	18	8.5	VIATOP 66	0.5	PG70-10	6.0
								VIATOP SUPERIOR	0.5	PG68-10	6.0
								VIATOP PREMIUM	0.4	PG74-10	6.0
SMA 0/15	100	93	28	-	25	18	9.0	VIATOP 66	0.5	PG70-10	5.7
								VIATOP SUPERIOR	0.5	PG68-10	5.7
								VIATOP PREMIUM	0.4	PG74-10	5.7

La Tabla 8 presenta datos de las carpetas asfálticas colocadas, incluyendo parámetros de nivel de servicio medidos al año de la pavimentación.

Tabla 8. Características de las capas SMA – Proyecto PWD

Característica	SMA 0/15	SMA 0/10	SMA 0/5
Espesor de capa, mm	32	24	17
Densidad de campo, Kg/m ³	2,320	2,280	No se pudo determinar
Grado de compactación, %	99.0	98.2	
Profundidad de macrotextura ⁽¹⁾ , mm	2.40	1.44	0.41
Coefficiente de Fricción ⁽²⁾	0.40	0.49	0.46
IRI, m/km	1.6	1.4	1.5

(1) Medido con el método del parche de arena.

(2) Medido con el equipo ROAR

Como puede verse en la Tabla 8, las mezclas finas y ultra finas proporcionan un nivel de servicio altamente satisfactorio incluso en carreteras de alto tráfico, aportando características funcionales óptimas a pesar de su pequeño espesor.

3. Consideraciones de Costos

La Tabla 9 presenta costos de las mezclas SMA finas y ultra finas en Israel al año 2010 expresados en dólares americanos. La comparación de costos toma en cuenta los diferentes espesores implementados con las diferentes mezclas.

Tabla 9. Costos de las diferentes mezclas asfálticas

Mezcla	US\$/ton	US\$/cm	US\$/m ² (Espesor en cm)
SMA 0/19	130	3.10	12.4 (4 cm)
SMA 0/5	137	3.30	4.95 (1.5 cm)
SMA 0/8	130	3.10	7.75 (2.5 cm)
Densa	85	2.05	-

A modo de ejemplo, el costo por metro cuadrado de una capa asfáltica de 10 cm de espesor se puede comparar utilizando combinaciones de las diferentes mezclas de la siguiente manera:

- | | |
|---|----------------------------|
| a) 10 cm de mezcla densa | = 20.5 US\$/m ² |
| b) 8.5 cm de mezcla densa + 1.5 cm de SMA 0/5 | = 22.4 US\$/m ² |
| c) 7.5 cm de mezcla densa + 2.5 cm de SMA 0/8 | = 23.1 US\$/m ² |
| d) 6 cm de mezcla densa + 4 cm de SMA 0/19 | = 24.7 US\$/m ² |

Como puede verse en el ejemplo, con una inversión adicional de 10% a 15% por metro cuadrado es posible obtener todas las ventajas y beneficios funcionales del SMA utilizando capas finas y ultra finas. A medida que el espesor de la capa SMA aumenta, aumenta también el costo por metro cuadrado.

4. Resumen y Conclusiones

Este trabajo ha presentado ejemplos prácticos de implementación de mezclas SMA finas y ultra finas en el ámbito urbano y rural de las carreteras en Israel en los últimos 7 años. Los beneficios de las mezclas SMA, en lo que se refiere a controlar y mejorar características funcionales de la capa superior tales como la distancia de frenado, el ruido del tráfico, el drenaje superficial en tiempo de lluvia, el realce de las señales de pintura, la durabilidad de la mezcla y el confort del viajero, ya eran conocidos en Israel desde el año 1995 en el que se realizó el primer experimento de campo con una mezcla SMA de 19 mm.

La necesidad de investigar e implementar mezclas SMA finas y ultra finas se resaltó por la crisis en las canteras locales de agregado basáltico ante su insuficiencia en generar suficientes agregados en las fracciones de interés. Asimismo, la crisis del petróleo que condujo al inevitable alza en los precios del bitumen, obligaron a buscar alternativas de capas de desgaste de alta calidad y seguridad con un mínimo espesor.

Los ejemplos presentados en este trabajo, relacionados con la implementación de mezclas SMA 0/5 y SMA 0/8 de 1.5 cm y 2.5 cm de espesor, respectivamente, demuestran concluyentemente que este tipo de mezclas proporcionan todos los beneficios funcionales arriba mencionados en forma eficiente y relativamente económica, si se tiene en cuenta el costo por metro cuadrado.

A raíz del éxito de las mezclas SMA finas y ultra finas, varias organizaciones municipales y estatales en Israel han adoptado políticas que estipulan la implementación obligatoria de este tipo de mezclas en proyectos que satisfacen criterios de servicio pre-establecidos. En el ámbito urbano, las mezclas ultra finas son sumamente atractivas ya que permiten la restauración de arterias principales que no padecen de deficiencias estructurales con espesores tan pequeños que no comprometen las calzadas y la línea roja del pavimento existente.

Se puede concluir entonces que las mezclas SMA finas y ultra finas representan una alternativa sumamente atractiva para arterias urbanas y rurales con altos niveles de tráfico que no padecen de problemas estructurales, o en el caso en que son colocadas como capa de desgaste por encima de las capas de refuerzo estructural. Estas capas son también muy eficientes en reducir el ruido del tráfico pudiendo reemplazar o disminuir el uso de muros o pantallas acústicos.

8. Referencias

- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS, AASHTO. *Report on the 1990 European Asphalt Study Tour*, 1991.
- BROSSEAUD, Y., BELLANGER, J., GOURDON, J.L. *Thinner and Thinner Asphalt Layers for the Maintenance of French Roads*, TRR No. 1334, TRB Washington D.C., p. 9-12, 1992.
- HAEUSLER, H., JRS – J. RETTENMAIER & SOHNE GmbH + Co. *Personal Communication*, 1994.
- KANDHAL, P. S., LOCKETT, L. *Construction and Performance of Ultrathin Asphalt Friction Course*. NCAT Report No. 97-5, 1997.
- KAST, O. E. Long Term Experience with Splittmastixasphalt in the Federal Republik of Germany. *Eurobitume Symposium*, 1985.
- NAPA. *Guidelines for Materials, Production, and Placement of Stone Matrix Asphalt (SMA)*, IS 118, SMA Technical Working Group (TWG) Sponsored by FHWA, 1994.