

IAG231-01-2013
DESARROLLO EN LABORATORIO DE UNA MEZCLA TIBIA SMA
MULTIGRADO: CONSIDERACIONES TECNOLOGICAS, AMBIENTALES
Y DE SEGURIDAD VIAL
DESENVOLVIMENTO EM LABORATÓRIO DE UMA MISTURA TIBIA
SMA MULTI-GRADE: CONSIDERAÇÕES TECNOLÓGICAS,
AMBIENTAIS E DE SEGURANÇA RODOVIÁRIA

Hugo Daniel Bianchetto
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Avellaneda
Avellaneda, Argentina
hbianchetto@fra.utn.edu.ar

Elizabet Hacker
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Avellaneda
Avellaneda, Argentina
hackerelizabercintia@gmail.com

Nidia Fretes
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Avellaneda
Avellaneda, Argentina
nnfretes@gmail.com

Resumen

Se presentan los estudios y ensayos de laboratorio efectuados con el objeto de diseñar una mezcla bituminosa en caliente con algunas propiedades genéricas singulares. Se trata de una SMA elaborada con fibras de celulosa aditivadas convenientemente a fin de disminuir la temperatura de mezclado y un ligante multigrado para permitir su utilización en regiones con gradientes térmicos pronunciados. De tal forma, es posible clasificar a esta mezcla como “SMA tibia multigrado”. En este trabajo se expone la caracterización de los materiales componentes y los resultados volumétricos y mecánicos del producto final obtenido, realizándose además una serie de consideraciones acerca de las principales cualidades esperables en los pavimentos que se proyecten con esta tipología y de sus posibilidades de empleo: economía y sustentabilidad en la fabricación, incremento de la seguridad vial por elevada macrotextura superficial, vida útil prolongada y comportamiento optimizado en regiones con climas extremos debido a su menor susceptibilidad térmica.

Resumo

Apresentam-se os estudos e ensaios de laboratório efetuados com o objeto de desenhar uma mistura betuminosa a quente com algumas propriedades genéricas singulares. Trata-se de uma SMA elaborada com fibras de celulosa aditivadas convenientemente a fim de diminuir a

temperatura de misturado e com um ligante *multi-grade* para permitir sua utilização em regiões com gradientes térmicos pronunciados. De tal forma, é possível classificar a esta mistura como “SMA tibia *multi-grade*”. Neste trabalho expõe-se a caracterização dos materiais componentes e os resultados volumétricos e mecânicos do produto final obtido, realizando-se ademais uma série de considerações a respeito das principais qualidades esperadas nos pavimentos que se projetem com esta tipologia e de suas possibilidades de emprego: economia e sustentabilidade na fabricação, aumento da segurança rodoviária por elevada macro textura superficial, vida de serviço longa e comportamento otimizado em regiões com condições meteorológicas extremas devido a sua menor susceptibilidade térmicas.

INTRODUCCION

Las mezclas SMA (“Stone Mastic Asphalt” o “Splittmatrix-Asphalt”), al igual que los microaglomerados en caliente y las mezclas drenantes, son mezclas bituminosas discontinuas que se emplean para capas de rodamiento con elevada macrotextura superficial. Están conformadas principalmente por un esqueleto pétreo y poseen un bajo contenido de vacíos, para lo cual necesitan una abundante dotación de asfalto y de filleres de aportación (éstos, además de oficiar de relleno con gran superficie específica, otorgan adhesividad árido-ligante y cohesión a la mezcla) más la adición de fibras para evitar el escurrimiento del asfalto libre, por lo que también se las clasifica dentro de las “mezclas fibroasfálticas” (Bolzán, 2010); está comprobado que las mezclas SMA con una alta proporción de mástico y una apropiada retención de ligante suelen ostentar una larga vida de servicio (Voskuilen y van de Ven, 2009). Para su fabricación se puede disponer de asfaltos convencionales o polimerizados, aunque en Argentina se han utilizado preferentemente estos últimos. Los áridos de uso son exclusivamente de trituración, con mayor proporción relativa de agregados gruesos, marcándose la discontinuidad granulométrica entre dos tamices sucesivos, generalmente los de abertura 4,8 mm y 2,4 mm (Nº4 y Nº8, respectivamente).

La resistencia mecánica de las capas construidas con esta tecnología se debe principalmente a sus características friccionales, pues los áridos gruesos, al estar trabados entre sí (“*interlocking*”), transfieren las cargas al sustrato de apoyo. Otras propiedades relevantes de estas mezclas están relacionadas con la seguridad y el confort vial y con su longevidad: los pavimentos SMA son resistentes al deslizamiento gracias a la gran adherencia neumático-calzada, especialmente en días de lluvia, reduciendo además las salpicaduras (“*spray*”); son moderadamente fonoabsorbentes, es decir, atenúan la generación de ruido vehicular; son resistentes a los ahuellamientos y al envejecimiento y tienen buen comportamiento a fatiga (Nosetti y Bianchetto, 2005), en especial si son diseñados con asfaltos modificados con polímeros (Emery, 2006), lo que deriva en una vida útil más prolongada respecto de los pavimentos asfálticos tradicionales y menores trabajos de mantenimiento durante su tiempo en servicio. De lo antedicho surgen otros beneficios evidentes, relativos al cuidado medioambiental debido a la optimización de recursos naturales y a un balance monetario positivo a largo plazo que conlleva a un menor costo final. Las administraciones viales debieran tener muy en cuenta, a la hora de tomar decisiones político-técnicas, todas estas argumentaciones.

Las numerosas ventajas mencionadas permiten catalogar a las SMA como “mezclas de alta prestación”. De hecho, en la definición de los llamados “pavimentos perpetuos” es habitual considerarlas en sus capas superiores (Bolzán y Fitts, 2001). Sin embargo, y a la luz de algunos

desarrollos tecnológicos recientes, es posible mejorar aún más el desempeño de estos aglomerados bituminosos; precisamente, este trabajo propone la consideración de una tipología “mixta” que conjugue las bondades de las SMA con los beneficios que pueden derivar del empleo de asfaltos “multigrado” y de aditivos que permiten disminuir las temperaturas de elaboración y puesta en obra de las mezclas asfálticas.

La principal característica de un asfalto multigrado es su menor susceptibilidad térmica en comparación con un ligante normal de igual consistencia a temperatura ambiente; es decir, es más duro a altas temperaturas y más blando a bajas temperaturas. Consecuentemente, tiene el potencial de mejorar las propiedades de los pavimentos asfálticos a ambos extremos de la escala térmica (Robertus, 2000) tomando como amplitud, por ejemplo, el rango de valores del nomograma de Heukelom. Un cemento asfáltico Multigrado o “de alto índice (de penetración o de Pfeiffer)” es un ligante bituminoso modificado sin polímeros, que conserva sus propiedades deseables en una extensa franja de temperaturas por ostentar propiedades reológicas mejoradas. En su elaboración se emplean aditivos y catalizadores que posibilitan someter a la base asfáltica a reacciones químicas controladas.

Con el fin de paliar las implicancias ambientales y de seguridad laboral durante la elaboración de las mezclas asfálticas en caliente, en los últimos años se desarrollaron tecnologías tendientes a disminuir las temperaturas de trabajo, dando lugar a las denominadas “mezclas tibias” o, quizás más apropiadamente, “semicalientes”, que permiten reducciones entre 20 °C y 50°C respecto de las mezclas fabricadas con asfaltos convencionales. Las metodologías más eficaces para producir concretos asfálticos de adecuada calidad han sido emplear aditivos que cambian la viscosidad del asfalto (distintos tipos de ceras) o bien agentes orgánicos tensoactivos que actúan como hiperplastificantes sin modificar significativamente las características físico-reológicas del ligante (Marcozzi et al., 2010). Otra variante son las “mezclas templadas”, elaboradas con temperaturas significativamente menores que las mezclas en caliente; en esta tipología se aprovecha la humedad de los áridos para el mezclado en planta, modificando la reología de tal manera que se pueden extender hasta temperaturas inferiores a 100 °C (M. Pérez y H. Pérez, 2009) conservándose, a juzgar por algunas experiencias recientes, razonablemente las propiedades mecánicas deseables de las mezclas en caliente. Es importante tener presente que, para que las mezclas tibias sean definitivamente aceptadas, su comportamiento deberá ser al menos similar que el de las mezclas en caliente (Silva et al., 2009); este hecho ha significado que, en la mayoría de las experiencias reportadas hasta la actualidad, las reducciones de temperatura tuviesen que ser limitadas a 35 °C como máximo, tal el caso divulgado en el marco del Proyecto Fénix (Reyes Ortiz et al., 2009) y de una prueba de puesta en obra presentada por investigadores españoles en el último CILA de Río de Janeiro (Barceló et al., 2011)

Este trabajo, desarrollado en el marco de un Proyecto de Investigación y Desarrollo de la Universidad Tecnológica Nacional de la República Argentina, tiene por objeto diseñar una “SMA tibia multigrado” de forma tal de potenciar los beneficios de esta mezcla usufructuando los recientes avances tecnológicos en asfaltos y aditivos; a modo de complemento, se elaboró una mezcla SMA multigrado con fibras aditivadas con mejorador de adherencia, para analizar las eventuales mejoras en la resistencia al *stripping* del ligante, puesto que en buena parte de la geografía argentina sólo se dispone de áridos gruesos graníticos y se adolece de problemas de adhesividad entre el ligante y los agregados. Se presentan las dosificaciones y los ensayos de laboratorio efectuados hasta el presente y algunos corolarios parciales que permiten determinar algunas de las propiedades más significativas de las mezclas evaluadas, no sólo abarcando

aspectos técnicos desde el enfoque de la ingeniería vial sino además otorgando debida importancia a las cuestiones medioambientales, de seguridad y económicas que debieran también regir a la actividad caminera.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Consideraciones iniciales. Materiales empleados

Se consideró para el presente estudio la formulación de una mezcla SMA “básica”, con proporciones fijas de áridos, ligante y fibras, variándose solamente el tipo de ligante y la incorporación o no de agentes modificadores en las fibras (cera Fischer Tropsch para reducir las temperaturas operativas o aminas ácidas para mejorar la adherencia árido-ligante), a fin de cumplir con los objetivos comparativos propuestos. La mezcla básica está compuesta por áridos de trituración gruesos “6-12” y finos “0-3”, cal hidráulica, polvo calizo, asfalto y fibras de celulosa en *pellets*; en las Tablas 1 y 2 se presentan algunas de sus características, destacándose que todos los materiales cumplen con las Especificaciones Técnicas para Stone Mastic Asphalt SMA de bajo espesor de la Comisión Permanente del Asfalto de Argentina (CPA, modificación 2008).

Tabla 1: Algunas características de los materiales utilizados

Agregado grueso granítico de trituración 6-12			Pliego CPA
Peso Específico Aparente	[g/cm ³]	2,684	
Índice de Lajas	[%]	18,7	≤ 25
Desgaste Los Ángeles	[%]	19,5	≤ 25
Polvo Adherido	[ml]	0,6	≤ 1,0
Agregado fino granítico de trituración 0-3			Pliego CPA
Peso Específico Aparente	[g/cm ³]	2,707	
Equivalente Arena	[%]	82	> 50
Concentración Crítica (pasante tamiz N°200)		0,38	
Fílleres de aportación	Cal	Calizo	Pliego CPA
Peso Específico Aparente [g/cm ³]	2,505	2,740	
Concentración Crítica	0,18	0,36	
Pasante tamiz N°100 (% en peso)	94	92	> 90
Pasante tamiz N°200 (% en peso)	89	83	> 75
Fíller compuesto (áridos, cal, calizo)			
Concentración Crítica	0,35		
Densidad Aparente en Tolueno	0,55 gr/cm ³		0,5 - 0,8
Asfaltos	CA-30	Multigrado	
Penetración [1/10 mm]	57	43	
Punto de Ablandamiento (°C)	53	69	
Fibras	- 100% de celulosa		
	- 60% de celulosa y 40% de cera Fischer Tropsch		
	- 83% celulosa, 10% de CA 50-70, 7% de aminas (mejorador de adherencia)		

Tabla 2: Granulometría del árido grueso (Pasa acumulado %)

Tamiz	1/2"	3/8"	1/4"	#4	#8	#30	#50	#100	#200
-------	------	------	------	----	----	-----	-----	------	------

Abertura	12,5 mm	9,5 mm	6,3 mm	4,8 mm	2,4 mm	590 μ m	297 μ m	149 μ m	74 μ m
Ágregado 6-12	100	94	38	10	1				
Agregado 0-3				100	98	54	38	17	11
Polvo calizo				100	100	100	100	92	83
Cal hidráulica				100	100	100	100	94	89

Dosificación

Para la dosificación de estas mezclas también se respetaron las prescripciones de la CPA, concretamente las correspondientes a mezclas SMA de tamaño máximo 10 mm; la única desviación introducida fue el porcentaje de fibras de celulosa adoptado, que es de 0,3 % (proporción sugerida por el proveedor), en tanto que la especificación indica $\geq 0,35\%$. La composición de áridos puede verse en la Tabla 3. La curva granulométrica resultante se encuadra dentro del huso especificado con la salvedad del tamiz N°8 (2,4 mm de abertura) en el cual, de todos modos, sólo se supera en 1% el pasante máximo permitido (Figura 1 y Tabla 4).

Tabla 3: Dosificación de áridos

Material	6-12	0-3	Cal	Polvo calizo	Fibras
Dosificación (% en peso)	70,8	19,9	1	8	0,3*

* Se tiene en cuenta sólo el aporte de fibras de celulosa. Para cumplir con este porcentaje se debió utilizar 0,5% de fibras aditivadas con cera y 0,35% de fibras aditivadas con amina (Tabla 1)

Figura 1: Granulometría de la mezcla “básica”

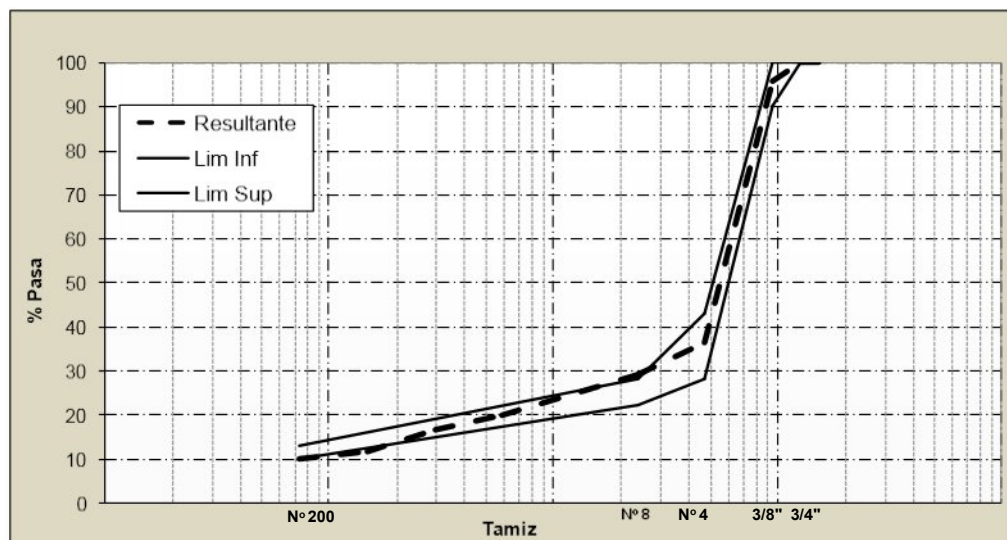


Tabla 4: Composición granulométrica resultante

Tamiz Abertura	Composición granulométrica (Pasa acumulado %)				
	1/2\"	3/8\"	#4	#8	#200
	12,5 mm	9,5 mm	4,8 mm	2,4 mm	74 μ m
Pliego CPA SMA10	100	90-100	28-43	22-28	10-13
SMA formulada	100	96	36	29	10

La dosificación de la mezcla básica determinó un óptimo de 6,5% de asfalto, porcentual apropiado para este tipo de aglomerado. En estas condiciones, la relación de concentración de filler es $C_v/C_s = 1.0$, valor máximo admisible para mezclas con asfaltos convencionales.

Las mezclas se elaboraron y compactaron a diferentes temperaturas, de acuerdo al tipo de ligante y de fibras empleados (Tabla 5). Las probetas Marshall se moldearon a 50 golpes por cara.

Tabla 5: Temperaturas de mezclado y compactación de las mezclas en estudio

Asfalto	Fibras	Temperaturas (°C)		Observaciones
		Mezclado	Compactación	
CA - 30	Celulosa	160	155	
Multigrado	Celulosa	162	156	
Multigrado	Celulosa+cera	142	135	Mezcla “tibia”
Multigrado	Celulosa+aminas	162	155	Con mejorador de adherencia

Como puede verse, en la mezcla SMA multigrado “tibia” las temperaturas de mezclado y de compactación son 20°C menores que en las SMA multigrado “calientes”. La decisión de adoptar tales temperaturas obedeció a observaciones efectuadas durante una serie de pruebas preliminares de laboratorio.

Resultados obtenidos

Sobre las mezclas elaboradas se realizaron los siguientes ensayos volumétricos y mecánicos:

- Densidades aparentes y porcentaje de vacíos (probetas Marshall)
- Índices de Compactabilidad (IC; probetas Marshall)
- Esgurrimiento (test de Schellemborg; Anexo III de la Especificación de la CPA)
- Módulos dinámicos a distintas temperaturas, para evaluar los efectos del asfalto multigrado
- Resistencias en el ensayo de Inmersión-Compresión (NLT- 162) para evaluar la eficiencia del aditivo mejorador de adherencia (susceptibilidad a la acción del agua)

Los resultados de parámetros volumétricos (densidades, vacíos, escurrimento) y de los IC se compendian en la Tabla 6. Los parámetros mecánicos (módulos de rigidez dinámicos a tensión diametral de probetas Marshall, resistencia a compresión de probetas cilíndricas en seco y tras inmersión) se muestran en la Figuras 2 y la Tabla 7.

También se comprobaron los Índices de Envejecimiento a corto plazo del ligante multigrado en las mezclas SMA “caliente” con fibras comunes y “tibia” con fibras aditivadas con ceras sintéticas, con el fin de valorar los efectos del agente reductor de temperaturas de mezclado y compactación (Tabla 8). Se cotejaron las viscosidades rotacionales Brookfield a 150°C del asfalto multigrado original y de los ligantes recuperados de las mezclas SMA mencionadas una vez que éstas fueron sometidas a un “envejecimiento a corto plazo” en laboratorio.

Tabla 6: Resumen de algunos resultados obtenidos

Ensayo	Tipo de Mezcla SMA (Asfalto/Fibras)				Pliego CPA
	CA-30/ Celulosa	Multigrado/ Celulosa	Multigrado/ Celulosa+cera	Multigrado/Ce lulosa+amina	

Densidad aparente [g/cm ³]	2,366	2,371	2,368	2,372	
Vacios totales [%]	2,9	2,7	2,8	2,7	2 - 4
Vacios de agregado mineral [%]	18,2	18,3	18,1	18,2	> 18
Vacios ocupados por betún [%]	84,0	84,9	84,8	85,3	75 - 85
Escurrimiento [%]	0,24	0,24	0,22	0,16	< 0,3
Indice de Compactabilidad	7,8	8,4	8,6	8,7	

Figura 2: Módulos de Rigidez Dinámicos vs. Temperatura ($f=5$ Hz)

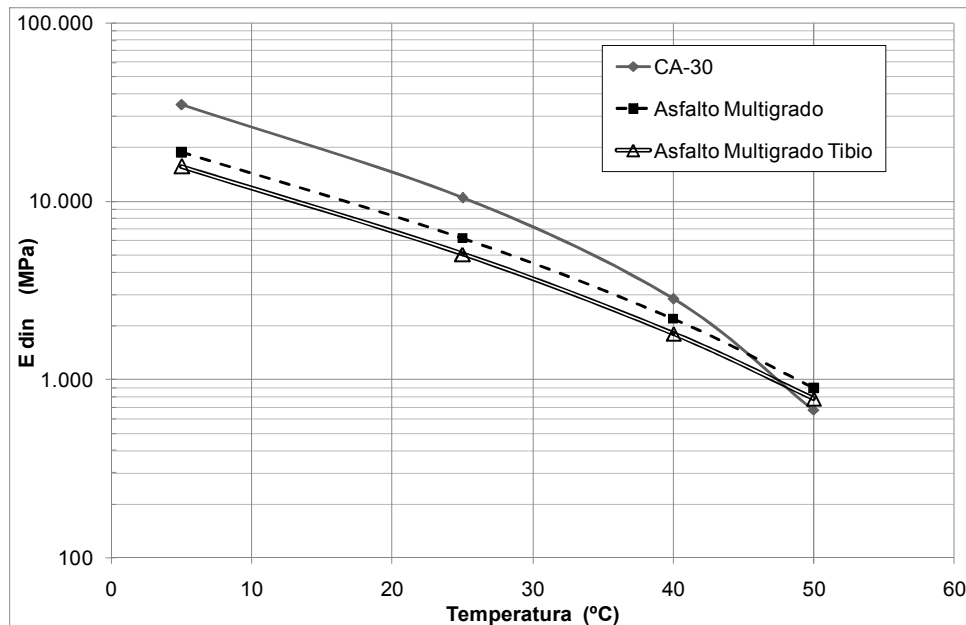


Tabla 7: Resistencia Inmersión-Compresión

Resistencia Inmersión-Compresión	Mezcla SMA multigrado	
	"Tibia"	con mej. de adherencia
Resistencia compresión en seco (MPa)	4,04	4,12
Resistencia compresión tras inmersión (MPa)	3,38	3,76
Resistencia Conservada (%)	84	91

Tabla 8: Índices de Envejecimiento a corto plazo de mezclas SMA multigrado "caliente" y "tibia"

Ligante	Viscosidad 150°C (Poise)	Índice de Envejecim.
Ligante multigrado virgen	4,04	- -
Ligante recuperado, SMA multigrado "caliente"	7,38	1,8
Ligante recuperado, SMA multigrado "tibia"	6,05	1,5

Evaluación de resultados

Densidades y vacíos

Las densidades aparentes de las mezclas son similares (Tabla 6), situación esperable por estar constituidas por los mismos áridos, idénticas granulometrías e iguales porcentajes de ligante; y, aún cuando se emplearon dos tipos de asfalto y fibras de celulosa con diferentes aditivos, las temperaturas de fabricación respetaron las consistencias recomendables para las SMA "calientes" y se ajustaron a pruebas preliminares en la SMA tibia. Un razonamiento análogo puede efectuarse al comparar los vacíos, con porcentajes similares en todas las mezclas: los totales, que tienden a "centrarse" respecto de la prescripción técnica de la CPA, los del agregado mineral (VAM) y los ocupados por betún (VOB), aunque estos últimos dos parámetros apenas encuadran dentro de los límites especificados debido fundamentalmente al generoso contenido de ligante dosificado.

Escurreamiento

Los resultados, en todos los casos aceptables, han sido similares para las dos mezclas con fibras sin aditivos y para la SMA multigrado “tibia”, pero se experimentó una visible mejora cuando se usaron fibras con promotor de adherencia (Tabla 6), circunstancia atribuible precisamente a una mejor afinidad superficial entre el asfalto y los agregados. Para este ensayo, cada mezcla fue sometida durante 1 hora a su correspondiente temperatura de mezclado, siguiendo los lineamientos del Anexo III del Pliego de la CPA.

Trabajabilidad de las mezclas

La trabajabilidad de una mezcla bituminosa se asocia con su facilidad de mezclado, extendido y compactación. En laboratorio es posible valorar la primera y la última de estas operaciones: el mezclado manual es evaluable sólo cualitativamente, pero con equipamiento mecánico puede medirse el torque necesario para mantener una velocidad giratoria de paletas dentro de una mezcla suelta a una temperatura dada (Gudimettla et al., 2003); en tanto que la compactabilidad es cuantificable con ensayos específicos que relacionan energía de compactación y densificación.

El principal objetivo de esta parte del estudio se orienta a comparar la trabajabilidad de la SMA multigrado “tibia” en relación con las mezclas multigrado “calientes”, teniendo en cuenta que las temperaturas de fabricación de aquella han sido inferiores en 20°C. Los Índices de Compactabilidad Marshall, obtenidos variando las energías de compactación (50 y 5 golpes por cara; Tabla 6), ofrecieron valores convenientemente elevados para todas las mezclas (suele exigirse $IC > 6$ para concretos asfálticos), con variaciones exiguas entre la “tibia” y las calientes.

Módulos de rigidez dinámicos de las mezclas

Un asfalto multigrado posee una menor susceptibilidad térmica que uno convencional. En el caso estudiado, este efecto se advierte en la gráfica Módulo Dinámico vs. Temperatura a una frecuencia de 5Hz (Figura 2), pues los gradientes en las curvas de las mezclas con ligante multigrado son menos pronunciados que en la curva de la SMA convencional, verificándose el objetivo de lograr menor rigidez a bajas temperaturas y mayor rigidez a temperaturas elevadas.

Una investigación neozelandesa aporta información sobre las propiedades de ligantes similares a los utilizados en este trabajo y ayuda a interpretar los resultados; los valores, compendiados en la Tabla 9, permiten ponderar el mejor comportamiento reológico de un asfalto multigrado respecto de uno convencional (CA 40/50) comparando parámetros de consistencia y módulo complejo a distintas temperaturas (Harrington et al., 2011). Reviste particular interés el análisis de los G^* , en especial la relación entre los valores a 5°C y a 55°C, donde se ve que el gradiente modular del asfalto multigrado es mucho menor que el del convencional, condición que guarda correlación con el comportamiento de los módulos dinámicos de las mezclas SMA de este estudio.

Tabla 9: Parámetros reológicos de asfaltos multigrado y convencional (Harrington et al., 2011)

	Penetración [dmm]		Viscosidad [Poise]		G* (9.042 Hz) [Pa]		G* _{5°C} /G* _{55°C}
	a 5°C	a 25°C	a 60°C	a 135°C	a 5°C	a 55°C	
CA 40/50	5	45	5280	6,8	77,5E6	46,7E3	1660
Multigrado	7	39	17840	16,3	61,1E6	73,3E3	834

Resistencia Inmersión-Compresión

Como usualmente sucede con las mezclas asfálticas de la región metropolitana de Argentina, fabricadas con áridos graníticos, el empleo de un agente promotor de adherencia mejora la resistencia a la desenvuelta de la película de ligante por presencia de agua. El efecto se manifiesta, en el caso expuesto, al comparar las resistencias conservadas en el ensayo de Inmersión-Compresión: la SMA con fibras aditivadas con aminos es menos susceptible a la acción del agua que la mezcla “tibia” elaborada con fibras sin mejorador de adherencia.

Envejecimiento

Las SMA, ricas en ligante y en filler, tienen Índices de Envejecimiento (IE) menores que las mezclas densas convencionales. Puede ejemplificarse lo mencionado comparando los resultados de la Tabla 8 con experiencias de campo (Bianchetto y Asurmendi, 2007) realizadas sobre concretos asfálticos elaborados con CA-30 a una temperatura inferior a la óptima pero considerada como “la mínima admisible” para asegurar la correcta ejecución de los procesos constructivos (135°C); los IE a corto plazo, para las mezclas con cal ($C_v/C_s=1$) y sin cal, fueron 1,9 y 2,3 respectivamente, es decir mayores que los constatados en las mezclas SMA multigrado. En la casuística aquí presentada, se observa además la incidencia positiva de fabricar las mezclas multigrado “tibias” a 20°C menos que las mezclas multigrado “calientes”, hecho que significó una reducción adicional apreciable del IE, permitiendo catalogar a la mezcla SMA multigrado tibia como “altamente resistente al envejecimiento”.

CONCLUSIONES

Las mezclas Stone Mastic Asphalt (SMA) poseen, como características distintivas de funcionalidad, una considerable macrotextura superficial y elevadas resistencias a las sollicitaciones y al envejecimiento, parámetros responsables de sus cualidades más significativas: seguridad, confort, vida útil prolongada. Por tales motivos son catalogadas como “de alta prestación”.

Considerando, sin embargo, que aún es posible potenciar sus propiedades y, por ende, optimizar las condiciones de servicio de los pavimentos con ellas construidas, se presenta el diseño de una SMA con asfalto de alto índice o “multigrado” y con aditivos en las fibras para disminuir sus temperaturas de ejecución. A esta tipología se la denominó “SMA tibia multigrado”.

Las experiencias presentadas en este trabajo revelan la factibilidad de formular estas mezclas. La utilización de un ligante multigrado en lugar de uno convencional les confiere un mejor comportamiento en regiones con climas extremos debido a su menor susceptibilidad térmica; en tanto que la incorporación de agentes reductores de las temperaturas les otorga mayor economía y sustentabilidad en la fabricación y puesta en obra, versatilidad operativa en cuanto a su aplicación con menores registros térmicos y una resistencia al envejecimiento todavía mayor.

Complementariamente, el empleo de aditivos mejoradores de adherencia en las fibras significó un aporte adicional ante la existencia de problemas de afinidad superficial entre los áridos y el asfalto, como se demostró en ensayos específicos de resistencia conservada.

REFERENCIAS

- Barceló, F., Páez, A., Bardesi, A. (2011). Tecnología de tensoactivos empleados en mezclas asfálticas semicalientes. *16º CILA. Rio de Janeiro, Brasil.*
- Bianchetto, H. y Asurmendi, A. (2007). Influencia de la temperatura de elaboración y del contenido de cal en la resistencia al envejecimiento de mezclas densas convencionales: un caso real. *14º CILA, La Habana, Cuba.*
- Bolzán, P. (2010). Mezclas fibroasfálticas de múltiple función. *XXXVI Reunión del Asfalto "Bicentenario de Los Andes", Buenos Aires, Argentina.*
- Bolzán, P. y Fitts, G. (2001). Pavimentos perpetuos: conceptos y aplicaciones. *XIII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, Buenos Aires, Argentina.*
- Comisión Permanente del Asfalto de Argentina, CPA (2005, modificado en 2008). *Especificaciones Técnicas Generales para Concreto Asfáltico Stone Mastic Asphalt SMA de bajo espesor para Carpetas de Rodamientos*
- Emery, J. (2006). Evaluation and mitigation of asphalt pavement top-down cracking. *Assessment and Rehabilitation of the Condition of Materials Session-2006 Annual Conference*, Transportation Association of Canada. <http://www.tac-atc.ca/english/resourcecentre/readingroom/conference/conf2006/docs/s010/emery.pdf>
- Gudimettla, J., Allen Cooley Jr, L., Ray Brown E. (2003). Workability of hot mix asphalt. *NCAT Report 03-03.*
- Marcozzi, R., Morea, F., Castaño, G. (2010). Evaluación del comportamiento de mezclas asfálticas tibias elaboradas con aditivos. *XXXVI Reunión del Asfalto "Bicentenario de Los Andes", Buenos Aires, Argentina.*
- Miranda Pérez, L., Hidalgo Pérez, M.E. (2009). Mezclas bituminosas fabricadas a baja temperatura. Experiencia española. *15º CILA. Lisboa, Portugal.*
- Nosetti, R.A. y Bianchetto, H. (2005). Estudios comparativos de Microaglomerados Discontinuos y Stone Mastic Asphalt (SMA): 1ª parte: Resistencia al ahuellamiento; 2ª parte: Estudios dinámicos. *13º CILA, San José, Costa Rica.*
- Reyes-Ortiz, O., Pérez-Jiménez, F., Miro Recacens, R., Amoros, J., Gil Redondo, S. (2009). El proyecto FENIX en la UPC. Mezclas semicalientes. *15º CILA. Lisboa, Portugal.*
- Robertus, C. (2000). Multiphalte: el asfalto económicamente eficaz para combatir el ahuellamiento. *XXXIª Reunión del Asfalto Córdoba, Argentina.*
- Silva, H., Oliveira, J., Ferreira, G. (2009). Avaliação do desempenho de misturas betuminosas temperadas. *15º CILA. Lisboa, Portugal.*
- Voskuilen, J. y van de Ven, M. (2009). Rutting resistance of SMA determined with triaxial and wheel-tracking tests. *Advanced Testing and Characterization of Bituminous Materials*, p. 1029-1038, Taylor & Francis Group, London.