

Study of warm mix asphalt with super stabilized emulsion

Estudio de mezclas asfálticas templadas con emulsión super-estabilizada

C. López ^{1*}, G. Thenoux *, G. Sandoval *, V. Armijos **, A. Ramírez **, F. Guisado ***, E. Moreno ***

* Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago. CHILE

** Sacyr Chile S.A / Sacyr Construcción, Santiago. CHILE

*** Repsol, Centro Tecnológico Repsol (CTR), Madrid. ESPAÑA

Fecha de Recepción: 02/08/2016

Fecha de Aceptación: 12/12/2016

PAG 57-64

Abstract

Reducing the temperatures in the production of asphalt mixes is currently one of the most important challenges in the field of road engineering. This paper studies one of the latest technologies applied in the manufacture of warm mix asphalt, called super stabilized emulsion. The application of mixing and compacting procedures for hot mix asphalt to this type of warm mixes, was studied. Additionally, physical and mechanical properties of the mixes with super stabilized emulsion were compared with hot mix asphalt. It was concluded that the most appropriate manufacturing method for these warm mixes includes the use of a gyratory compactor. The properties of warm mixes were different than those of hot mixes, however, they were within adequate ranges.

Keywords: Hot mix asphalt (HMA), warm mix asphalt (WMA), decreasing the energy consumption, reclaimed asphalt pavement (RAP), compacting mixes

Resumen

La reducción de las temperaturas de producción de las mezclas asfálticas, presenta en la actualidad uno de los desafíos más importantes en la ingeniería de caminos. El presente artículo estudia una de las últimas tecnologías para la fabricación de mezclas asfálticas templadas/warm mix asphalt, denominada emulsión super-estabilizada. Se estudió la aplicabilidad de los procedimientos de mezclado y compactación de mezclas asfálticas en caliente a este tipo de mezclas templadas. También se compararon propiedades físicas y mecánicas de las mezclas con emulsión super-estabilizada versus mezclas asfálticas en caliente. Se determinó que el método de fabricación más apropiado para estas mezclas templadas es aquel que considera el uso del compactador giratorio. Las propiedades de las mezclas templadas fueron diferentes a las de las mezclas en caliente, sin embargo se encuentran dentro de rangos adecuados.

Palabras clave: Mezcla asfáltica en caliente (MAC), mezclas asfálticas templadas (MAT), reducción de consumo energético, material reciclado (RAP), compactación de mezclas

1. Introducción

La producción de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) es un proceso de alto consumo energético con temperaturas de fabricación de 150-180°C. Se estima que se consumen un total de 697,7 MJ para la producción de un metro cúbico de mezcla MAC (Thenoux et al., 2007). Luego de la firma del tratado de Kioto en Diciembre de 1997 y su entrada en rigor en Febrero de 2005, las exigencias de reducir las emisiones de los procesos de producción de alto consumo energético ha presentado un desafío de ingeniería mayor, en donde la industria asociada a los procesos de construcción y mantenimiento de caminos de asfalto se ha planteado varios desafíos específicos. Entre los desafíos se encuentra aquel de utilizar técnicas de producción de mezclas asfálticas que empleen menores temperaturas: Mezclas Asfálticas Templadas (MAT) o Warm Mix Asphalt (WMA). No obstante lo anterior, la industria del asfalto no solo busca reducir el impacto al medio ambiente a través de la reducción del consumo energético si no que, además a través del uso de Material Reciclado (RAP) y la construcción de pavimentos de mejor desempeño y mayor durabilidad. Entre otros desafíos específicos están:

- Optimización métodos de diseño estructural.
- Mejoramiento de metodologías y técnicas de construcción.
- Mejoramiento de la calidad de los sistemas de producción.
- Mejoramiento de las técnicas y sistemas de gestión de mantenimiento de pavimentos.
- Mejoramiento de especificaciones de materiales (Ej. Superpave).

A partir del año 2000 se ha experimentado un importante desarrollo de técnicas encaminadas a la reducción de temperaturas de fabricación y colocación de las mezclas asfálticas. La Figura 1, muestra la clasificación de las mezclas asfálticas en función de la temperatura de mezclado en donde se clasifican las mezclas como: Mezclas Asfálticas en Frío, Mezclas Asfálticas Semi-Templadas, Mezclas Asfálticas Templadas y Mezclas Asfálticas en Caliente. De las mezclas mencionadas anteriormente, solo las Mezclas Asfálticas Templadas han demostrado que pueden lograr desempeños equivalentes a las Mezclas Asfálticas en Caliente (Soto y Raz, 2007; Miranda et al., 2013), lo que no significa necesariamente que otro tipo de mezclas sean inviables para la construcción de buenos pavimentos asfálticos.

¹ Autor de correspondencia:

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción. Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile
E-mail: calopez8@uc.cl



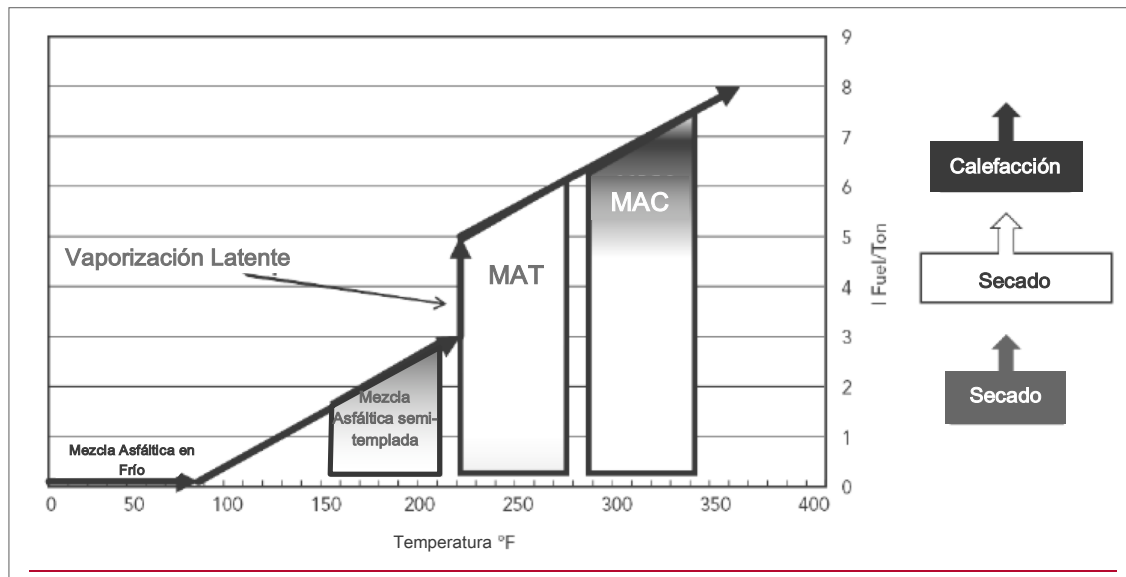


Figura 1. Clasificación de las mezclas asfálticas por su temperatura de fabricación (Porot, 2008)

Se considera una Mezcla Asfáltica Templada (MAT) cuando las temperaturas de mezclado se reducen entre 10°C a 75°C respecto a las temperaturas empleadas en mezclas Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) (Mallick y El-Korchi, 2013). Estas mezclas asfálticas se pueden lograr a través del empleo de aditivos o modificaciones en el proceso de mezclado permitiendo una mezcla homogénea sin necesidad de alcanzar rangos de temperatura de 160°C – 180°C. El uso de mezclas MAT, se hace cada vez más frecuente y son principalmente los países desarrollados los que van a la vanguardia en el tema (NAPA, 2014; EAPA, 2013).

El uso de mezclas MAT trae una serie de ventajas en comparación con la producción de mezclas MAC, siendo las principales (D'Angelo et al., 2008):

- Reducción de emisiones.
- Reducción del gasto energético.
- Posibilidad de transportar mezcla por mayores distancias.
- Posibilidad de introducir mayores contenidos de RAP.
- Reducción en la exposición de los trabajadores a vapores generados en el proceso de fabricación de mezclas MAC.

En los últimos años se han desarrollado diferentes técnicas para fabricación de mezclas MAT que incluyen desde modificaciones a las plantas de mezclado para espumar asfalto o agregar diversos tipos de aditivos (Capitao et al., 2012; Rubio et al., 2012; Jair y Fitts, 2014). A este grupo de técnicas se le ha agregado una más en los últimos años la cual utiliza “Emulsión Super-Estabilizada”, emulsiones asfálticas capaces de ser estables al transporte y al almacenamiento durante largos periodos de tiempo. Este tipo de emulsiones se producen con una formulación especial otorgándole mayor estabilidad lo cual en definitiva permite producir mezclas asfálticas a temperatura promedio entre de 100 a 105 °C. La patente de esta emulsión pertenece a la empresa Repsol de España.

La fabricación de mezclas asfálticas templadas con esta emulsión se lleva a cabo precalentando los áridos a una temperatura de entre 115°C y 120°C, mientras la emulsión se mantiene entre los 60°C y 80°C (nunca más de 80°C), paso seguido se mezclan áridos y emulsión obteniendo una temperatura final de mezcla entre los 100°C y 105°C reduciendo la temperatura final de mezclado entre 50°C y 60°C. A diferencia de las mezclas en caliente, los mecanismos que controlan el mezclado, colocación y compactación a este tipo de mezclas no se basan en la viscosidad del asfalto (Bluffs, 2011) si no en que en la estabilidad de la emulsión.

Se considera que este tipo de mezclas MAT pueden utilizarse de la misma forma que una mezcla MAC. Es decir, tanto en capa de rodadura como en capas estructurales intermedias. El proyecto plantea realizar una comparación de las propiedades de ambos tipos de mezclas a nivel de laboratorio. Debido a que los principios que controlan el diseño de mezclas MAT preparadas con emulsión super-estabilizada difieren del diseño de una mezcla MAC el proyecto de investigación debió realizar un estudio del proceso de mezclado y compactación de mezclas tipo MAT. Fue necesario incluir este último estudio para poder producir mezclas MAT y MAC con propiedades volumétricas equivalentes y de este modo interpretar y validar mejor los resultados de ensayos comparativos.

2. Objetivos del estudio

El principal objetivo del proyecto es estudiar el procedimiento de mezclado y compactación de mezclas MAT producidas con emulsiones super-estabilizadas y evaluar sus propiedades mecánicas respecto de una mezcla MAC. Para el estudio del procedimiento de mezclado y compactación se utilizó el procedimiento Marshall. Para la evaluación y comparación de propiedades de la mezcla se consideró: propiedades volumétricas (densidad y porcentaje de vacíos), Módulo e ITS.

3. Materiales y métodos

Los materiales utilizados durante la presente investigación, corresponden a áridos, provenientes de un depósito de lecho fluvial cercano a la planta de producción de áridos de la concesión "La Serena-Vallenar" ubicada en el Km 559.300 de la Ruta 5 Norte, Región de Coquimbo, Chile. Los ligantes asfálticos correspondieron a la emulsión super-estabilizada (para la fabricación de las mezclas templadas) y cemento asfáltico para la fabricación de las mezclas en caliente. El cemento asfáltico utilizado en la fabricación de

las mezclas en caliente corresponde al asfalto base con el que se fabricó la emulsión super-estabilizada.

Para la granulometría de la mezcla, se seleccionó la IV-A-12 del manual de carreteras, en las Tablas 1 y 2 se presentan la granulometría de la mezcla de áridos y sus propiedades físicas respectivamente. El cemento asfáltico utilizado en las mezclas asfálticas en caliente y para la fabricación de la emulsión, corresponde a un CA 24 según la normativa Chilena. En la Tabla 3, se presentan las propiedades del cemento asfáltico, mientras en la Tabla 4 se presentan las propiedades de la emulsión super-estabilizada.

Tabla 1. Granulometría de la mezcla asfáltica

Tamiz ASTM	Tamiz (mm)	Formula de Trabajo	Especificación IV-A-12	
		Pasante	Mínimo	Máximo
3/4"	20.00	100.0%	100.0%	100.0%
1/2"	12.50	90.0%	80.0%	95.0%
3/8"	10.00	80.5%	70.0%	85.0%
N° 4	5.00	52.8%	43.0%	58.0%
N° 8	2.50	38.5%	28.0%	42.0%
N° 30	0.63	19.7%	13.0%	24.0%
N° 50	0.32	12.6%	8.0%	17.0%
N° 100	0.16	8.2%	6.0%	12.0%
N° 200	0.08	4.9%	4.0%	8.0%

Tabla 2. Propiedades físicas de los áridos

N°	Parámetro	Valor	Especificación	Método
1	Densidad Real Seca	2,689 kg/m ³	n/a	M.C. 8.202.20-21
2	Chancado de agregados	96.5%	Min. 90%	M.C. 8.202.7
3	Índice de Lajas	10%	Max. 10%	M.C. 8.202.8
4	Equivalente de arena	60%	Min. 50%	ASTM D2419
5	Desintegración por sulfatos	10%	6 a 16%	ASTM C88
6	Adherencia AASHTO	95%	Min. 95	M.C. 8.302.31
7	Adherencia Riedel-Weber	2 – 8	Min. 0 – 5	M.C. 8.302.30
8	Desgaste "Los Ángeles"	12%	Max. 25%	M.C. 8.202.11
9	Índice de Plasticidad	NP	NP	ASTM D4318

Tabla 3. Propiedades del cemento asfáltico

N°	Propiedad	Unidad	Valor	Norma
A	Antes del Ensayo de Película Delgada Rotatoria			
1	Viscosidad Absoluta a 60°C, 300 mm Hg	Poises	4,339	ASTM D2171
2	Penetración, 25°C, 100g, 5 s	0,1mm	50	UNE-EN 1426
3	Ductilidad, 25°C, 5 cm/min	cm	>100	UNE-EN 13589
4	Ensayo de la Mancha	% Xilol	25	NCh2343-1999
5	Solubilidad en Tricloroetileno	%	99,1	ASTM D2042
6	Punto de Inflamación	°C	>240	EN ISO 2592
7	Punto de Ablandamiento	°C	51,8	UNE-EN 1427
8	Índice de Penetración		-0,77	MC 8.302.18
B	Tras Ensayo de Película Delgada Rotatoria			
				MC 8.302.33
1	Pérdida por Calentamiento	%	-0,39	UNE EN 12607-1
2	Viscosidad Absoluta a 60°C, 300 mm Hg	Poises	16,975	ASTM D2171
3	Ensayo de la Mancha	% Xilol	25	NCh2343-1999



Tabla 4. Propiedades de la Emulsión Super-Estabilizada

Nº	Propiedad	Unidad	Valor	Norma
1	Viscosidad Saybolt Furol a 25°C	SFs	128	ASTM D 7496-11
2	Viscosidad Saybolt Furol a 50°C	SFs	70	ASTM D 7496-11
3	Contenido de Residuo Asfáltico tras Destilación	%	68,95	UNE EN 1428
4	Contenido de Fluidificante tras Destilación	%	0	UNE EN 1431
5	Residuo de Tamizado por 0,5 mm	%	0,05	UNE EN 1429
6	Índice de Rotura	-	75	UNE EN 13075-1
7	Tiempo de Fluencia por 4 mm a 40°C	s	10	UNE EN 12846
8	Tendencia a la Sedimentación (7 Días)	%	0,05	UNE EN 12847

Para la fabricación de las probetas, tanto de mezclas templadas como de mezclas calientes, se estableció el siguiente protocolo:

1. Acondicionamiento de materiales.
2. Mezclado manual.
3. Compactación.

En la etapa de acondicionamiento de materiales, se presentan las principales diferencias entre las mezclas, para las mezclas templadas los áridos eran precalentados a una temperatura de 120°C, mientras la emulsión se mantenía en 60°C. Por su parte para las mezclas en caliente ambos materiales eran precalentados a la temperatura final de mezcla (155°C). En la etapa del mezclado manual, en ambos casos, se realizaba el mezclado de áridos y ligantes manteniendo las temperaturas finales de mezcla, las cuales correspondían a 105°C-110°C para las mezclas templadas y de 150°C-160°C para las mezclas en caliente. En la última

etapa, la compactación, se realizó por impacto (compactador Marshall) y por amasado (compactador giratorio).

Para el ensayo de Módulo, se utilizó UNE-EN 12697-26-C, "Medición de Rigidez de Mezclas Asfálticas por Medio de Ensayo de Tracción Indirecta de Probetas Cilíndricas. Para el ensayo" ITS se utilizó la norma UNE-EN12697-23 "Determinación de la resistencia a la tracción indirecta de probetas bituminosas". Ambos ensayos se realizaron para probetas preparadas por Marshall y Superpave.

4. Resultados

Resultados Obtenidos con Compactador de Impacto

Las Figuras 2 a 5, presentan los resultados de propiedades físicas y mecánicas de las mezclas obtenidas utilizando el compactador por impacto (Marshall):

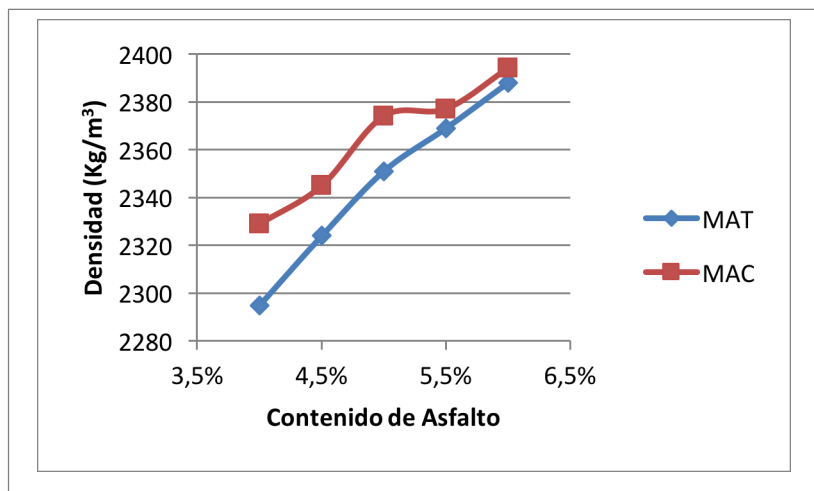


Figura 2. Densidades alcanzadas con el compactador de impacto

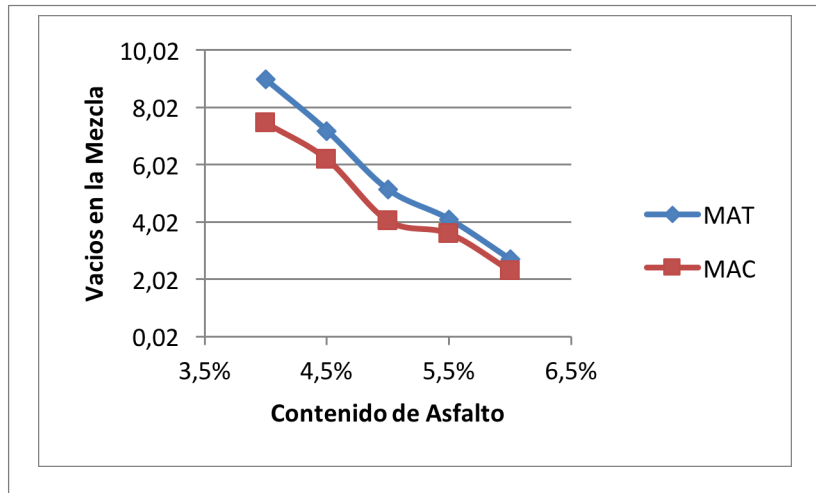


Figura 3. Vacíos alcanzadas con el compactador de impacto

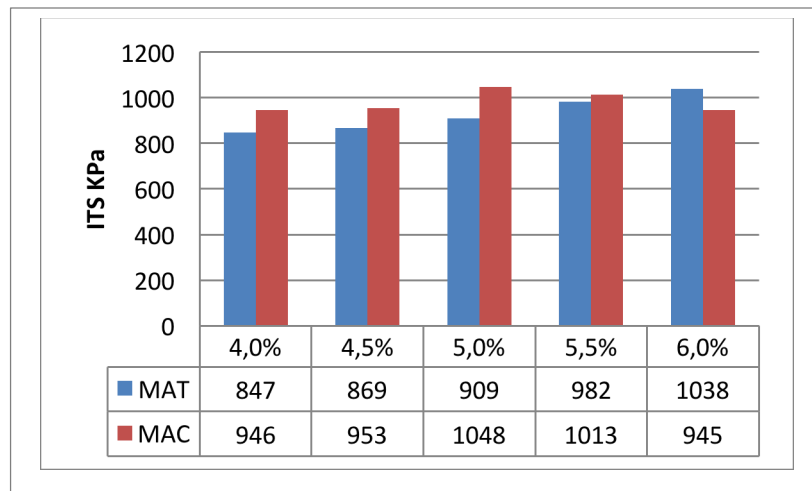


Figura 4. Resistencia a la tracción indirecta, compactador de impacto

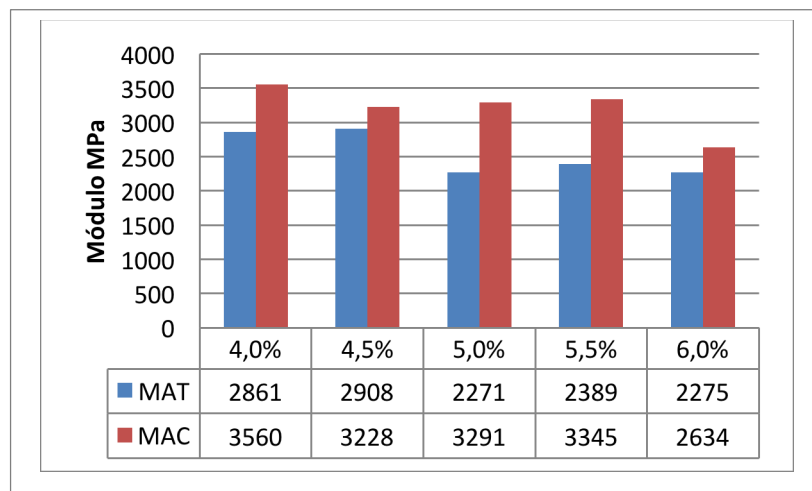


Figura 5. Módulo a tracción indirecta, compactador de impacto

Resultados obtenidos con compactador giratorio

Las Figuras 6 a 9 presentan los resultados de

propiedades físicas y mecánicas de las mezclas obtenidas utilizando el compactador giratorio:

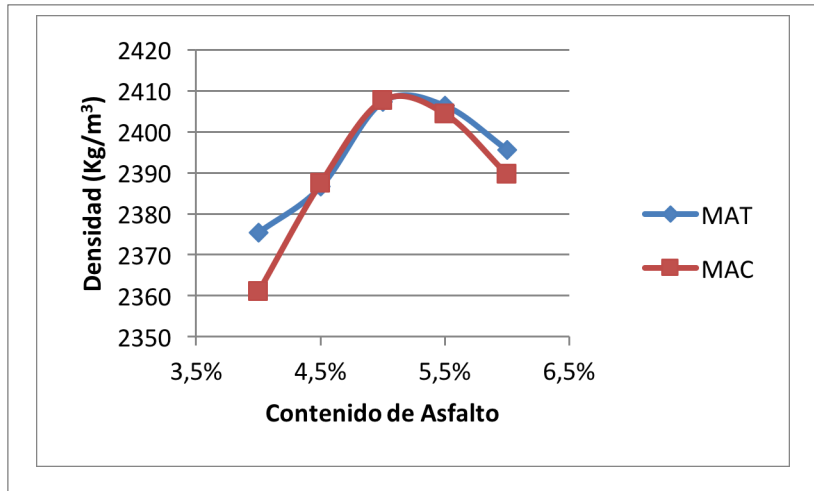


Figura 6. Densidades alcanzadas con el compactador giratorio

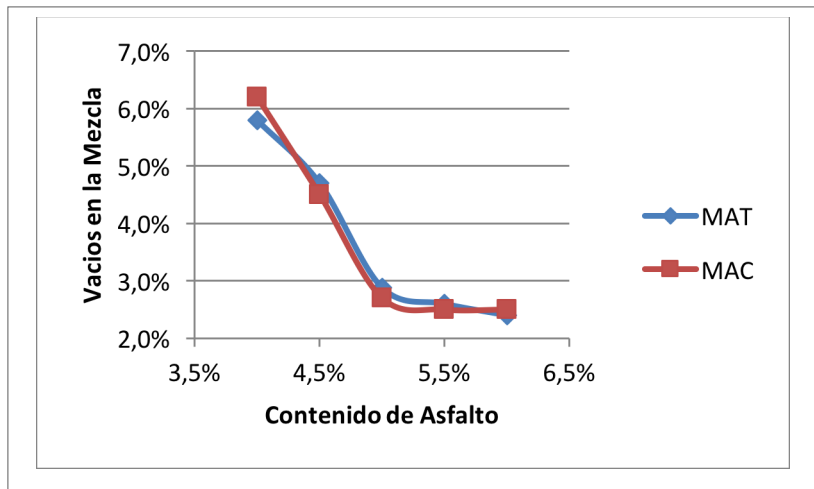


Figura 7. Vacíos alcanzadas con el compactador giratorio

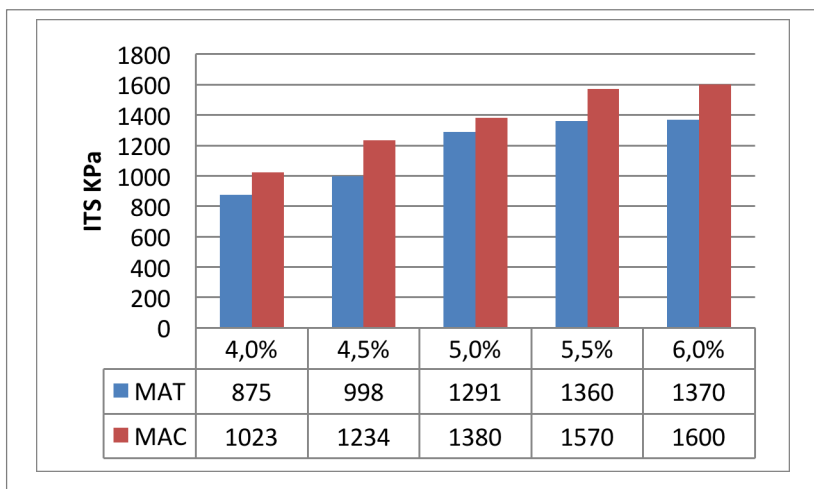


Figura 8. Resistencia a la tracción indirecta, compactador giratorio

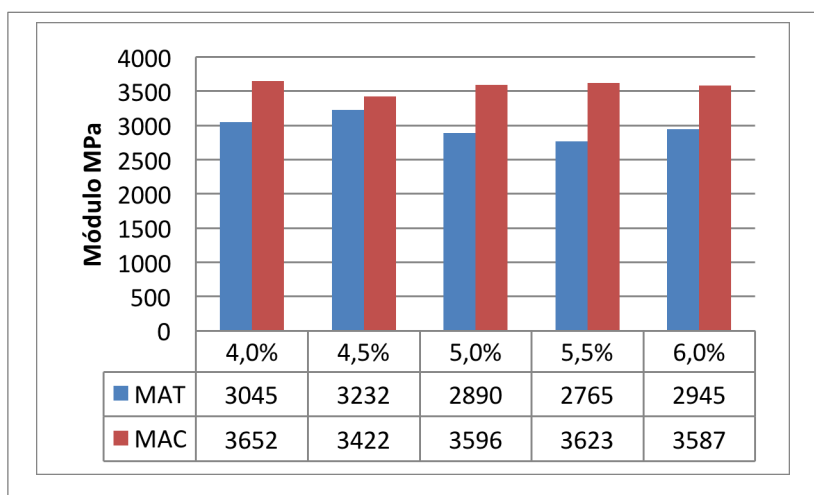


Figura 9. Módulo a tracción indirecta, compactador giratorio

En las Figuras 2 y 3, se observa que, para todos los contenidos de asfalto, el nivel de compactación alcanzado por las mezclas asfálticas en caliente, con el compactador Marshall, fue mayor al de las mezclas asfálticas templadas. Esta diferencia en densificación fue más notoria en los contenidos bajos de asfalto y fue disminuyendo a medida se aumentaba el contenido de asfalto. Sin embargo con el uso del compactador giratorio la densificación varió dependiendo del contenido de asfalto, logrando en algunos casos mayor densificación de las mezclas asfálticas templadas y en otros casos mayor densificación con las mezclas calientes.

El Módulo de las mezclas asfálticas no presentó muchas variaciones en relación a los contenidos de asfalto, tanto para las mezclas templadas como para las mezclas en caliente. Sin embargo si se presentaron, en todos los casos, un mayor módulo de las mezclas asfálticas en caliente versus las mezclas asfálticas templadas. En cuanto a variaciones de Módulo presentadas por las mezclas en función del tipo de compactación, no se puede analizar directamente, debido a las diferencias alcanzadas en densidad para un mismo contenido de asfalto dependiendo del método de compactación, sin embargo las variaciones presentadas en Módulo no fueron de gran magnitud.

En cuanto al ITS, no se presentaron diferencias tan marcadas como para la rigidez, sin embargo en la mayoría de los casos (a excepción del contenido de 6% de asfalto con probetas compactadas por impacto) las mezclas asfálticas en caliente alcanzaron una mayor resistencia que las mezclas templadas. Al igual que en los ensayos de módulo, no se presentaron variaciones significativas en las resistencias producto del contenido de asfalto. Lo anterior tanto para probetas compactadas por impacto como para probetas compactadas con compactador giratorio.

5. Conclusiones y recomendaciones

En base a los resultados obtenidos se concluye:

- El uso de compactador por impacto en la densificación de mezclas asfálticas templadas

con emulsiones super-estabilizadas no permite alcanzar las propiedades volumétricas que se alcanzan con una mezcla en caliente. La presencia de vapor de agua y la menor temperatura del residuo asfáltico impiden lograr mejores resultados. No obstante la densificación de estas mezclas por medio del compactador giratorio si mantuvo niveles de densificación similar a los obtenidos en las mezclas en caliente lo que permitió realizar los ensayos comparativos entre mezcla MAT y MAC.

- La resistencia y módulo de las mezclas asfálticas templadas con emulsión super-estabilizadas, resultaron menor que las de las mezclas asfálticas en caliente, aún para los casos donde se tenía una mayor densificación de la mezcla asfáltica templada (por ejemplo el caso de 4% de asfalto y compactación giratoria). Lo anterior se puede explicar debido a las bajas temperaturas de mezclado, lo que conlleva a un menor envejecimiento inicial del asfalto en las mezclas. De todas maneras los valores obtenidos de resistencia y módulo están dentro de rangos normales de mezclas asfálticas en caliente.
- Se recomienda adoptar el compactador giratorio como metodología de diseño de mezcla para las mezclas asfálticas templadas con emulsión super-estabilizada e inicialmente utilizar como criterio de diseño las propiedades volumétricas. No obstante, al igual que lo que ha acontecido con el diseño de mezclas en caliente, se recomienda incorporar ensayos adicionales: Susceptibilidad a la humedad y ahuellamiento. Lo anterior no excluye incorporar además ensayos de: resistencia, Módulo y fatiga.
- En términos generales las mezclas asfálticas templadas con emulsión super-estabilizada presentaron un buen comportamiento. Un

artículo de los mismos autores, para esta conferencia, exhibe pruebas adicionales en laboratorio y evaluación de las mezclas en un tramo de prueba. En dicho artículo también se prepararon mezclas con diferentes contenidos de material reciclado.

6. Agradecimientos

Los autores agradecen al Laboratorio Nacional de Vialidad por su apoyo durante el desarrollo de esta investigación. En especial a Víctor Roco, Gabriela Muñoz, Rosa Zúñiga y Rodrigo Uribe.

7. Referencias

- Bluffs C. (2011)**, What is Evotherm. Presentation March 14, 2011.
- Capitao S., Picado-Santos L. y Martinho F. (2012)**, Pavement Engineering Materials: Review on the Use of Warm-Mix Asphalt. Construction and Building Materials, 36, 1016-1024.
- D'Angelo J., Harm E., Bartoszek J., Baumgardner G., Corrigan M., Cowser J. y otros (2008)**, Warm-Mix Asphalt: European Practice, FHWA-PL-08-007. Washington: Federal Highway Administration.
- EAPA (2013)**, (European Asphalt Pavement Association) Recuperado el 20 de 11 de 2014, de <http://www.eapa.org/>
- Jair M. R. y Fitts G. L. (2014)**, Mezclas Asfálticas Tibias Modificadas con Azufre. Revista Carreteras(187).
- Mallick R. y El-Korchi T. (2013)**, Pavement Engineering - Principle and Practice. Boca Raton: CRC Press.
- Miranda Pérez L., García Santiagos J. L., Uguet, N., Andaluz, D., Colas Victoria, M. d., Lucas, F. J., y otros. (2013)**. Mezclas Templadas con Emulsión Bituminosa. CILA, Congreso Ibero-Latinoamericano de Asfalto (págs. 30-36). Revista Carreteras.
- NAPA (2014)**, Annual Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt Usage 2009-2013. National Asphalt Pavement Association.
- Porot L. (2008)**, Mezclas Asfálticas a mas Bajas Temperaturas. XXXV Reunión del Asfalto. Rosario, Argentina: Comisión Permanente del Asfalto.
- Rubio M. C., Martínez G., Baena L. y Moreno F. (2012)**, Warm Mix Asphalt: an Overview. Journal of Cleaner Production(24), 76-84.
- Soto Sanchez J. A. y Raz R. T. (2007)**, Sistemas de Baja Emisión. Revista Carreteras(155).
- Thenoux G., González Á. y Dowling R. (2007)**, Energy Consumption Comparison for Different Asphalt Pavements Rehabilitation Techniques Used in Chile. Resources Conservation & Recycling, 325-339.