

Factibilidad de mezclas asfálticas de alto módulo con agregados del área de influencia de Tunja

High Module Asphalt Mix Feasibility, with aggregates from the Influence Area of Tunja City

Fecha de Recepción: 2013-05-30
Fecha de Aprobación: 2013-06-28

Carlos Hernando Higuera Sandoval*
Anyi Milena Patarroyo Fonseca**
Yeison Fabián Vargas León***

Resumen

Se presentan los resultados del análisis de factibilidad de mezclas asfálticas de alto módulo (MAM) con agregados pétreos provenientes de dos canteras del área de influencia de Tunja y asfalto modificado con polímeros tipo V. Las metodologías de diseño empleadas para determinar la fórmula de trabajo fueron Marshall y Ramcodes; el módulo dinámico de las respectivas mezclas se determinó por medio del ensayo de tracción indirecta en el equipo *Nottingham Asphalt Tester* – NAT–. Los resultados mostraron que las mezclas diseñadas tienen altos valores de flujo, lo que indica que se deforman fácilmente, y presentan valores de estabilidad superiores a las mezclas asfálticas

Abstract

Here are presented the feasibility results analysis, on high modulus asphalt mixtures (MAM) with stone aggregates, from two quarries in the Tunja city area of influence and a polymer modified asphalt type V. The design methodologies used to determine the working formula, were RAMCODES and MARSHALL. The respective mixtures' dynamic modulus was determined by the indirect tensile proving equipment, Nottingham Asphalt Tester –NAT–. The results showed that designed mixtures, possess high flow values, indicating that are easily deformed and exhibit stability values higher than the conventional paving asphalt mixtures. Related to the dynamic modulus, no mixture exceeds the 10000 MPa

* M.Sc. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Colombia). carlos.higuera@uptc.edu.co

** Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Colombia). anyipf05@hotmail.com

*** Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Colombia). yfvleon_17@hotmail.com

convencionales; en cuanto al módulo dinámico, ninguna mezcla supera los 10.000 MPa a 20 °C que exigen las especificaciones del INVIAS y del IDU; sin embargo, tomando como referencia la temperatura media anual ponderada de Tunja (13 °C), una de las mezclas alcanza 11.000 MPa.

Palabras clave: Asfalto modificado tipo V, Mezclas asfálticas de alto módulo, Polímeros, Metodología Marshall, Metodología Ramcodes.

at 20 °C, required by the INVIAS and IDU's specifications. However, taking as reference the Tunja (13 °C) annual average temperature, one of the mixtures reaches 11000 MPa.

Keywords: Asphalt Modified Type V, High Modulus Asphalt Mixtures, Polymers, Marshall and Ramcodes' Methodology.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha presentado una tendencia de aumento en el transporte de carga en el país [1]; además, con la entrada en vigencia de nuevos tratados internacionales, que son generadores de comercio y desarrollo económico, es necesario proveer infraestructura vial que ofrezca calidad, seguridad y comodidad y que cumpla con su vida útil de diseño. A través de nuevas investigaciones [2], se han buscado mezclas capaces de mejorar las propiedades mecánicas y químicas de las mezclas asfálticas convencionales; para ello se han empleado aditivos modificadores de asfalto que mejoran propiedades como la resistencia a la deformación y el comportamiento a la fatiga, y además disminuyen la susceptibilidad térmica y aumentan el módulo dinámico [3].

Uno de los asfaltos modificados en Colombia es el tipo V, que se emplea para fabricar mezclas de alto módulo de acuerdo con las especificaciones del Instituto Nacional de Vías –INVIAS– (2007), y del instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá –IDU– (2005) [4], específicamente cuando las solicitaciones del tránsito corresponden al nivel NT3; mezclas que se caracterizan por tener un valor mínimo de 10.000 MPa en su módulo dinámico a una temperatura de veinte grados Celsius y a una frecuencia de 10 Hertz [5].

El presente estudio tiene como fin analizar la factibilidad de este tipo de mezclas empleando agregados pétreos del área de influencia de Tunja, y asfalto modificado tipo V; para tal fin se caracterizan los materiales y, posteriormente, mediante las metodologías Marshall y Ramcodes se determina el contenido óptimo de asfalto; de esta manera, se elaboran las mezclas para encontrar así el módulo dinámico mediante el equipo *Nottingham Asphalt Tester –NAT–*.

II. MATERIALES Y METODOLOGÍAS

A. Materiales

Para elaborar una mezcla asfáltica que cumpla con los requisitos de calidad de las especificaciones se requiere conocer la naturaleza y las propiedades de los agregados y del asfalto que se va a emplear. Por ello se realizaron los ensayos de caracterización a los agregados gruesos y finos provenientes de dos canteras localizadas en el área de influencia de Tunja, y al asfalto modificado tipo V de dos plantas asfálticas. La primera cantera es *Santa Lucía* (Fig. 1), localizada a 1 km. del municipio de Cucaita, vía a Villa de Leyva (Boyacá), y la segunda corresponde a *Colconcretos*, ubicada vía al municipio de Toca, Boyacá (Fig. 2). En el Cuadro 1 se presentan las principales características de los agregados de las dos canteras, determinadas a partir de los ensayos de laboratorio correspondientes.



Fig. 1. Agregado de la cantera Santa Lucía



Fig. 2. Agregados de la cantera Colconcretos

CUADRO 1
CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS

Propiedad del agregado	Norma de ensayo	Resultados de la cantera Santa Lucía		Resultados de la cantera Colconcretos		Valor norma INVIAS	Valor norma IDU
Desgaste de los ángeles	INV E-218-07	35.40%		23.84%		25% máx	25% máx.
Pérdidas en ensayo de solidez (Sulfato de Sodio)	INV E-220-07	Fino	4.57%	Fino	4.19%	12% máx.	No aplica
		Grueso	2.46%	Grueso	2.04%		
Partículas fracturadas 2 caras	INV E-227-07	95.71%		97.51%		70 mín.	75 mín.
Índice de alargamiento	INV E-230-07	5.05%		14.48%			20 máx.
Índice de aplanamiento	INV E-230-07	19.82%		18.47%			20 máx
Gravedad específica y absorción de los agregados finos	INV E-222-07	Gsb	2.356	Gsb	2.470		
		Gsb sss	2.496	Gsb sss	2.552		
		Gsa	2.741	Gsa	2.689		
		% Absorción	5.97%	% Absorción	3.30%		
Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos	INV E-223-07	Gsb	2.403	Gsb	2.734		
		Gsb sss	2.433	Gsb sss	2.747		
		Gsa	2.478	Gsa	2.770		
		% Absorción	1.26%	% Absorción	0.48%		
Límite líquido	INV E-125-07	27.03%		18.35%		N.P.	N.P.
Límite plástico	INV E-126-07	N.P.		N.P.		N.P.	N.P.
Índice plástico	INV E-126-07	N.P.		N.P.		N.P.	N.P.
Equivalente de arena	INV E-133-07	56%		67%		50% mín.	40% mín.
Contenido de impurezas	INV E-133-07	0.39%		0.27%		0.5% máx	N.A

Debido a que esta es la primera investigación con este tipo de mezclas en la Uptc, para el diseño de las mezclas se tuvo en cuenta la franja granulométrica central dada en la especificación

del INVÍAS, definida para las mezclas de alto módulo; los rangos de las especificaciones se muestran en el Cuadro 2.

CUADRO 2
FRANJA GRANULOMÉTRICA PARA MEZCLAS DE ALTO MÓDULO

Franja granulométrica									
Tamiz	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
Alto Módulo-INVÍAS	100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	10-20	8-10	6-9
Alto Módulo-IDU	100	80-95	66-82	55-71	35-51	23-39	10-20	8-14	6-9

El asfalto modificado tipo V fue suministrado por las plantas MPI del municipio de Barrancabermeja (Santander) y por la planta IncoAsfaltos del

municipio de Chía (Cundinamarca). Las principales características del asfalto modificado tipo V se presentan en el Cuadro 3.

CUADRO 3
CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO MODIFICADO TIPO V EMPLEADO

Propiedad	Norma	Resultado In-coasfaltos	Resultado MPI	Valor norma	
Penetración (1/10 mm)	INV E 706-07	34	32	Máx.	40
				Mín.	15
Gravedad específica de materiales bituminosos sólidos y semisólidos	INV E 707-07	1.013	1.014	-	
Punto de ignición mediante la copa abierta de Cleveland (°C)	INV E 709-07	308	306	230 mín.	
Punto de ablandamiento (anillo y bola) (°C)	INV E 712-07	74	69	65 mín.	

B. Metodologías

Las metodologías de diseño de mezclas asfálticas utilizadas fueron Marshall y Ramcodes. La metodología Marshall se basa en el análisis de vacíos de la mezcla, la estabilidad, el peso específico bulk y el flujo para determinar el porcentaje óptimo de asfalto y el porcentaje de agregado que se debe incluir en la mezcla, con la finalidad de dar cumplimiento a las

especificaciones. La metodología Ramcodes (Racional para el Análisis de Densificación y Resistencia de Geomateriales Compactados) se fundamenta en conocimientos de estadística para realizar el análisis de experimentos para el diseño y el control de compactación, específicamente en un experimento factorial de dos factores o niveles –en este caso, el contenido de asfalto (%Pb) y el peso específico bulk (Gmb)–, basándose también en la metodología Marshall; para ello se basa

en un polígono de vacíos que, básicamente, es un área donde se cumplen las especificaciones de vacíos con aire, con agregados minerales y llenos de asfalto; estos porcentajes de vacíos se representan en mapas como isolíneas para los rangos permitidos; la intersección de dichas isolíneas definen el área cuyo punto central determina el valor de porcentaje óptimo de asfalto y su correspondiente densidad bulk [6].

Las ecuaciones (1), (2) y (3) permiten determinar las isolíneas que delimitan el polígono de vacíos.

$$G_{mb} = \left[\frac{1 - V_a}{\frac{P_b}{G_b} + \frac{(1 - P_b)}{G_{se}}} \right] \quad (1)$$

$$G_{mb} = \left[\frac{1 - VAM}{1 - P_b} \right] * G_{sb} \quad (2)$$

$$G_{mb} = \left[\frac{VFA}{\frac{P_b}{G_b} + \frac{(1 - P_b)}{G_{se}} - (1 - VFA) * \frac{(1 - P_b)}{G_{sb}}} \right] \quad (3)$$

Donde: G_{mb} es el peso específico bulk de la mezcla asfáltica compactada; G_{se} es el peso específico efectivo de los agregados; G_b es el peso específico del asfalto; G_{sb} es el peso específico bulk de la combinación de agregados; P_b es el porcentaje de asfalto; % V_a es el porcentaje de volumen de vacíos con aire con respecto al volumen total de la probeta; % VAM es el porcentaje de vacíos llenos en los agregados minerales en la mezcla compacta, y % VFA es el porcentaje de vacíos llenos de asfalto. Luego se determina el valor promedio de porcentaje de asfalto (P_{bprom}) y de los pesos específicos bulk de la mezcla (G_{mbprom}), que representarán las coordenadas del centroide del polígono; para determinarlos se emplean (4) y (5).

$$P_{bprom} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_b)_i}{n} \quad (4)$$

$$G_{mbprom} = \frac{\sum_{i=1}^n (G_{mb})_i}{n} \quad (5)$$

Donde: P_b es el porcentaje de asfalto de cada vértice (Decimal); G_{mb} es el peso específico bulk de la muestra de cada vértice, y n es el número de vértices.

Por otra parte, el método propuesto para determinar el módulo dinámico es el ensayo de tracción indirecta realizado en el equipo *Nottingham Asphalt Tester* –NAT–; en este ensayo, la aplicación de cargas de compresión se realiza con un dispositivo que da la forma de onda; la carga es aplicada verticalmente en un plano diametral a una probeta de mezcla asfáltica, la deformación horizontal resultante se mide y, junto con la relación de Poisson que se asume, se calcula el módulo resiliente. En la Fig. 3 se presenta el equipo empleado.



Fig. 3. Equipo Nottingham Asphalt Tester NAT

C. Diseño experimental

El diseño experimental se basó en un diseño factorial de tipo 2x2, que da como resultado un total de 4 experimentos. Los factores que componen el diseño experimental son las variables de agregados y el asfalto, es decir, variables cualitativas. En la Fig. 4 se muestran los experimentos realizados para diseñar las mezclas. En total se fabricaron 60 briquetas para la metodología Marshall y 12 para la metodología Ramcodes.

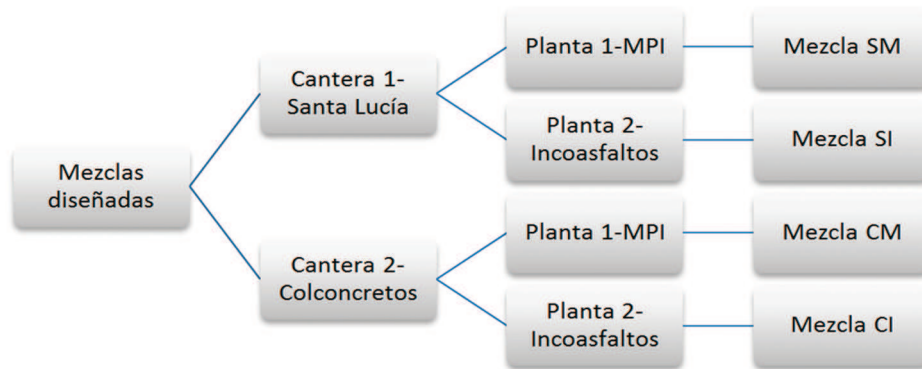


Fig. 4. Variables cualitativas en el diseño de las mezclas asfálticas

Todas las mezclas son elaboradas con los agregados ajustados a la franja central dada en las especificaciones, con una gradación de 47.5% de agregado grueso y 52.5% de agregado fino. Las briquetas elaboradas se presentan en la Fig. 5.



Fig. 5. Briquetas elaboradas por la metodología Marshall

De acuerdo con las especificaciones, el ensayo de módulo dinámico se debe realizar a tres temperaturas, que para este caso fueron de 5 °C, 20 °C y 40 °C, y con una frecuencia de 10

Hertz [7]. Además, por cada temperatura se debe realizar el ensayo dos veces; el primero en la posición inicial en que se dejó, y el segundo al girar la briqueta un ángulo de 90°. Por lo tanto, se fabricaron 24 briquetas para este ensayo. Antes de ser ensayadas, las briquetas fueron llevadas a la cámara de temperatura del NAT durante dos horas, aproximadamente, para que alcanzaran la temperatura adecuada de ensayo.

III. RESULTADOS

A. Resultados obtenidos por las metodologías Marshall y Ramcodes

En el Cuadro 4 se muestran los resultados obtenidos de la aplicación de las metodologías Marshall y Ramcodes, específicamente los porcentajes óptimos de asfalto, las propiedades volumétricas, la estabilidad y el flujo de las cuatro mezclas.

CUADRO 4
COMPARACIÓN DE RESULTADOS POR MARSHALL Y RAMCODES

Parámetro	Mezcla SM		Mezcla SI		Mezcla CM		Mezcla CI	
	Marshall	RAM	Marshall	RAM	Marshall	RAM	Marshall	RAM
%Pb	6.13	5.86	6.41	6.09	5.42	5.80	5.50	5.75
Gmb (g/cm ³)	2.106	2.149	2.128	2.154	2.377	2.348	2.391	2.347
Va (%)	6.500	4.770	4.600	4.784	3.540	4.772	2.810	4.750
VAM (%)	17.00	14.997	16.30	15.008	13.60	14.996	13.20	14.987
VFA (%)	61.30	68.194	70.70	68.090	73.80	68.178	79.00	68.306
Estabilidad (kg)	1420.8	1380.1	1418.8	1350.8	1155.0	1080.7	1437.5	1400.5
Flujo (mm)	5.60	5.62	5.45	5.70	5.07	6.01	4.23	4.40

En la Fig. 6 se muestran los polígonos de vacíos correspondientes a las cuatro mezclas, y los puntos indican el porcentaje óptimo obtenido por medio de la metodología Marshall.

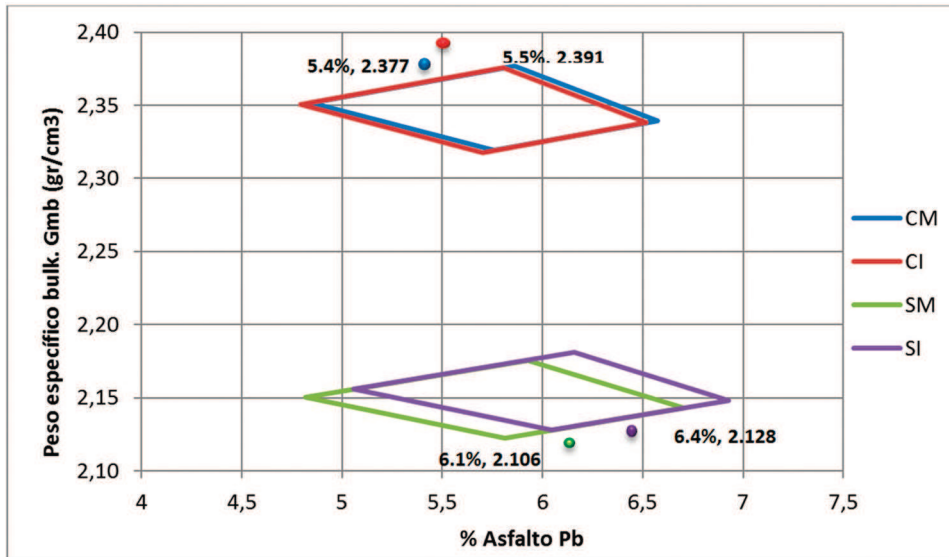


Fig. 6. Polígono de vacíos para cada una de las mezclas

B. Resultados obtenidos de las mezclas realizadas para el ensayo de módulo dinámico

las 24 briquetas, y con base en los ensayos correspondientes se obtuvieron los resultados que se muestran en el Cuadro 5.

A partir de los porcentajes óptimos determinados en la metodología Marshall, se fabricaron

CUADRO 5
RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS MEZCLAS PARA MÓDULO DINÁMICO

Parámetro	MAM IN-VIAS 2007	MAM IDU 2005	Mezcla SM	Mezcla SI	Mezcla CM	Mezcla CI
%Pb			6.13	6.41	5.42	5.50
Gmb (g/cm ³)			2.180	2.178	2.398	2.397
Va (%)	4 - 6	4 - 6	4.82	4.32	4.09	4.06
VAM (%)	≥14	≥15	14.03	14.37	12.84	12.96
VFA (%)	63 - 75	63 - 75	65.65	69.91	68.17	68.67
Estabilidad mínima (kg)	1500	1500	2876	1928	1518	1501
Flujo (mm)	2 - 3	2 - 3	6.48	4.05	5.38	4.13
Relación llenante mineral/asfalto efectivo, en peso	1.2 - 1.4	1.2 - 1.4	1.40	1.32	1.68	1.65

El Cuadro 5 muestra que los porcentajes óptimos de asfalto por las dos metodologías varían; por medio del ensayo Marshall no se están ajustando a los rangos de las especificaciones, mientras que en Ramcodes, el polígono de vacíos realiza el ajuste para que el contenido de asfalto satisfaga todas las especificaciones. Debido a que la norma de ensayo de módulos dinámicos recomienda la elaboración de las briquetas por la metodología Marshall, se tomaron estos porcentajes como los óptimos.

Como se muestra en el Cuadro 5, se obtuvieron datos de estabilidad y flujo con la franja granulométrica ajustada; los valores de flujo no se ajustaron al rango de 2 a 3 milímetros, y

no se podía reducir aún más el contenido de llenante mineral, puesto que se saldría de la franja granulométrica establecida para mezclas de alto módulo; por lo tanto, se realizaron las mezclas para módulos con estos contenidos óptimos de asfalto. Por otra parte, la estabilidad aumentó al reducir la cantidad de filler en las cuatro mezclas, y se alcanzó un valor máximo de 2876 kg. con la mezcla SM, valor que supera el mínimo de la especificación, de 1500 kg.

C. Resultados del ensayo de módulo dinámico

Los datos obtenidos del ensayo de módulos dinámicos para mezclas asfálticas realizado por medio del equipo NAT (*Nottingham Asphalt Tester*) se muestran en el Cuadro 6.

CUADRO 6
RESULTADOS DEL ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO MEDIANTE EL NAT

Temperatura (°C)	Posición de la briketa (°)	Módulo dinámico en MPa para cada mezcla			
		SM	SI	CM	CI
5°	0	15246	11168	18951	16293
	90	15496	11017	18248	15250
	Promedio	15371	11092	18600	15772
20°	0	5885	5953	6689	4831
	90	5795	5844	6679	4545
	Promedio	5840	5898	6684	4688
40°	0	1705	1103	1208	992
	90	1656	983	1207	950
	Promedio	1681	1043	1207	971

Los módulos dinámicos obtenidos en las dos posiciones de las briquetas son valores cercanos. Se presenta una relación inversa entre los módulos y la temperatura de ensayo: a medida que se aumenta la temperatura, los resultados de módulos

disminuyen, es decir, a mayor temperatura, las mezclas tienen menor resistencia.

En la Fig. 7 se muestran algunas imágenes correspondientes al ensayo de módulo dinámico.

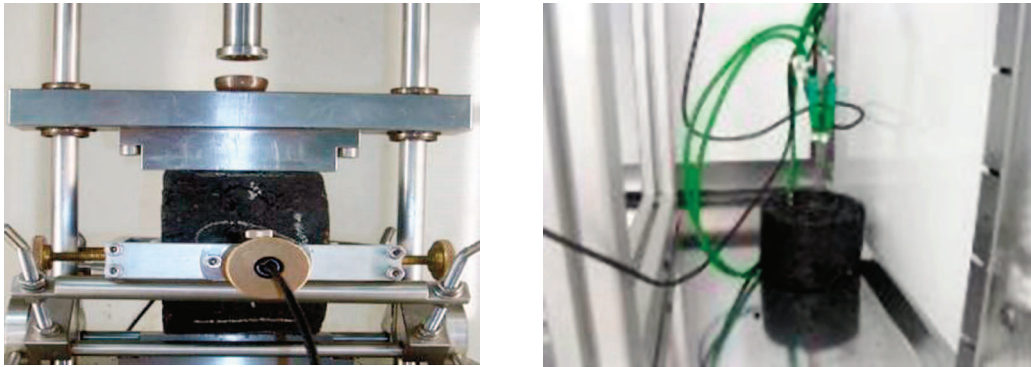


Fig. 7. Ensayo de módulo dinámico

En la Fig. 8 se muestran los resultados obtenidos de los módulos dinámicos para cada una de las mezclas, en las cuales se señala, además, el comportamiento con la variación de la temperatura de ensayo; a estas curvas se les denomina curvas

maestras de módulos dinámicos, las cuales pueden ser complementadas con ensayos realizados a diferentes frecuencias, pero para este proyecto se empleó solamente la frecuencia de 10 Hertz.

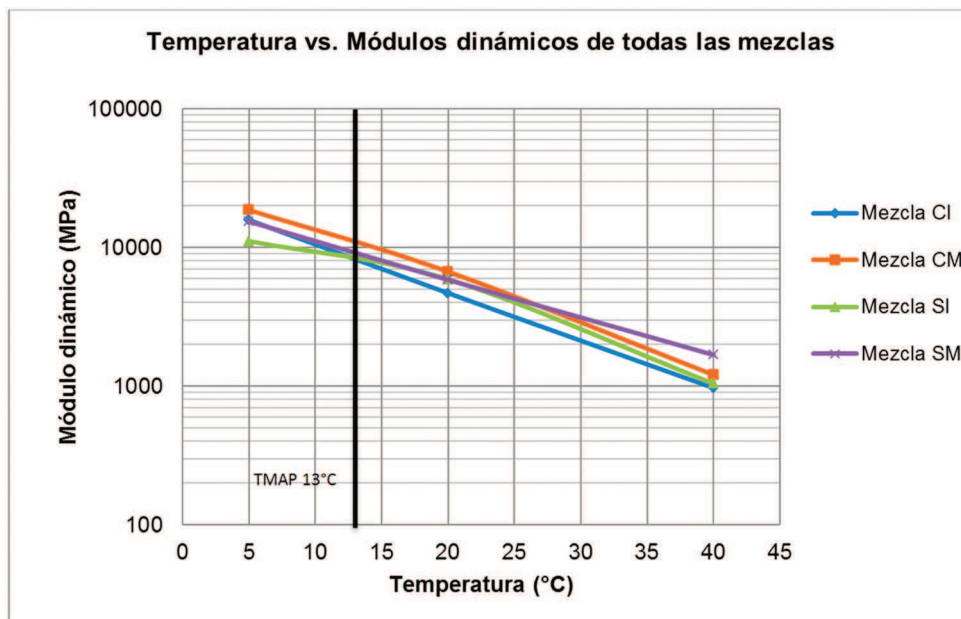


Fig. 8. Comportamiento del módulo dinámico con respecto a la temperatura

Teniendo en cuenta que la región en la cual se está trabajando es la de Tunja, y tomando como referencia que se tiene una temperatura media anual ponderada de 13 °C, se realizó la verificación de los valores de módulos dinámicos que se obtendrían con esta temperatura.

En la Fig. 8 se muestra esta verificación; en ella se observa que la única mezcla que supera los

10.000 MPa como valor de módulo dinámico fue la mezcla CM, realizada con agregado de Colconcretos y cemento asfáltico de MPI; esta mezcla alcanzó 11.000 MPa; sin embargo, las otras tres mezclas, aunque tienen sus valores cercanos al de la especificación, no son mayores; se obtuvo un valor de 8000 MPa con la mezcla CI, 8500 MPa con la mezcla SI y 9000 MPa con la mezcla SM.

Mediante datos tomados en la estación climatológica de la UPTC, se tiene registrado que el mes más caliente del año es marzo, con una temperatura de 13.6 °C; por lo tanto, el módulo dinámico para cada una de las mezclas es menor con respecto al calculado con la temperatura de 13 °C.

De acuerdo con las especificaciones del INVÍAS, según el artículo 450-07 se consideran mezclas de alto módulo si éstas superan el valor del módulo diámico a 10.000 MPa; sin embargo, para 20 °C de temperatura ninguna mezcla alcanzó a sobrepasar el rango de la especificación; el máximo valor de módulo para esta temperatura lo obtuvo la mezcla CM, y fue de 6684 MPa, como se presenta en el Cuadro 7.

CUADRO 7
COMPARACIÓN DE LOS MÓDULOS A 20 °C Y A 13 °C

Mezcla	Módulo dinámico por gráficas a 13 °C (MPa)	Módulo dinámico por NAT a 20 °C (MPa)
SM	9000	5840
SI	8500	5898
CM	11000	4688
CI	8000	6684

IV. CONCLUSIONES

Mediante la realización de los ensayos de laboratorio realizados a los agregados, se encontró que el agregado grueso de la cantera Santa Lucía no cumple con la resistencia al desgaste determinada por medio de la máquina de los ángeles; el resultado señala que el agregado tiene un 10.4% más que el valor exigido por las especificaciones INVÍAS e IDU para esta propiedad, en las cuales se considera un máximo de 25% de desgaste para un nivel de tránsito 3.

El asfalto modificado Tipo V suministrado por las plantas Incoasfaltos y MPI cumple con los criterios establecidos en las normas del INVÍAS y del IDU, y se caracterizaron por tener una consistencia más dura que un asfalto convencional; esto se verificó por medio del ensayo de penetración, en el cual se obtuvo que la penetración promedio del asfalto modificado tipo V de las dos plantas asfálticas es de 33 (1/10) milímetros.

El flujo para una mezcla asfáltica de alto módulo debe estar entre 2 y 3 milímetros, según lo

establecido en las especificaciones del INVÍAS e IDU; por lo tanto, se puede concluir que ninguna de las cuatro mezclas diseñadas tienen el valor de flujo adecuado, lo que sugiere que son mezclas que tienden a deformarse fácilmente bajo cargas del tránsito por ser mezclas plásticas; además, se pueden producir daños en la capa asfáltica, como el ahuellamiento.

A través de la metodología Marshall se encontraron las siguientes fórmulas de trabajo: para la mezcla SM, 6.13% de asfalto y 93.87% de agregado; para la SI, 6.41% de asfalto y 93.59% de agregado; para la CM, 5.42% de asfalto y 94.58% de agregado, y para la CI, 5.50% de asfalto y 94.50% de agregado. Lo anterior se obtuvo disminuyendo el porcentaje de llenante mineral a la gradación de la franja central; sin embargo, el valor del flujo es superior a 4 mm para todas las mezclas. En cuanto a la estabilidad, todas las mezclas superan los los 1500 kg, que es el valor establecido en las normas.

Teniendo en cuenta que el trabajo se desarrolló con materiales granulométricos del área de

influencia de la ciudad de Tunja, donde la temperatura media anual ponderada (TMAP) es de 13 °C, se recomienda usar la mezcla compuesta por los agregados de Colconcretos y el asfalto de MPI (CM) para esta zona, dado que el módulo dinámico obtenido fue de 11.000 MPa, superando los 10.000 MPa exigidos por las especificaciones del INVÍAS e IDU para un nivel de tránsito NT3.

Mediante la realización del ensayo de módulo dinámico en el equipo NAT se determinó que no es factible obtener mezclas de alto módulo con los agregados de las canteras Colconcretos y Santa Lucía con la gradación elegida, dado que a una temperatura de ensayo de 20 °C el mayor valor encontrado es de 6684 MPa, el cual es inferior al establecido en las normas.

Se recomienda realizar más investigaciones acerca de las mezclas asfálticas de alto módulo con materiales granulométricos del área de influencia de la ciudad de Tunja, ya sea variando la franja granulométrica de diseño empleada en esta investigación o tomando otras canteras, con el fin de diseñar mezclas que cumplan con todos los criterios estipulados en las especificaciones del INVÍAS y el IDU.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la Escuela de Transporte y Vías de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia por el apoyo brindado para la realización de la presente investigación.

REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Transporte–Oficina Asesora de Planeación. *Transporte en cifras*. Bogotá, D.C, Colombia, 2012.
- [2] H. A. Rondón, F. A. Reyes, A. S. Figueroa, E. Rodríguez, C. M. Real y T. A. Montealegre, “Estado del conocimiento sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia”. *Revista Infraestructura Vial*, N.º 19, 12-21, 2008.
- [3] Manufacturas y Procesos Industriales. *Asfaltos modificados con polímeros tipo V*. 2008. Disponible en: http://mpi.net.co/docs/asf_modificado_polimero_tipo5.pdf
- [4] Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá (IDU). *Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y del espacio público en Bogotá, D.C*. Capítulo 5. Bogotá, 2005.
- [5] Instituto Nacional de Vías. *Especificaciones generales de construcción de carreteras*, Artículo 450-07. Bogotá, 2007.
- [6] L. F. Sánchez, A. P. Garnica, L. J. Gómez y G. N. Pérez, *Ramcodes: Metodología racional para el análisis de densificación y resistencia de geomateriales compactados. Descripción de la metodología y campo de aplicación*. Publicación Técnica 200: Ed. Sanfandila. México, 2002. ISSN 0188-7297.
- [7] Instituto Nacional de Vías. *Normas generales de construcción de carreteras. Norma INV E-749-07*. Bogotá, 2007.