

DETERMINACIÓN DE MÓDULOS DINÁMICOS DE MEZCLAS CON ASFALTO ESPUMADO

Ing. Marcela Patricia Santamaría¹

Ing. Ph.D. Fredy Reyes²

RESUMEN

The present situation of the problems in the pavements requires the use of some methods that contemplate what in fact it happens to the structure of them. Using rational methods of design for pavements is a powerful tool that considers these aspects. To be able to use them, it is necessary to count on characteristics of the materials as the Dynamic Modules and Laws of fatigue. The present study provides one of these characteristics, Dynamic Modules, for cold mixtures using asphalt in foam form, a technique that even if it was created since 50 years ago it has been applied recently in many countries. Through this study, hot and cold mixtures were analyzed for three different graded aggregates and the conclusion was that the characteristics in resistance are very similar, which implies great benefits using this technique in cold.

PALABRAS CLAVES: Asfalto espumado, Mezclas en frío, Módulos Dinámicos.

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Para el diseño de pavimentos utilizando métodos racionales, es necesario conocer el comportamiento de éste al aplicar cargas dinámicas, una de estas características es la determinada midiendo el Módulo Dinámico de los materiales que lo componen.

Las técnicas en frío son métodos que están teniendo gran auge en los últimos tiempos y una técnica en espe-

cial es la del asfalto espumado, el cual se obtiene cuando una pequeña cantidad de agua fría es inyectada al asfalto caliente estallando en millones de burbujas, disminuyendo su viscosidad y permitiendo que se pueda mezclar con agregados fríos y húmedos.

Para la realización de éste trabajo se utilizaron tres tipos de gradaciones, 0/20, 0/14 y MDC - 2 y Asfalto de la refinería de Apiay, el material utilizado es identificado como recebo y procede de la Cantera Las Manas, este material no cumple con las características para ser trabajado como mezcla en caliente, pero para propósitos de este estudio se trabajó de esta forma para lograr realizar una comparación cuando son trabajados en frío utilizando asfalto espumado.

Para lograr la incorporación del agua al asfalto es necesario contar con un dispositivo, cámara de expansión, en donde se realiza la inyección del agua fría al asfalto caliente. Ver Figura 1.

Se han desarrollado dos parámetros que ayudan a la caracterización de la espuma de asfalto:

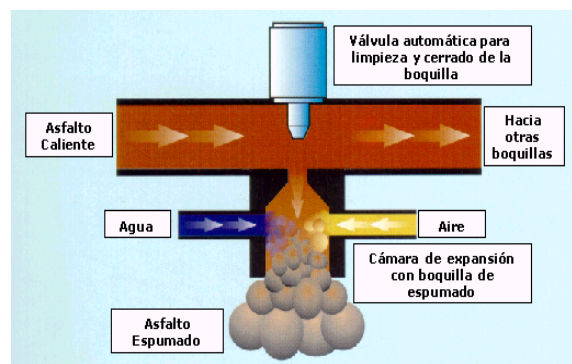


Figura 1 Cámara de expansión

1 Autor

2 Asesor

* Relación de expansión: Se define como la relación entre el volumen máximo del asfalto en su estado espumado y el volumen del asfalto una vez que la espuma ha colapsado completamente.

* Vida media: Es el tiempo requerido (medido en segundos) para que la espuma baje hasta la mitad de su volumen máximo alcanzado.

Estas dos características guardan una relación inversa, ver Figura 2. La relación de expansión aumenta a medida que lo hace la cantidad de agua añadida al asfalto, mientras que dicho aumento en la cantidad de agua provoca que la vida media disminuya.

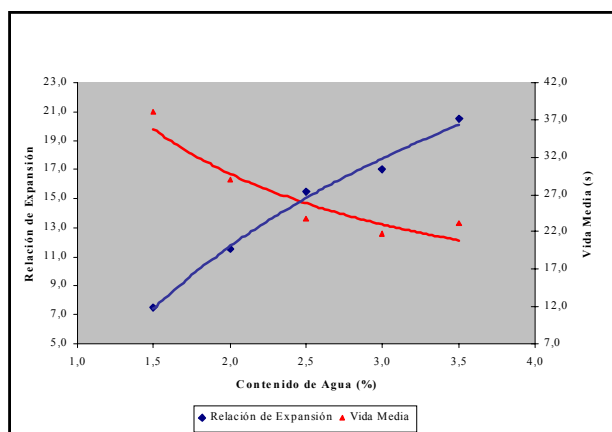


Figura 2 Influencia del contenido de agua en la relación de expansión y vida media

El contenido de agua para la formación de una espuma asfáltica, se expresa como la relación, en porcentaje, entre la masa de agua y la masa de Cemento asfáltico. Las Características de espumado del Cemento asfáltico - Relación de Expansión y Vida Media, dependen grandemente del contenido de agua que le sea inyectado.

La temperatura a la cual se obtienen las mejores características es determinante en el diseño de una mezcla con asfalto espumado, ya que se han observado cambios sustanciales en las características de la espuma al variar la temperatura. Ver Figura 3

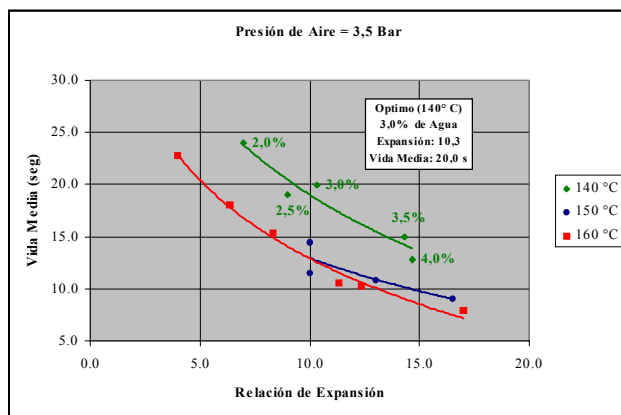


Figura 3 Influencia de la temperatura y del contenido de agua en la relación de expansión y vida media

Esta técnica fue aplicada inicialmente en 1956 por el profesor Ladis H. Csanyi¹ en la Estación Experimental de Ingeniería de la Universidad Estatal de Iowa (Estados Unidos), utilizó vapor de agua como medio para introducir agua

al asfalto caliente. La Mobil Oil Company en el año de 1968 desarrollo un sistema donde el agua vaporizada era inyectada directamente en el asfalto dentro de una cámara de expansión, este es el método que actualmente se usa para producir la espuma, Mobil patentó el método para proteger su inversión y desarrollo. La protección por patente demoró unos 20 años la aceptación en el mercado.

DESARROLLO DEL ESTUDIO

Para propósitos del estudio se trabajaron los tres tipos de mezclas enunciados anteriormente y se utilizó asfalto de la refinería de Apiay, tanto los agregados como el asfalto fueron caracterizados físicamente. Tabla 1 y Tabla 2.

TABLA 1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL ASFALTO DE APIAY

ENSAYO	NORMA	RESULTADO
Penetración	ASTM D 5-86	78 (1/10mm)
Punto de ablandamiento método anillo y bola	ASTM D 36-86	48.5°C
Punto de llama e Ignición en la Copa Abierta de Cleveland	ASTM D 113-86	222°C - 236°C
Ductilidad	ASTM D 113-86	> 100 cm
Peso específico	ASTM D 71-84	1.038

TABLA 2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGREGADO

ENSAYO	NORMA	RESULTADO
Limites de Atterberg	ASTM D 4318 - 84	NP
Equivalente de Arena	ASTM D 2419	25%
Abrasión en la Máquina de Los Angeles	ASTM C 131 - 81	31.8%
Porcentaje de caras fracturadas en los Agregados	I.N.V.E 227	100%

Luego de esta caracterización se procedió a determinar el contenido óptimo de asfalto tanto para las mezclas en caliente como para las mezclas en frío. Los contenidos óptimos se determinaron así:

Mezclas en caliente:

Se utilizaron dos métodos para seleccionar el contenido óptimo de ligante con el cual las mezclas tienen las mejores características, estos dos métodos fueron:

Norma I.N.V. E - 748, RESISTENCIA DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL. Se compactaron 6 probetas cilíndricas de 101.6 mm (4") de diámetro y 63.5 mm (2½") de altura por cada contenido de asfalto determinándose el contenido óptimo de asfalto. Tabla 3.

TABLA 3 CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO. MEZCLAS EN CALIENTE (MARSHALL)

IDENTIFICACIÓN	% ÓPTIMO ASFALTO
0/20	6.0
0/14	6.2
MDC	6.0

TABLA 4 CONTENIDOS ÓPTIMOS SEGÚN HUMEDECIMIENTO

IDENTIFICACIÓN	% ÓPTIMO ASFALTO MARSHALL
0/20	6.0
0/14	6.2
MDC	6.2

1 Csanyi, L. H. 1960. Bituminous mixes prepared with foamed asphalt. Ames, IA: Iowa State University, Iowa Engineering Experiment Station.

Norma ASTM D 4867 - 92 STANDARD TEST METHOD FOR EFFECT OF MOISTURE ON ASPHALT CONCRETE PAVING MIXTURES. Se determinaron como óptimos los presentados en la Tabla 4.

Mezclas en frío:

Como se mencionó anteriormente para utilizar el asfalto en forma de espuma es necesario caracterizarlo y determinar las condiciones con las cuales se obtiene la mejor espuma, para la ésta es necesario contar con un equipo capaz de producirla. La Empresa Wirtgen GmbH de Alemania diseñó una planta piloto para la producción de asfaltos espumados, la cual simula la producción de la máquina WR 2500 de la misma empresa, usada para trabajos en vía.

Para el asfalto utilizado (Apiay) se encontró lo siguiente:

Temperatura Seleccionada °C	: 140
Contenido de agua seleccionado %	: 3.0
Relación de expansión	: 10.3
Vida Media, seg	: 20.0

Para realizar las mezclas de agregado con la espuma de asfalto caracterizada como se mencionó anteriormente, se siguió el procedimiento K. M. Muthen² y Lee³, donde se especifica:

- Determinación de la Humedad óptima de compactación según la norma ASTM D - 1557-78 RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD. Método Proctor Modificado. Tabla 5.

Tabla 5 HUMEDAD ÓPTIMA Y DENSIDAD SECA (PROCTOR MODIFICADO)

MEZCLA	HUMEDAD ÓPTIMA	DENSIDAD SECA (g/cm ³)
0/20	6.7	2.120
0/14	7.0	2.050
MDC - 2	6.7	2.120

- Una vez determinada la Humedad óptima, se procedió a realizar las mezclas. Para el presente estudio se consideraron variaciones de contenido de asfalto entre el 3 y el 6%, en peso del agregado seco, con incrementos del 1%.

- Para cada contenido de asfalto se verificó la producción de la espuma de asfalto, comprobando que los parámetros óptimos se cumplen.

- Se tomaron 10.000 gramos de material de la mezcla y se le agregó la cantidad de agua necesaria para llegar al 70% de la humedad óptima en cada caso, usando la mezcladora que viene con la Planta de Producción, se colocó el material en el recipiente y se calculó el tiempo de salida de asfalto según el porcentaje a trabajar. Se continuó con la mezcla durante 1 minuto.

Para la compactación se utilizó el equipo Marshall, moldes y martillos especificados en la norma I.N.V. E - 748, RESISTENCIA DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL, aplicando 75 golpes por cara.

Las probetas, 6 por cada contenido de asfalto, se dejaron en los moldes durante 24 horas, al cabo de las cuales se desmoldaron, se tomaron las dimensiones y se procedió a determinar su densidad por el método dado en la norma I.N.V. E - 733 PESO ESPECIFICO APARENTE Y PESO UNITARIO DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS CON SUPERFICIE SECA.

Luego de realizar el ensayo de Densidad, se colocaron al horno a 60°C durante 3 días, según lo especificado por Bowering y C.L. Martin⁴. Al finalizar este tiempo de curado se dejaron las probetas enfriar a temperatura ambiente durante 1 día y luego se ensayaron a tensión indirecta, según la recomendación surafricana, el procedimiento fue:

Condición seca: Se colocaron 3 probetas por cada contenido de asfalto en horno a 25°C durante 1 hora y luego se fallaron con el ensayo de tensión indirecta.

Condición Húmeda: Se colocaron en inmersión las otras 3 probetas en un desecador, aplicando vacío de 100 mm de mercurio durante 1 hora y luego se fallaron con el ensayo de tensión indirecta. Los resultados para las mezclas analizadas se presentan en la Figura 4.

2 Muthen K. M.. 1998. Foamed asphalt Mixes. Mix Design Procedure. South Africa

3 Lee, D. Y. 1981. Treating marginal aggregates and soil with foamed asphalt.

4 Bowering R.H. y Martin, C.L. 1976 Foamed Bitumen Production and Application of mixtures, evaluation and performance of pavements.

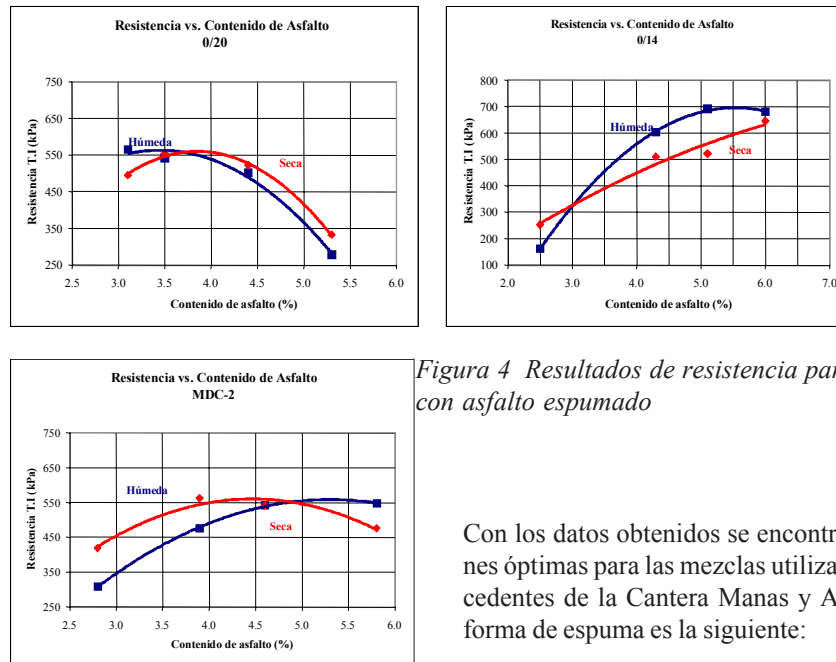


Figura 4 Resultados de resistencia para mezclas con asfalto espumado

Con los datos obtenidos se encontró que las condiciones óptimas para las mezclas utilizando agregados procedentes de la Cantera Manas y Asfalto de Apiay en forma de espuma es la siguiente:

TABLA 6 VALORES ÓPTIMOS PARA MEZCLAS CON ASFALTO ESPUMADO

MEZCLA	% DE ASFALTO	RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA (kPa)	
		SECA	HUMEDA
0/20	3.6	550	550
0/14	4.3	511	602
MDC - 2	4.8	550	550

Una vez determinadas las condiciones óptimas se fabricaron las probetas con dichas condiciones, para medir Módulos Dinámicos en la Máquina Universal MTS que posee la Universidad de Los Andes. Estos módulos fueron determinados para frecuencias de 1, 10 y 25 Hz y para la temperatura de Bogotá (aproximadamente 18°C). Los resultados obtenidos aparecen en Tabla 7.

Mezclas en caliente:

TABLA 7 MÓDULOS DINÁMICOS PARA MEZCLAS EN CALIENTE Y EN FRÍO

IDENTIFICACIÓN	MÓDULOS DINÁMICOS (MPa) PARA MEZCLAS EN CALIENTE			IDENTIFICACIÓN	MÓDULOS DINÁMICOS (MPa) PARA MEZCLAS CON ASFALTOS ESPUMADOS		
	25 Hz	10 Hz	1 Hz		25 Hz	10 Hz	1 Hz
0/20	2752	2445	1764	0/20 P - 1	4341	3511	3172
0/20	2917	2424	1600	0/20 P - 2	2214	1923	1860
0/14	3511	2859	1937	0/14 P - 1	3843	3353	3011
0/14	1745	1500	1187	0/14 P - 2	2346	2274	2219
MDC - 1	3694	3220	2459	MDC P - 1	3387	3206	2768
MDC P - 2	2893	2516	2115	MDC P - 2	3280	3213	2673

CONCLUSIONES

Los valores de los módulos de las mezclas con asfalto espumado son valores buenos ya que son superiores a los que proporcionan un material granular sin tratamiento y un poco mas bajos que el promedio de materiales tratados en caliente.

Si se trabajara con las mezclas volumétricas, utilizando el compactador giratorio, podrían obtenerse mezclas en realidad con las condiciones óptimas que se obtienen de los diseños y los valores de los módulos se acercarían mas a las condiciones óptimas, es decir contenido de asfalto.

Al comparar los contenidos de asfalto óptimos para las mezclas en caliente y en frío se encuentra que estos últimos son valores muy bajos con respecto a las mezclas en caliente, esto se debe a la forma diferente en que trabajan cada una de las mezclas, para el caso de las mezclas en caliente todas las partículas están ligadas entre sí por el asfalto, la apariencia al realizar un corte sobre probetas realizadas en estas condiciones muestra que las partículas estas separadas unas de otras. Para el caso de las mezclas en frío esta actuando la fricción y trabazón entre las partículas gruesas y las partículas finas forman un mortero con el ligante que mantiene al resto de las partículas en su sitio.

El obtener valores de resistencia a la tensión indirecta, aunque no son iguales los procedimientos de ensayo (inmersión) muy similares para las mezclas en caliente y en frío significa una disminución grande de costos y contaminación ambiental.

Es necesario continuar con las investigaciones sobre el tema, además realizar el análisis de fatiga para este tipo de materiales resulta absolutamente necesario para que puedan usarse resultados como estos, utilizando Diseño Racional de Pavimentos.

Las mezclas con asfalto espumado usualmente carecen de resistencia a la abrasión y no son usadas para aplicaciones donde se requiera este uso.

REFERENCIAS

- 1 Campagnoli S. 1998. Escuela Colombiana de Ingeniería. Artículos varios.
- 2 REYES, F. 1998. Diseño de Pavimentos por Métodos Racionales. Tomo I. Universidad de Los Andes.
- 3 Escuela Colombiana de Ingeniería. 1997. Evaluación de las Características de Espumado de los Cementos Asfálticos Colombianos. Ecopetrol, ICP.
- 4 WIRTGEN, GmbH. 1997 Instruction Manual, Foamed Asphalt Laboratory Plant - WLB - 10.
- 5 WIRTGEN, GmbH. 1996 The Outstanding Features and Wealth of applications. Alemania.
- 6 NORMAS ASTM
- 7 NORMAS NLT. España.