

PRUEBA DE DESEMPEÑO EN DIFERENTES MEZCLAS ASFÁLTICAS

TESTING PERFORMANCE IN DIFFERENT ASPHALT MIXTURES

Ricardo Torres Velázquez*
Hendrick Hernández Villares**
Felipe Romero Zepeda***
Víctor Torres Verdín****

Artículo recibido: 09-08-2016

Aprobado: 25-10-2016

*Gerente Técnico en
Evaluación Integral de
Obras Civiles, S.A. de C.V.:
Maestría en Ingeniería,
Mecánica de suelos
rtorres@torrestci.com.

Jefe de Laboratorio en
Evaluación Integral de
Obras Civiles, S.A. de
C.V., Maestría en Ciencias
hendrick@eiocsa.net.

Felipe Romero Zepeda,
Coordinador de Materiales
en Evaluación Integral
de Obras Civiles, S.A. de
C.V.; Maestría en Ciencias
felipe@eiocsa.net.

Víctor Torres Verdín,
Director General en
Evaluación Integral de
Obras Civiles, S.A. de C.V.;
Doctorado en Ciencias
vtorres@torrestci.com.

Resumen

Este trabajo presenta un análisis comparativo del desempeño por susceptibilidad a la humedad por deformación permanente con la rueda cargada de Hamburgo con el uso del Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA, por sus siglas en inglés) para diferentes composiciones de mezclas asfálticas. Los resultados presentan la influencia de las características de la mezcla en el desempeño por susceptibilidad a la humedad.

Abstract

This paper presents a comparative analysis of the performance by moisture susceptibility to permanent deformation with the Hamburg Wheel-Track Testing using Asphalt Pavement Analyzer (APA) for different compositions of asphalt mixtures. The results show the influence of the characteristics of the mixture in the performance by moisture susceptibility.

Palabras clave: Deformación permanente, fatiga, desgranamiento, APA (Analizador de pavimentos; APA por sus siglas en inglés), SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavements), Reología, módulo dinámico.

1. Introducción

En la mezcla asfáltica la presencia de agua entre el agregado y el asfalto generan la pérdida de adherencia o el desprendimiento entre éstos. Existen varios factores que ocasionan el desprendimiento como lo son las características del agregado y del asfalto, las condiciones ambientales, el tránsito, los procesos constructivos y las condiciones de drenaje. Durante muchos años se han diseñado las mezclas asfálticas con métodos como el Marshall y Hveem; sin embargo, éstos se consideran limitados en lo que respecta al análisis de desempeño de las mezclas. Como antecedente, tenemos que el método Marshall fue desarrollado por Bruce Marshall del departamento de carreteras de Mississippi en el año de 1939 y modificado por el Cuerpo de Ingenieros durante la segunda guerra mundial, para la construcción de las aeropistas. En 1987 el Congreso de los E.E.U.U. estableció el Programa de Investigación Estratégica de Carreteras (SHRP, por sus siglas en inglés) con la finalidad de desarrollar nuevas especificaciones para las mezclas asfálticas que estuvieran directamente relacionadas entre el desempeño en campo y su análisis en laboratorio, del cual, el producto final de dicha investigación es conocido como SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavements). Es así como se clasificó el grado de desempeño del cemento asfáltico (PG, por sus en inglés) de acuerdo con las propiedades visco-elásticas que ofrecen los cementos asfálticos, mismas que consideran envejecimientos a corto plazo (por producción) y a largo plazo (durante el periodo de servicio) con las que es posible evaluar la reología del cemento asfáltico bajo estas condiciones.

Los resultados que aparecen en este artículo corresponden a núcleos extraídos en diferentes puntos carreteros del Estado de México, para su análisis y dictamen

Para SUPERPAVE, el diseño de una mezcla asfáltica se debe realizar coordinadamente con la correcta selección del agregado pétreo, granulometría de diseño y cemento asfáltico que cubran las necesidades de cada proyecto. La prueba de susceptibilidad a la humedad por deformación permanente por medio de la rueda cargada de Hamburgo (HWT, por sus siglas en inglés) es un prueba con la cual se pretende conocer el desempeño de la mezcla asfáltica en condiciones saturadas a 50°C y bajo carga cíclica (20 000 pasadas). Los resultados que aparecen en este artículo corresponden a núcleos extraídos en diferentes puntos carreteros del Estado de México, para su análisis y dictamen.

2. Desarrollo

2.1 Muestreos

Se realizaron tres muestreos denominados a partir de este momento como M1, M2 y M3. El muestreo consistió en la extracción de núcleos sobre la superficie de pavimento con extractora

de “corazones” con broca de 4” y 6” de diámetro con la finalidad de realizar los ensayos Marshall y las pruebas de desempeño con el APA.

2.2 Caracterización de las mezclas

La caracterización de la mezcla asfáltica consistió en determinar el contenido de asfalto, análisis granulométrico, peso volumétrico de la mezcla compacta (Gmb), análisis volumétrico, estabilidad y flujo.

2.3 Prueba de desempeño

La prueba de susceptibilidad a la humedad por deformación permanente por medio de la rueda cargada de Hamburgo es una modificación a la rueda cargada de Georgia, la cual se desarrolló en un estudio conjunto entre el Departamento de Transporte de Georgia y el Instituto Tecnológico de Georgia en 1985. Su propósito principal era evaluar la resistencia a formación de la rodera en mezclas asfálticas en caliente y tras varios estudios se introdujo para evaluar la fatiga por la humedad en mezclas asfálticas. En la foto 1 se muestra el APA.

Para propósitos del estudio, el ensayo consistió en preparar cuatro núcleos cortando de manera transversal (16 mm del extremo a centro) cada núcleo y posteriormente colocarlos dentro los moldes de polietileno. La altura de cada núcleo se mantuvo entre 62 ± 2 mm, dichos cortes se realizan de manera precisa, de tal manera que no existan irregularidades en las paredes de la probeta que afecten en los resultados. El tiempo de la prueba es de 6 horas y 45 minutos aproximadamente, en el cual se deben cumplir las 20 000 ciclos o pasadas o mantener una deformación por debajo de los 10 mm. La temperatura del agua es de 50 ± 1 °C con una carga de 70 kg.



Foto 1. Analizador de Pavimentos Asfálticos.

Su propósito principal era evaluar la resistencia a formación de la rodera en mezclas asfálticas en caliente y tras varios estudios se introdujo para evaluar la fatiga por la humedad en mezclas asfálticas

3. Resultados

En la Tabla I se presentan las características de la mezcla asfáltica del muestreo I, dichos resultados se compararon con la información recopilada durante el desarrollo de las pruebas, la cual consistió en la entrega del diseño Marshall y las temperaturas de tendido durante el proceso constructivo. Los resultados obtenidos en laboratorio muestran diferencias considerables respecto a los resultados del diseño, ya que el porcentaje de contenido de cemento asfáltico y flujo se encuentra por arriba de lo requerido y esto a su vez se ve reflejado en la baja estabilidad. El porcentaje de compactación obtenido se considera ligeramente por debajo del 95%.

Características	M1	
	Resultados	Diseño
Peso Volumétrico (kg/cm ³)	2 093	2 235
Contenido de Cemento Asfáltico, (%)	8,2	7,66
Estabilidad, (kg)	728	1 322
Flujo, (mm)	8,9	3,5
Compactación	93,6%	

Tabla I. Características de la mezcla I.

Los resultados granulométricos de la mezcla se presentan en la figura I. Como se puede observar, existe poco material retenido en la malla No. 4 y poca aportación de gravas.

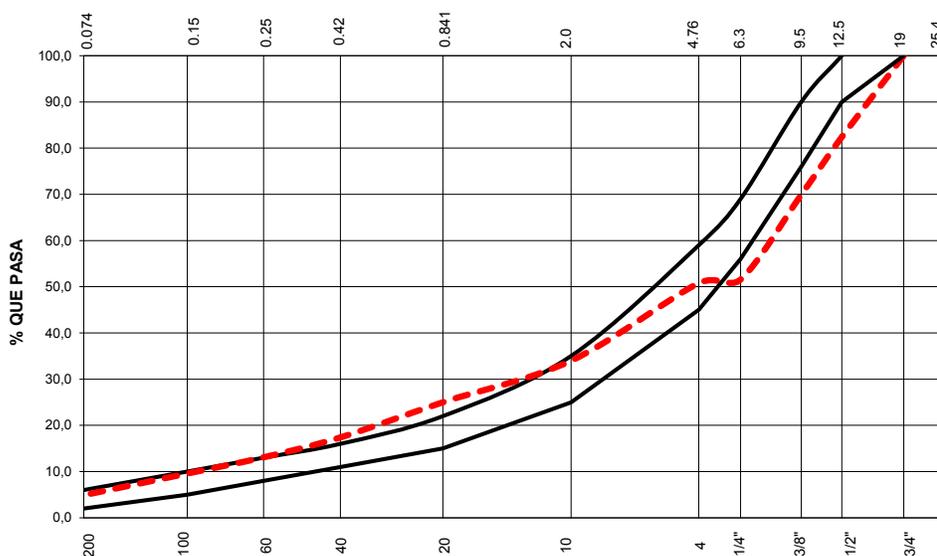


Figura I. Gráfica de composición granulométrica de la mezcla I.

Los resultados obtenidos en la mezcla 2 se consideran críticos debido al alto contenido de asfalto respecto al porcentaje reportado en el diseño, lo cual trae como consecuencia la baja estabilidad y el alto flujo obtenido. El porcentaje de compactación alcanzado es del 88,2%, muy por debajo del 95%.

Características	M2	
	Resultados	Diseño
Peso Volumétrico (kg/cm ³)	2 029	2 300
Contenido de Cemento Asfáltico, (%)	9	7
Estabilidad, (kg)	1 154	1 518
Flujo, (mm)	8,8	2,5
Compactación	88,2%	

Tabla 2. Características de la mezcla 2.

Los resultados del análisis granulométrico reflejan que la mezcla es fina y por consecuencia demanda mayor contenido de asfalto como se muestra en la figura 2.

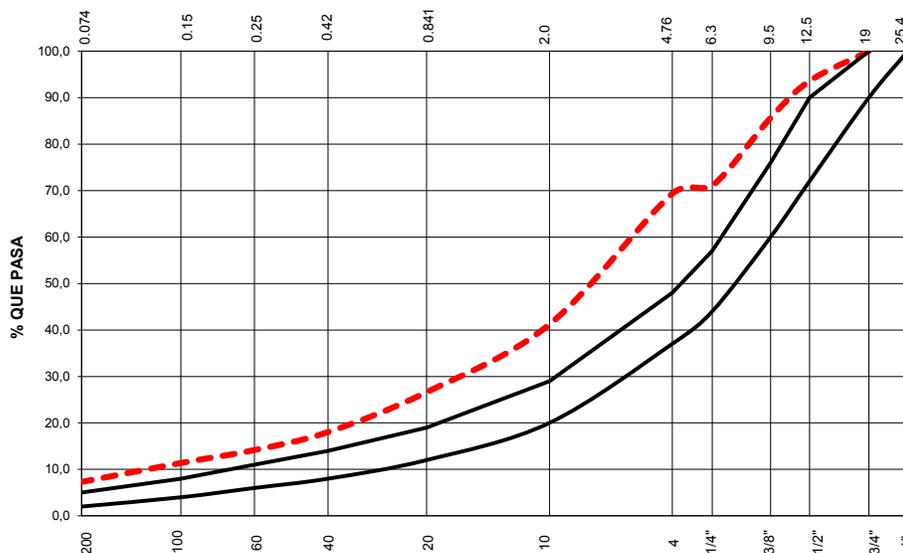


Figura 2. Gráfica de composición granulométrica de la mezcla 2.

Para el caso de la mezcla 3, el porcentaje de cemento asfáltico obtenido en laboratorio se asemeja al del diseño no así la estabilidad y flujo. El porcentaje de compactación para este caso es del 97,4%. Los resultados se presentan en la tabla 3.

Características	M3	
	Resultados	Diseño
Peso Volumétrico (kg/cm ³)	2 113	2 168
Contenido de Cemento Asfáltico, (%)	6,8	6,4
Estabilidad, (kg)	1135	1 572
Flujo, (mm)	9,4	3,0
Compactación	97,4%	

La pendiente de desgranamiento es un indicador del grado de severidad del daño por humedad. El punto de inflexión está relacionado con la resistencia de la mezcla por efecto de humedad

Tabla 3. Características de la mezcla 3.

En la figura 3 se muestra la composición granulométrica de la mezcla 3, en este caso se puede apreciar que la granulometría se desfasa de los límites permitidos por norma a partir de la malla No 4 (4,75 mm).

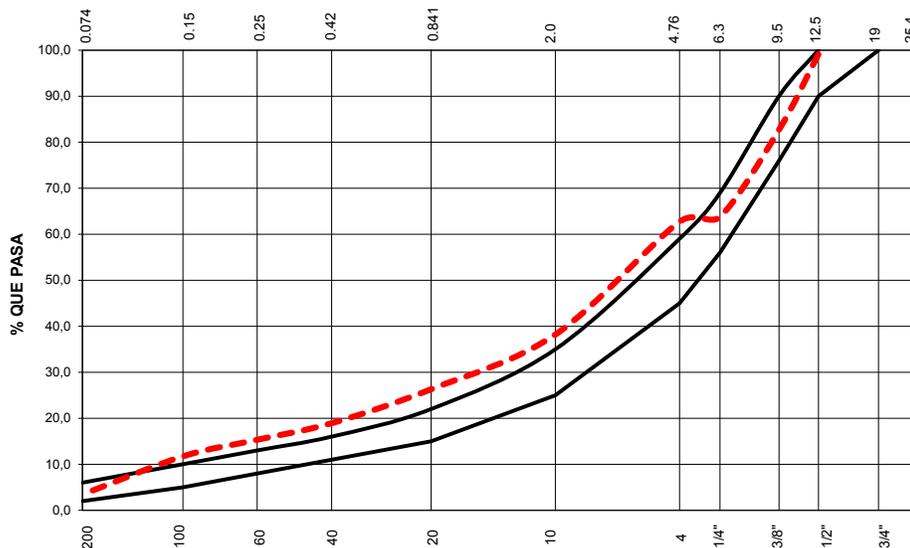


Figura 3. Gráfica de composición granulométrica de la mezcla 3.

La curva deformación-pasadas obtenida con la prueba de la rueda cargada de Hamburgo presenta tres puntos: Pendiente de rodera o pendiente de fluencia, punto de inflexión y pendiente de “desgranamiento”. La pendiente de rodera se presenta antes de que inicie la pendiente de desgranamiento. En esta zona es donde puede presentarse la deformación por rodera y el flujo plástico de la mezcla. La pendiente de desgranamiento es un indicador del grado de severidad del daño por humedad. El punto de inflexión está relacionado con la resistencia de la mezcla por efecto de humedad. En la figura 4 se presenta las diferentes fases de la curva.

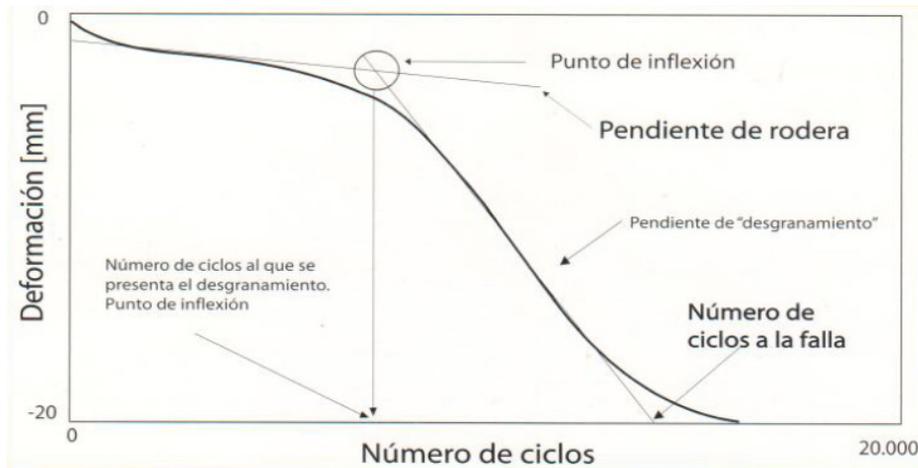


Figura 4. Gráfica esquemática deformación-pasadas (ciclos) por susceptibilidad a la humedad.

La gráfica deformación-pasadas de la mezcla I (figura 5) presenta sólo la tendencia al desgranamiento, esto se acentúa aún más en la línea derecha. El punto de inflexión no está completamente definido debido a la baja resistencia que ofrece la mezcla.

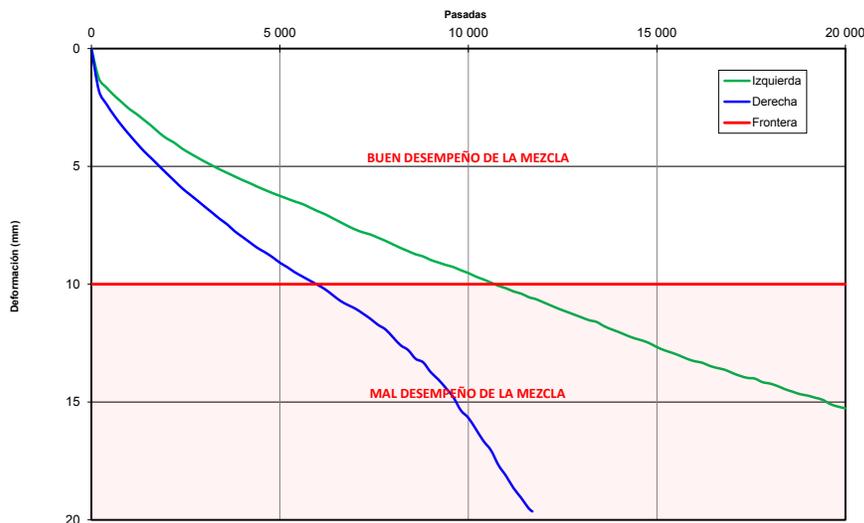


Figura 5. Gráfica deformación-ciclos de la mezcla I.

En la foto 2 se observan las condiciones en las que concluyó la mezcla I después de haberse sometido a la prueba de desempeño, en la cual se observa una deformación severa.



La mezcla 2 presenta zona de fluencia y poco después de las 10 000 pasadas llega a su punto de inflexión. Posteriormente se inicia el desgranamiento de la mezcla

Foto 2. Deformación y desgranamiento de la mezcla 1.

La mezcla 2 presenta zona de fluencia y poco después de las 10 000 pasadas llega a su punto de inflexión. Posteriormente se inicia el desgranamiento de la mezcla.

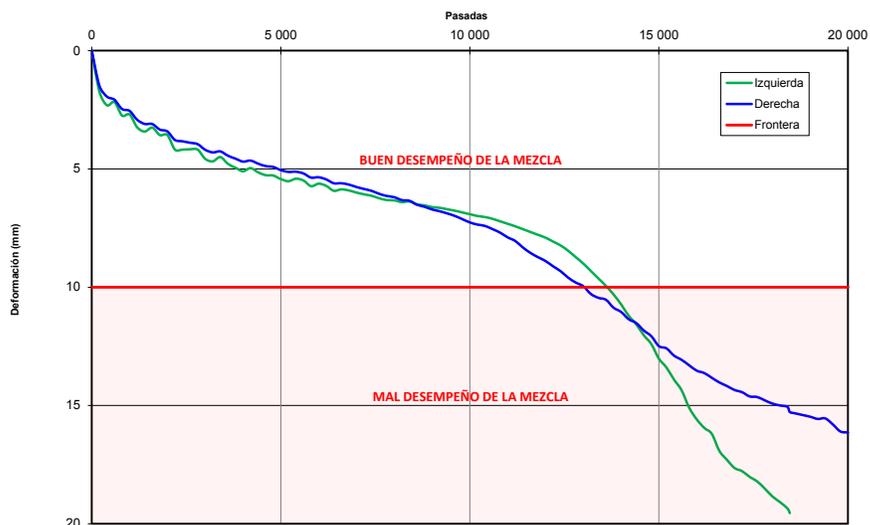


Figura 6. Gráfica deformación-ciclos de la mezcla 2.

En la Foto 3 se puede apreciar la influencia en la mezcla por fatiga y la fractura del agregado,asimismo se observa un reacomodo del agregado en la mezcla debido a la deformación.

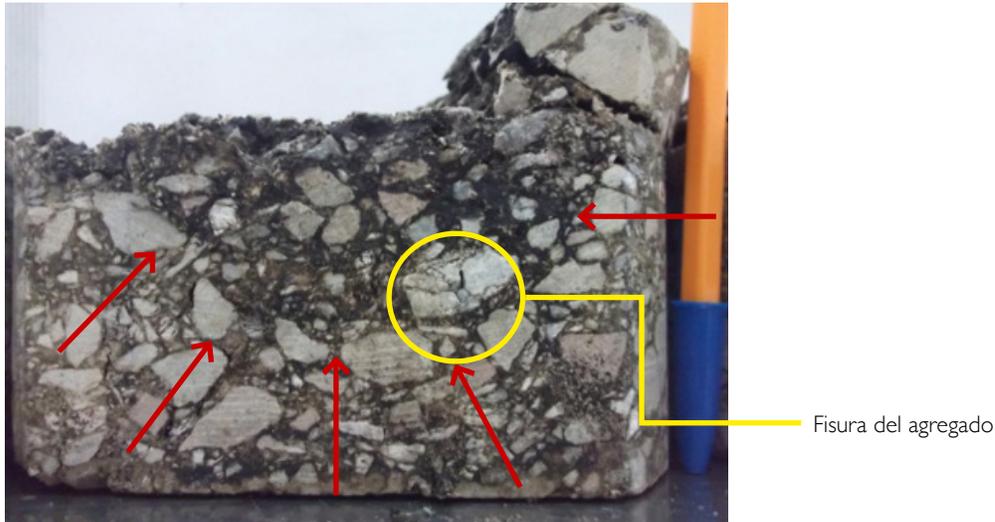


Foto 3. Fatiga de la mezcla 2 y presencia de fisura en el agregado.

Como se puede apreciar, el desempeño de la mezcla 3 presenta mejor comportamiento. En la figura 7 se observa que la deformación se mantuvo casi asintótica sin presentar punto de inflexión sin llegar a la fatiga, otorgando resistencia a la deformación.

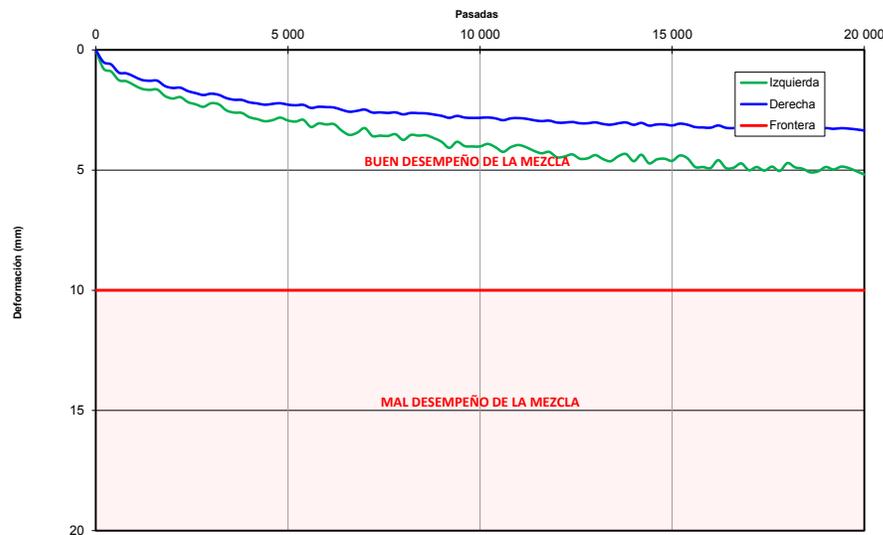


Figura 7. Gráfica deformación-ciclos de la mezcla 3.

En la foto 3 se observa la baja deformación de la mezcla 3 después de la prueba de desempeño sin presencia de fisuras en el agregado.



Foto 4. Desempeño aceptable en la mezcla 3.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir, en primera instancia, que el obtener un resultado satisfactorio en el diseño Marshall no garantiza que el desempeño de la mezcla a su vez sea satisfactorio. Si bien, el método Marshall es económico, ampliamente aceptado y hace énfasis en las importantes proporciones volumétricas de los componentes de la mezcla, que se presenten en rangos convenientes para producir una mezcla asfáltica durable, se debe tener muy presente que la compactación empleada en este método no es representativa de la ejecución en campo y que el parámetro de resistencia usado en este enfoque (estabilidad Marshall, carga – flujo) no estima en forma adecuada la resistencia al esfuerzo cortante de la mezcla.

En contraste, las pruebas de desempeño (rueda cargada de Hamburgo o prueba de rodera) permiten hacer una estimación más apropiada del comportamiento de la mezcla mediante pruebas que simulan las condiciones reales de servicio. Es por ello, que el principio básico de las pruebas de desempeño, es evaluar el comportamiento de una mezcla o carpeta asfáltica sin importar el método de diseño con la que se elaboró, para garantizar así el diseño y la construcción de pavimentos de concreto asfáltico que sean adecuados para las solicitaciones de tránsito, temperatura y humedad, es decir, pavimentos con mejor calidad y comodidad para el usuario.

Por otra parte, se puede apreciar que contenidos excesivos de asfalto impactan en el desempeño de la mezcla (mezcla 1 y 2) aun cuando está presente una adecuada distribución granulométrica en su agregado (mezcla 1).

El obtener un resultado satisfactorio en el diseño Marshall no garantiza que el desempeño de la mezcla a su vez sea satisfactorio

Es probable que controlando el porcentaje de compactación de la mezcla durante el proceso constructivo contribuya a un buen desempeño, lo que favorece a evitar deformaciones mayores en la mezcla. Sin embargo, éste no se deberá de considerar como garantía para el buen desempeño, ya que como se mencionó en un inicio, existen varios factores que influyen para el buen comportamiento de la mezcla. Para subrayar esta situación se puede mencionar el caso de una mezcla con agregado de buena calidad, buena distribución de tamaños, pero parcialmente triturado (con partículas redondeadas). Aun cuando sea adecuadamente compactado en campo, una mezcla con esta condición siempre será susceptible a presentar roderas (baja resistencia a los esfuerzos cortantes) debida a la falta de trabazón entre las partículas.

El principio básico de las pruebas de desempeño, es evaluar el comportamiento de una mezcla o carpeta asfáltica sin importar el método de diseño con la que se elaboró

A su vez y por lo mencionado en el párrafo anterior, se puede concluir que la granulometría no es necesariamente un factor determinante que contribuye en el buen desempeño o mal desempeño de la mezcla, ya que la granulometría de la mezcla 1 y 3 presentaron ligeras variaciones dentro de los límites granulométricos permitidos por la norma SCT y presentaron comportamientos muy distintos.

Existe una gran diversidad de aditivos que modifican las propiedades reológicas del cemento asfáltico, agentes promotores de adherencia y observadoras de tensión

Para el diseño de una mezcla asfáltica por metodología SUPERPAVE, es indispensable realizar la compactación de las probetas con un compactador giratorio (SGC, por sus siglas en inglés). Este equipo permite conocer con cierta facilidad y rapidez el contenido óptimo de asfalto para una mezcla y su progreso de compactación (altura – Gmb y giros – Gmb).

Por otro lado, seleccionar el tipo de cemento asfáltico para la elaboración de la mezcla es un factor muy importante para su buen desempeño. Para esto, existe una gran diversidad de aditivos que modifican las propiedades reológicas del cemento asfáltico, agentes promotores de adherencia y observadoras de tensión, cuyo correcto uso cubren las deficiencias de los agregados pétreos de la zona y otorgan mayor vida esperada a la mezcla asfáltica, absorbiendo temperaturas extremas para cada necesidad.

Como conclusión final de este documento se hace la reflexión sobre la importancia de emplear nuevas metodologías de diseño, como lo es el SUPERPAVE, en la cual se hace una revisión minuciosa de los componentes de la mezcla asfáltica, de su otorgamiento volumétrico, gravimétrico y se evalúan de mejor manera las condiciones reales mediante pruebas como son susceptibilidad a la humedad, de desempeño, módulo dinámico y fatiga.

Referencias

Antecedentes del diseño y análisis de mezclas asfálticas de Superpave (1994). Asphalt Institute.

Hamburg Wheel-Track testing of compacted hot-mix Asphalt. AASHTO T324-04.

Susceptibilidad a la humedad y a la deformación permanente por rodera con el analizador de rueda cargada de Hamburgo (HWT), en una mezcla asfáltica compactada. Recomendación AMAAC RA 01/2011.

The Asphalt Handbook. Asphalt Institute MS-4 7th Edition.

Tim R. Murphy, P.E. and Ross A. Bentsen, P.E. Marshall Mix Design. Humboldt