

ESTUDIO DE DEFORMACIONES PLÁSTICAS PERMANENTES (RUTTING) EN MEZCLAS ASFÁLTICAS ELABORADAS CON MATERIALES DE LA ZONA NORESTE DE MÉXICO MEDIANTE LA MÁQUINA DE PISTA (WHEEL TRACKING)

STUDY OF RUTTING IN ASPHALT MIXTURE MADE WITH MATERIALS FROM NORTHEAST ZONE OF MEXICO EVALUATED THROUGH TRACKING MACHINE

Por / By Carlos Humberto Fonseca

Resumen

Los pavimentos de calles y carreteras de México han sido tradicionalmente pavimentos asfálticos o flexibles. Las mezclas asfálticas, con las que se construye en la zona noreste del país, como en los estados de Nuevo León, Coahuila, San Luis Potosí y Tamaulipas, están sujetas tanto a temperaturas extremas como a cargas del tránsito que aumentan en frecuencia e intensidad, son fabricadas con materiales asfálticos no adecuados para la zona y el diseño o dosificación se hace con el ensayo Marshall únicamente. Lo anterior ha dado lugar a la aparición temprana y frecuente de deformaciones plásticas permanentes (rutting), deterioro de pavimentos asfálticos que ha elevado el costo de los usuarios por transitar sobre estos pavimentos y por consecuencia deterioro de nuestra macroeconomía. El objetivo de este trabajo de investigación, es estudiar cómo los diferentes materiales, tanto por su calidad como por su cantidad, pueden atenuar en el tiempo las deformaciones plásticas permanentes en las mezclas asfálticas dentro del entorno mencionado. Por tal motivo, en el Laboratorio de Materiales Asfálticos de Ingeniería Civil, del ITESM, Campus Monterrey, primero, se desarrolló una Máquina de Pista (Wheel Tracking) que simula la acción del tránsito sobre mezclas asfálticas ya diseñadas, y segundo, se propuso una metodología de ensayo para evaluar las deformaciones plásticas permanentes empleando este equipo. Empleando la máquina de Pista y la metodología como un complemento al método Marshall, se pueden lograr diseños las mezclas asfálticas más resistentes a este deterioro que tanto afecta a nuestros pavimentos asfálticos.

Palabras claves: *Deformación plástica permanente, maquina de pista, asfaltos modificados, fibra sintéticas, mezclas densas y abiertas.*

Abstract

Keywords: *Rutting, wheel tracking machine, modified asphalt, synthetic fiber, dense and open graded mixtures.*

1. INTRODUCCIÓN

Las carreteras nacionales y calles de ciudades con altos niveles de tránsito y con alta intensidad de cargas se han construido tradicionalmente con pavimentos asfálticos (pavimentos flexibles). En los últimos cinco años se inició la construcción de tramos carreteros con pavimentos de concreto hidráulico (pavimentos rígidos), de los cuales se tiene a la fecha alrededor de 1,600 kilómetros carril, pero este tipo de pavimento no presenta deterioro como las deformaciones plásticas permanentes. A priori es una alternativa para solucionar este problema, sin embargo, existen otros aspectos que hay que considerar para poder decidirse por este tipo de pavimentos, ya que en ciertas condiciones de trabajo pueden presentar desventajas frente a los pavimentos asfálticos.

En los estados de la zona noreste de la República Mexicana se tiene dos condiciones de trabajo que intervienen significativamente en el desempeño y durabilidad de los pavimentos asfálticos en el período de servicio, éstos son:

- a) Al ser la zona noreste de México la que colinda con uno de los estados más fuertes económicamente de los Estados Unidos de Norteamérica: Texas, uno de los mayores flujos terrestres de mercancías en territorio nacional se da por las carreteras de los estados de Nuevo León, Tamaulipas y Coahuila. A esto se le pueden sumar los viajes terrestres de mercancías generados y atraídos por ciudades importantes del país como son las capitales de los tres estados. Monterrey, Ciudad Victoria y Saltillo, respectivamente. Y por último, los viajes terrestres de mercancías entre estas capitales y las otras ciudades, no menos importantes en cada estado. Esto da lugar a la acumulación de muchas cargas pesadas las cuales actúan sobre los pavimentos de estas carreteras.
- b) Las temperaturas del aire en diferentes épocas del año, de las que se tienen registros en estos estados, hacen que la diferencia entre los valores extremos o gradientes de temperaturas sean muy grandes, ya que se tienen registros de temperaturas en estaciones frías de 12 °C bajo cero y en estaciones calurosas de hasta 47°C. Al ser los cementos asfálticos materiales viscoelásticos, susceptibles a los cambios de temperaturas, esto da lugar a comportamientos muy diferentes de acuerdo a la época del año.

Uno de los deterioros más frecuentes en los pavimentos asfálticos de las calles y carreteras de estas zonas del país, potenciado por las condiciones de trabajo mencionadas y por otros factores, son las deformaciones plásticas permanentes (rutting). Estos otros factores son los siguientes:

- a) La canalización de las cargas pesadas en los carriles de alta intensidad de tráfico.
- b) Las zonas de ascenso en las cuales se tiene una alta duración de la aplicación de la carga. Esto es debido a las bajas velocidades del tráfico pesado ascendiendo.
- c) Empleo de cementos asfálticos blandos (penetración 80/100) en la dosificación de la mezcla asfáltica.
- d) Dosificación de la mezcla asfáltica con contenido de cemento asfáltico mayores al óptimo necesario para las condiciones de trabajo y granulometrías.
- e) Empleo de mezcla asfáltica con vacíos muy bajos o casi cero.
- f) Proceso de compactación defectuoso mediante el cual no se logró la densidad requerida de diseño, esto hace que parte de la deformación permanente sea producto del proceso de pos compactación proporcionado por el tránsito.

Una de las consecuencias de contar con estos deterioros en los pavimentos de la región es que el índice de accidentes automovilísticos en las zonas donde son más acusadas se incrementa, dado que las roderas dejan atrapada el agua formándose una película tal que el fenómeno de hidroplaneo se presente a altas velocidades. Por otro lado, las maniobras de cambios de carril para rebasar pueden realizarse de forma insegura por la fuerte irregularidad superficial en sentido transversal, exponiendo al vehículo y al usuario a situaciones peligrosas y que incrementan el costo del usuario al transitar por caminos con estas características funcionales.

2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVO DEL PRESENTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.

El presente trabajo fue desarrollado en el Laboratorio de Materiales Asfálticos del Departamento de Ingeniería Civil del Campus Monterrey, por Quintana (1998), en su tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Civil con acentuación en Ingeniería y Administración de la Construcción, y dirigido por el autor de este escrito.

Dentro de los alcances del presente trabajo de investigación, se planteó desde un inicio el antecedente de los pavimentos de la región, los cuales presentan fuertes deformaciones plásticas permanentes por el mal diseño de las mezclas asfálticas y por el empleo de materiales inadecuados para la zona en su fabricación. De acuerdo con este planteamiento, se atribuye el fenómeno de las deformaciones plásticas permanentes a la falta de resistencia de la carpeta asfáltica exclusivamente, ya que dentro de la estructura de un pavimento flexible existen capas de base y subbase, las cuales pueden presentar una capacidad de soporte o capacidad estructural muy baja para resistir cargas del tránsito pesado, dando lugar a

la generación de roderas desde la parte inferior del pavimento. Ver Figura 1. Este último aspecto no se consideró dentro de los alcances del presente trabajo de investigación.

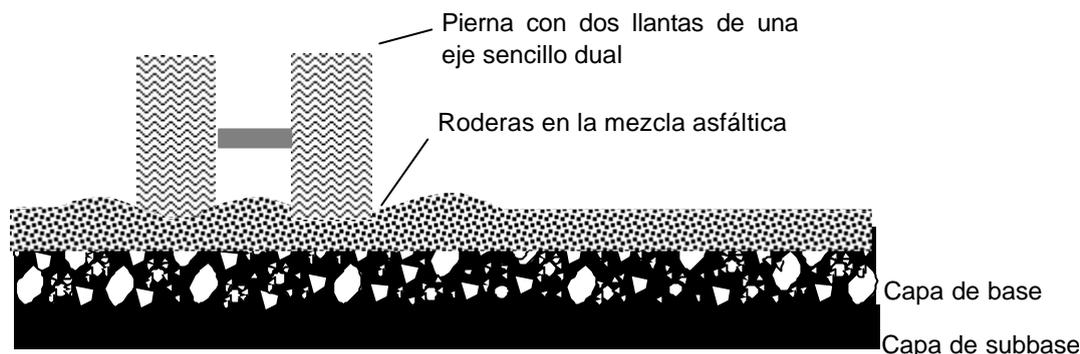


Figura 1. Esquema de la estructura de un pavimento flexible con roderas en la mezcla asfáltica.

Siguiendo las normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, las mezclas asfálticas empleadas en los pavimentos flexibles de la región son diseñadas por el método Marshall. Con base en la experiencia local y de muchos países, es un método empírico que no garantiza el diseño de una mezcla con buena resistencia a las deformaciones plásticas permanentes. Esta situación generó la necesidad de desarrollar un equipo que pudiera reproducir o simular las condiciones de trabajo de la mezcla, carga y temperatura, y estudiar la influencia de diferentes parámetros en el desarrollo de este deterioro con el fin de poderlos controlar en el diseño de la mezcla asfáltica. Como resultado de una exhaustiva investigación bibliográfica y pensando en un método de ensayo que fuese complementario al método Marshall, se desarrolló un prototipo en el Laboratorio de Materiales Asfáltico de una Máquina de Pista (Wheel Tracking) con la que se realizó el presente trabajo. Es importante mencionar la falta de recursos económicos con los que se contó para el trabajo ya que el equipo fue inicialmente financiado por el autor y se recurrió a piezas usadas para su fabricación.

Al ser la Máquina de Pista un modelo a escala en el laboratorio, permite obtener datos que tienen mayor confiabilidad que los que se obtienen con ensayos convencionales, sin embargo, es importante que los resultados del comportamiento de mezclas asfálticas obtenidos con este método presenten una buena correlación con los resultados del comportamiento observado en tramos de prueba a escala real, de las mismas mezclas diseñadas bajo este método. Esto representa un paso siguiente dentro de esta línea de investigación sobre el cual se está trabajando y buscando apoyo. Ver Figura 2.

Por lo tanto, los objetivos que se formularon en este trabajo fueron:

- a) Presentar una alternativa de diseño de mezclas asfálticas empleadas en la construcción de los pavimentos flexibles del país, que como complemento a los métodos convencionales, considere en el diseño el estudio de la resistencia a las deformaciones plásticas permanentes.
- b) Estudiar experimentalmente la influencia de nuevos materiales y nuevas dosificaciones en el desarrollo de las deformaciones plásticas permanentes, como componentes de las mezclas asfálticas empleadas en la construcción de carpetas asfálticas.

3. MODELOS DE PREDICCIÓN DE DEFORMACIONES PLÁSTICAS PERMANENTES.

En la Tabla 1 desarrollada por el Strategic Highway Research Program, (SHRP-A-415, 1994) llevado a cabo en los Estados Unidos, se pueden observar los factores que afectan directamente a la aparición de deformaciones plásticas permanentes, los cuales pueden servir de guía para realizar estudios paramétricos cambiando el valor de ellos en el diseño de las mezclas asfálticas con el objetivo de incrementar la resistencia de las mezclas a las deformaciones plásticas permanentes.

Los modelos y ecuaciones empleadas por varios investigadores para determinar el comportamiento de mezclas asfálticas a las deformaciones plásticas permanentes se basan en ensayos de laboratorio que pueden ser simples o muy complejos y se caracterizan en los cuatro siguientes tipos:

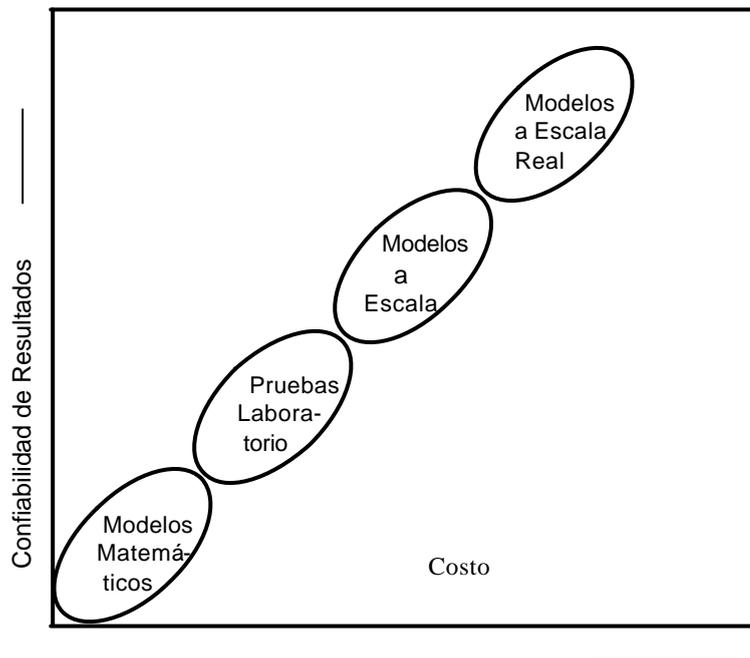


Figura 2. Esquema de confiabilidad contra costo en estudios de mezclas asfálticas.

- a) Ensayos de esfuerzos uniaxial
Se ensayan especímenes cilíndricos sin confinar para evaluar el flujo bajo la acción de cargas repetidas o dinámicas.
- b) Ensayos de esfuerzos triaxial.
Se ensayan especímenes cilíndricos confinados para evaluar el flujo bajo la acción de cargas repetidas o dinámicas.
- c) Ensayos diametral (brasileño).
Se ensayan especímenes cilíndricos para evaluar el flujo bajo la acción de cargas repetidas.
- d) Ensayos en máquinas de pista (wheel tracking).
Se ensayan especímenes tipo losa o una sección de un pavimento actual.

En 1977, Kirwan et al, (SHRP-A-415, 1994), emplearon el programa computacional DEFPAV el cual trabaja mediante el método de los elementos finitos con comportamiento no lineal y el método de deformaciones por capas. En este mismo año, Monismith et al, (SHRP-A-415, 1994), emplearon otro programa conocido como ELSYM el cual trabaja bajo la teoría elástica multicapas, al igual que el programa BISAR y ORN093, (SHRP-A-415, 1994).

Tabla 1. Factores que afectan el desarrollo de las deformaciones plástica en mezclas asfálticas. Referencia , (SHRP -A-415, 1994).

	Factores	Cambios Del Factor	Efecto en la resistencia de la mezcla a las deformaciones plásticas permanentes
Agregados Pétreos	Textura en la Superficie	De lisa a rugosa	Incrementa
	Granulometría	De abiertas a cerradas	Incrementa
	Forma del Agregado	De redondo a angular	Incrementa
	Tamaño del Agregado	Incrementar el tamaño	Incrementa
Cemento Asfáltico	Rigidez ^a	Al incrementarse	Incrementa
Mezcla Asfáltica	Contenido de Cem. Asf.	Al incrementarse	Decrece
	Contenido de Vacíos ^b	Al incrementarse	Decrece
	VAM ^c	Al incrementarse	Decrece
	Mét. de Compactación	D	d
Ensayos o Condiciones de campo	Temperatura	Al incrementarse	Decrece
	Estado Esfuerzo/Deform.	Al incrementarse la presión de inflado	Decrece
	Repetición de Cargas	Al incrementarse	Decrece
	Agua	De seco a húmedo	Decrece si la mezcla es sensible al agua

^a Se refiere a la rigidez a temperatura a la cual las deformaciones plásticas son determinadas. Los modificadores incrementan la rigidez a temperaturas críticas reduciendo las deformaciones plásticas permanentes.

^b Cuando el contenido de vacíos es menor al 3%, la resistencia a deformaciones plásticas se incrementa.

^c Se refiere a tener vacíos en el agregado pétreo, VAM, mayores al 10%.

^d El sistema de compactación en el laboratorio o en campo puede influir en las deformaciones plásticas del sistema.

De los ensayos denominados máquinas de pista (wheel tracking), en 1986 Bonnot, (SHRP-A-415, 1994) diseñó un equipo para los Laboratorios de Puentes y Carreteras en Francia el cual fue empleado para determinar las deformaciones plásticas permanentes en elementos prismáticos de mezclas asfálticas en el laboratorio. Se puede mencionar también la máquina de pista de Hamburgo, Alemania, con la cual se ensayan mezclas a 50°C y dependiendo de su uso, las deformaciones plásticas permitidas a los 20,000 ciclos deben de estar entre 2.5 y 4.0 milímetros. En el estado americano de Colorado se realizaron varios ensayos en 1993, con diferentes equipos y los resultados mostraron que la máquina de pista de Hamburgo tenía mejor correlación entre los resultados de campo y los del laboratorio.

Recientemente, en el estado de Georgia se diseñó una máquina de pista conocida como “Georgia Loaded Wheel Tester” , (Oliver, Jameson, Sharp, 1997; Shami, Lai, D’ Angelo, Harman, 1997), con la cual se han diseñado mezclas resistentes a las deformaciones plásticas permanentes. Como estos casos existen versiones de máquinas de pista en varios países las cuales son empleadas en el diseño y control de mezclas asfálticas, entre ellas se puede mencionar la versión española, (Fonseca, 1995), la diseñada en la Universidad de Purdue Indiana, (Coree, 1997), Nottingham, , (SHRP-A-415, 1994), etc.

Como parte del presente trabajo y siendo una línea de investigación del Laboratorio de Materiales Asfálticos del Departamento de Ingeniería Civil del Campus Monterrey, ITESM, se desarrolló un prototipo de máquina de pista la cual se muestra en la Figura 3. En trabajos de laboratorio, con ella se han evaluado deformaciones plásticas permanentes en

diferentes mezclas asfálticas, sin que estos resultados tengan correlación con mediciones de deformaciones plásticas permanentes hechas en campo. Lo anterior se debe al poco apoyo de parte de autoridades gubernamentales para financiar proyectos en esta línea. Como se muestra en la Figura 4, con la ITESM Wheel Tracking se mide para cada mezcla asfáltica la deformación δ (mm) en función del tiempo o número de pasadas de la rueda, la cual le transmite una presión controlada por el peso W .



Figura 3. Prototipo de máquina de pista.

4. METODOLOGÍA

El estudio realizado en varias mezclas asfálticas fue experimental y se realizó ensayando cada una de ellas mediante el nuevo dispositivo o máquina de pista. Al no existir una correlación entre los resultados de deformaciones plásticas permanentes de campo y los proporcionados por el método de ensayo, se realizó un estudio comparativo entre las diferentes mezclas, en las cuales se fueron cambiando diferentes factores que afectan la aparición de deformaciones en las mezclas.

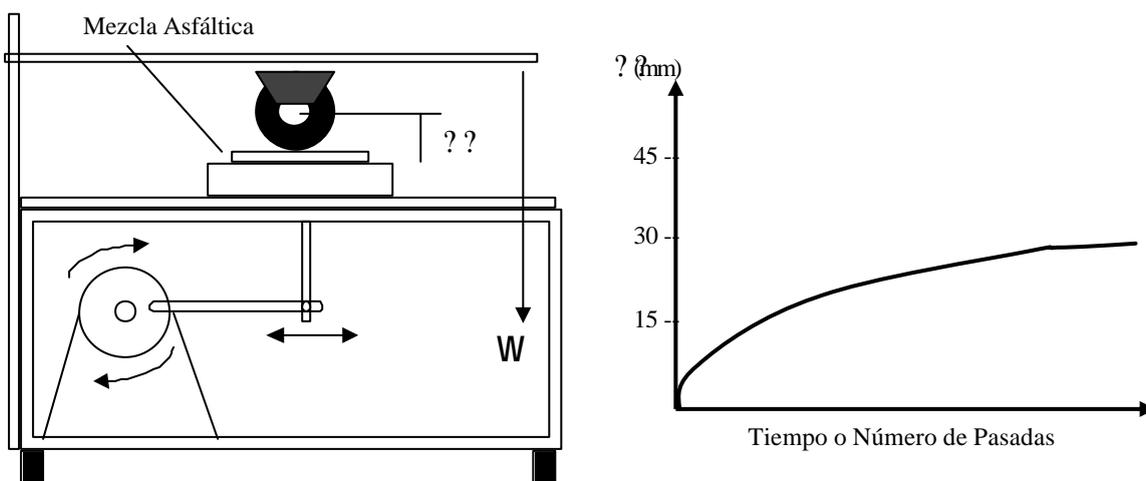


Figura 4. Croquis del funcionamiento y medición de la máquina de pista.

Como se puede apreciar en la Figura 5, el estudio experimental se llevó a cabo en dos tipos de mezclas asfálticas: densa y abierta, (Quintana, 1998). La primera de ellas tiene una granulometría que cumple con los husos granulométricos comúnmente empleados en el país, la segunda tiene una granulometría abierta, para buscar una mayor macrotextura que provea a los pavimentos de mayor fricción en la superficie de rodamiento. Para ambas mezclas se consideró el no usar fibras, usar fibra sekriil 210 (Pérez, Miro, 1992), en un 0.3% y usar fibra sekriil 900, (Pérez, Miro, 1992), en un 0.3% del peso del agregado seco. Para todas estas combinaciones se empleó cemento asfáltico convencional, CAN, y cemento asfáltico modificado, CAM, con el 2% de estireno butadieno estireno, SBS, en un contenido del 4% y 5% en peso del material pétreo seco.

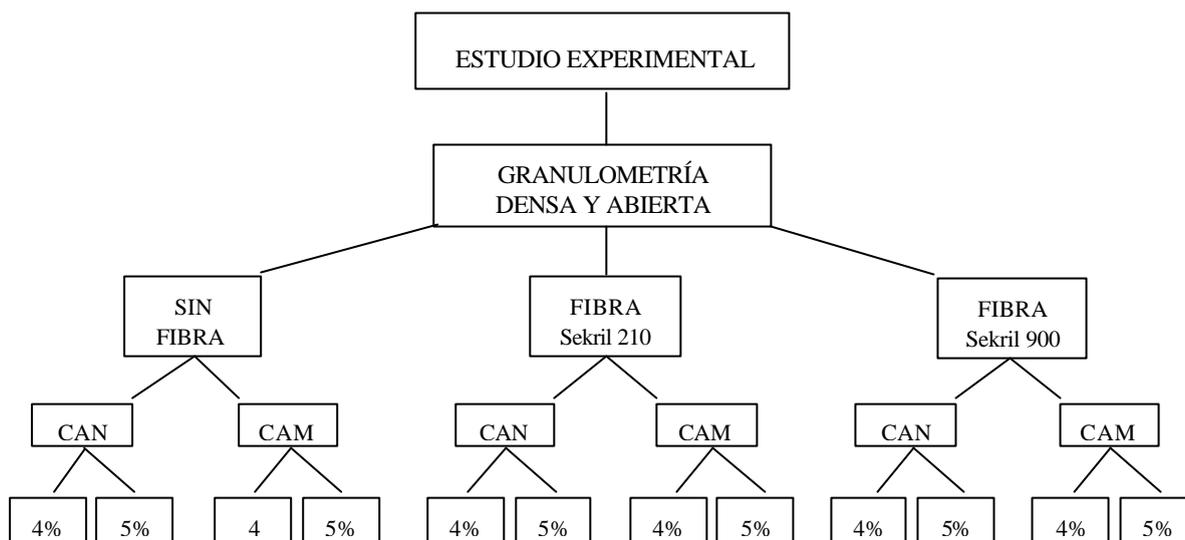


Figura 5. Esquema de las dosificaciones empleadas en el estudio. Referencia , (Quintana, 1998).

El número total de probetas prismáticas de 30x15x5 cm elaboradas fueron 48, debido a que se fabricaron 2 probetas para cada una de las dosificaciones indicadas en de la Figura 5. Del total, 24 probetas fueron de la mezcla densa y 24 probetas de la mezcla abierta. Para la identificación en el manejo de las probetas en el laboratorio se empleó una nomenclatura de 5 términos N-G-F-A-C, , (Quintana, 1998), los cuales significan:

N = Número de la probeta, que al fabricarse dos de cada dosificación, tomó los valores de (1) y (2). Al sacarse un promedio de las dos probetas, este término desaparece quedando los cuatro restantes con los que se identifican las dosificaciones y los resultados.

G = Granulometría densa, (D), o granulometría abierta, (A).

F = Tipo de fibra: (0) sin fibras, (2) 0.3% de fibra Sekriil 210 y (9) 0.3% de fibra Sekriil 900.

A = Tipo de cemento asfáltico: (C) convencional y (M) modificado con el 2% de SBS.

C = Contenido de cemento asfáltico: (4) el 4% y (5) el 5% del peso del material pétreo seco.

Se realizó un estudio Marshall para determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico obteniéndose para las dos granulometrías un contenido óptimo del 4% y se propuso estudiar un 1% más al contenido óptimo, 5%. Las granulometrías propuestas para este estudio se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Granulometrías empleadas en las mezclas asfálticas densa y abierta.

	Mallas ASTM	3/4	3/8	1/4	No. 4	No. 10	No. 20	No. 40	No. 60	No. 100	No. 200
Mezcla Densa	Husos	90-100	65-100	56-82	49-72	32-50	23-35	18-25	12.-20	9.-16	5.-10
	Granulometría	100	80	70	63	46	33	22	16	14	10
Mezcla Abierta	Husos	100	50-84	36-60	30-50	18-35	10.-24	6.-18	4.-13	3-8	2-6
	Granulometría	100	70	45	37	19	15	12	10	7	5

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos del ensayo en la máquina de pista para cada dosificación fueron dos y en los 24 casos se sacaron promedios dada la buena repetibilidad de los mismos y se obtuvieron gráficos de deformaciones plásticas permanentes en función del tiempo en minutos, como las que se muestran a manera de ejemplo en la Figura 6. Las deformaciones plásticas permanentes máximas promedio a los 60 minutos de ensayo para todas las dosificaciones se presentan en la Tabla 3.

Tanto de estos ejemplos, como de los resultados restantes y de los valores de la Tabla 3, la tendencia de los resultados del ensayo de la máquina de pista fue la esperada. En primera instancia se observó que al tener una mezcla asfáltica mayor porcentaje de vacíos en la mezcla, como el caso de las mezclas abiertas, son más susceptibles a las deformaciones. Otro aspecto que se puso en evidencia fue la influencia de la cantidad de cemento asfáltico que se le adiciona a la mezcla, al aumentarse se obtienen mezclas más deformables y menos resistentes a las deformaciones.

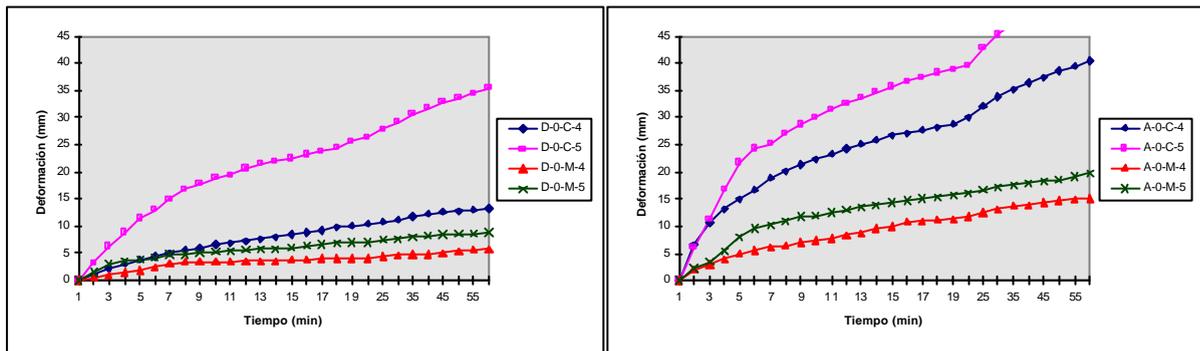


Figura 6. Ejemplos de los resultados obtenidos del ensayo de la máquina de pista. Referencia (Quintana, 1998).

En ambos tipos de mezclas también fue clara la influencia del polímero estireno butadieno estireno, ya que los asfaltos modificados con estos polímeros redujeron de forma sustancial y sistemática las deformaciones. Lo mismo se puede decir de la adición de las dos fibras consideradas en un 0.3% del peso seco del material pétreo, la fibra sintética sekril 210 y sekril 900 contribuyeron a disminuir considerablemente las deformaciones en las mezclas, y de ambas fibras, la primera fue la que presentó mejor comportamiento, o sea redujo aún más las deformaciones que la segunda fibra. Es importante hacer notar la capacidad de esta fibra de armar la mezcla, lo cual lo logra por sus propiedades morfológicas, ya que hablamos de una longitud de fibra de 12 milímetros y de diámetros de 15 micras (sekril 210) y 38 micras (sekril 900).

Como se mencionó, tanto el cemento asfáltico modificado con polímero, como las fibras sintéticas acrílicas reducen las deformaciones plásticas permanentes, sin embargo, hay que hacer notar de acuerdo a los resultados que los cementos modificados contribuyen más que las fibras a lograrlo.

Tabla 3. Deformaciones plásticas permanentes máximas promedios a 60 minutos de ensayo o 9,000 pasadas de la rueda para ambas mezclas asfálticas. Referencia (Quintana, 1998).

MEZCLA ASFÁLTICA DENSA			MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA		
Clasificación de la Mezcla	Deformación Plástica Permanente (mm)	Deformación respecto a la menor de todas (adimensional)	Clasificación de la Mezcla	Deformación Plástica Permanente (mm)	Deformación respecto a la menor de todas (adimensional)
D-0-C-4	13.272	2.55	A-0-C-4	40.450	3.44
D-0-C-5	35.306	6.78	A-0-C-5	54.864	4.67
D-2-C-4	10.605	2.04	A-2-C-4	32.893	2.80
D-2-C-5	20.955	4.02	A-2-C-5	34.608	2.95
D-9-C-4	12.891	2.48	A-9-C-4	31.306	2.66
D-9-C-5	21.844	4.20	A-9-C-5	36.068	3.07
D-0-M-4	5.715	1.10	A-0-M-4	15.177	1.29
D-0-M-5	8.827	1.70	A-0-M-5	19.622	1.67
D-2-M-4	5.207	1.00	A-2-M-4	11.748	1.00
D-2-M-5	8.636	1.66	A-2-M-5	12.954	1.10
D-9-M-4	6.033	1.16	A-9-M-4	14.415	1.23
D-9-M-5	10.287	1.98	A-9-M-5	14.859	1.26

Un dato muy importante que se muestra en la Tabla 3, es que tanto para la mezcla densa como para la mezcla abierta, la dosificación que presentó menor deformación plástica fue la que se fabricó empleando cemento asfáltico modificado con el 2% de polímero SBS, con un contenido del 4% en peso y con adición de fibra sekril 210 en un 0.3% en peso. El caso contrario lo presentan para ambas mezclas las que fueron fabricadas con dosificaciones que tienen un contenido de cemento asfáltico convencional del 5% en peso y sin fibras. Para ambas mezclas y todas las dosificaciones, en la columna 3 y 6 de la Tabla 3 se tienen el número de veces que la deformación plástica máxima promedio supera a la de menor valor.

6. CONCLUSIONES

Contar con un dispositivo como la máquina de pista, para estudiar las mezclas asfálticas empleadas en los pavimentos flexibles, con relación a su resistencia a las deformaciones plásticas permanentes y que a la vez sirva de complemento en el diseño que se realiza mediante el ensayo Marshall, es una alternativa muy buena, ya que se obtienen mezclas con características deseables y con mejor comportamiento. Con esto, se logra tener pavimentos más durables que dan un servicio en condiciones óptimas una mayor parte de su período de diseño, como consecuencia, se aumenta la comodidad y seguridad al transitar por ellos, los gastos de combustible disminuyen, el deterioro de los vehículos es menor, el comportamiento del conductor más adecuado y la calidad de vida de nuestras ciudades mejora considerablemente.

Mediante esta línea de investigación se puede tener a disposición una máquina de pista mediante la cual se puede evaluar la influencia de diferentes materiales como fibras, cementos asfálticos modificados con polímeros, granulometrías diferentes, etc., en la aparición de las deformaciones plásticas permanentes. Como ya se mencionó en discusión de los resultados, la máquina de pista desarrollada en el Laboratorio de Materiales Asfálticos del Departamento de Ingeniería Civil del Campus Monterrey proporciona resultados congruentes con los comportamientos esperados de las diferentes dosificaciones de mezclas asfálticas y es un equipo con una buena repetibilidad en los resultados.

De los trabajos realizados se concluye que es importante continuar trabajando en esta línea de investigación con la finalidad de poder establecer una buena correlación entre los resultados de diseño de mezclas en el laboratorio y los resultados de comportamiento de estas mismas mezclas en tramos de prueba.

Por otro lado, es importante considerar en los diseños de mezclas asfálticas el uso de cementos asfálticos modificados con polímeros. Como se observó en los resultados estos nuevos materiales mejoran las características mecánicas de las mezclas elevando la resistencia a deformaciones plásticas. Otra alternativa es el empleo de fibras sintéticas acrílicas con la cual se logran resultados similares, sin embargo, presentan el problema de incorporarlas a la mezcla de forma homogénea por un lado y por otro la adquisición y costo de las mismas puede representar un incremento muy fuerte en los costos definitivos de la alternativa.

7. REFERENCIAS

- COREE, B. J., AND BUTTON, J. W. (1997), Full-Scale Rutting of Large Stone Asphalt Mixtures. Transportation Research Record, Preprint paper No. 970471, 76th Annual Meeting.
- FONSECA RODRIGUEZ, C. H. (1995), Estudio de capas antifisuras para retardar el inicio y propagación de grietas en pavimentos flexibles y semirrígidos. Tesis Doctoral. E.T.S. de Ingenieros en Canales, Caminos y Puertos. Barcelona España.
- PEREZ JIMENEZ, F., MIRO RECANSES, R. (1992), “ Mejoras obtenidas en el comportamiento de las Mezclas Porosas Mediante la Incorporación de Fibras Acrílicas”. I Congreso Nacional de Firmes. Valladolid, España.
- OLIVER, J., JAMESON, G., SHARP, K., VERTESSY, N., JOHNSON-CLARKE, J., AND ALDERSON, A. (1997), An Evaluation of the Rut-Resistant Properties of Asphalt Mixes Under Field and Laboratory Conditions. Transportation Research Record, Preprint paper No. 970237, 76th Annual Meeting.
- QUINTANA AVILA, A. M. (1998), Evaluación de Mezclas Asfálticas Frente a Deformaciones Plásticas Permanentes Mediante el Ensayo de Pista en Laboratorio. Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Civil, ITESM, Campus Monterrey.
- SHAMI, H. I., LAI, J. S., D'ANGELO J. A., AND HARMAN, T. P. (1997), Development of Temperature Effect Model for Predicting Rutting of Asphalt Mixtures Using Georgia Loaded Wheel Tester. Transportation Research Record, Preprint paper No. 970761, 76th Annual Meeting.
- SHRP (1994), Strategic Highway Research Program, National Research Council. Permanent Deformation Response of Asphalt Aggregate Mixes. SHRP-A-415. Washington, DC.

Dr. Carlos Humberto Fonseca

Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Civil

ITESM, Campus Monterrey

Colonia Tecnológico, C.P. 64849

Monterrey, N.L., México

Professor of Civil Engineering Department

ITESM, Monterrey Campus

Colonia Tecnológico, C.P. 64849

Monterrey, N.L., México

cfonseca@campus.mty.itesm.mx