

Deformación plástica en capas asfálticas: evaluación en el laboratorio

MSC. MBA. Ing. Pedro
Castro Fernández
LANAMME

INTRODUCCIÓN

La deformación plástica en capas de concreto asfáltico es uno de los modos de deterioro más comunes en las estructuras de pavimento flexible en el medio costarricense. Dicho fenómeno se relaciona con la compresibilidad de la capa (consolidación ante las cargas) y/o con la carencia de resistencia al cortante (flujo plástico).

La consolidación en una capa asfáltica (reducción de volumen ante las cargas aplicadas) se refiere a una deficiencia volumétrica (elevado contenido de vacíos en la capa compactada), sea por carencia de energía de densificación o por una incorrecta dosificación de diseño (elevados contenidos de vacíos en los especímenes moldeados en el laboratorio se relacionan con la imposibilidad de lograr la compactación de campo apropiada, sin importar la cantidad y el peso de los rodillos que se apliquen en el proceso constructivo). El flujo plástico (desplazamiento de volumen ante la carga) se relaciona con la resistencia del esqueleto granulométrico y el mastique asfáltico (mezcla de ligante asfáltico y agregado muy fino, prácticamente polvo mineral).

Por tanto, la clave del éxito para el diseño de una mezcla asfáltica resistente a la deformación plástica se sustenta en dos criterios:

- Un diseño de mezcla con una adecuada volumetría (contenido de vacíos en la mezcla, evaluada en especímenes compactados en el laboratorio, y contenido de vacíos en el agregado mineral) y un conjunto de prácticas constructivas basadas en la sana práctica, permiten obtener un nivel de densificación en la capa compactada que no propicie la compactación diferencial por las cargas de tránsito o "consolidación".
- La modelación en el laboratorio de la aplicación de cargas de tránsito, en condiciones que favorecen la deformación plástica (altas temperaturas de servicio y altas presiones de inflado), permite evaluar la resistencia de la mezcla asfáltica a la consolidación y al flujo plástico.

Es por esto que las metodologías de evaluación de la

tendencia a la deformación plástica, en el laboratorio, se orientan a monitorear la deformación plástica progresiva, ante la aplicación de cargas repetidas, en condiciones controladas de temperatura, carga aplicada y presión de inflado. Adicionalmente, los mecanismos de modelación en el laboratorio se basan en una condición de esfuerzo constante, de manera que la carga sobre el espécimen de ensayo se mantiene constante mientras se monitorea la deformación asociada con cada carga repetida; la experiencia ha demostrado que la deformación plástica en capas asfálticas es simulada, de una manera más cercana a la realidad, en condiciones de esfuerzo constante.

A continuación se describen los dos equipos de evaluación de la susceptibilidad a la deformación plástica de mayor aplicación en Estados Unidos de Norteamérica.

EQUIPOS DE ENSAYO DE MAYOR APLICACIÓN ACTUALMENTE.

DISPOSITIVO DE ENSAYO EN PISTA A ESCALA DE LABORATORIO

La metodología de diseño volumétrico de mezcla Superpave y la caracterización de ligantes por grado de desempeño comenzaron a ser aplicadas con mucha anticipación respecto a la metodología Superpave para la evaluación del desempeño de la mezcla asfáltica dosificada según proporciones de diseño (deformación permanente, fatiga y agrietamiento térmico); es así como los dispositivos de ensayo en pista a escala de laboratorio ("wheel track") comenzaron a tomar vigencia, con respecto a la evaluación del potencial de deformación permanente en la mezcla asfáltica.

Dicho auge se relaciona con el desarrollo conceptual de mezclas asfálticas con mayor resistencia a la deformación plástica (mejor volumetría, estructuras granulométricas con mayor fricción interna y mastique asfáltico de mayor resistencia a la deformación permanente y la necesidad de evaluar dicho aspecto de una forma directa en el laboratorio. Los ensayos de deformación permanente de Superpave fueron concebidos en paralelo con el desarrollo de modelos de desempeño, para correlación del diseño de mezcla y el diseño estructural (selección de espesores de capa), de manera que su validación formal ha requerido más tiempo y su uso se vio restringido inicialmente, por la carencia de un criterio de especificación.

Muchos fabricantes de equipos de laboratorio ofrecen los dispositivos de ensayo en pista a escala

de laboratorio, de los cuales algunos pueden ser operados con control de temperatura y con las muestras inmersas en agua, lo cual permite adicionalmente mover la aplicación de un ensayo de evaluación de susceptibilidad a la humedad.

Este dispositivo de ensayo fue desarrollado a lo largo de los últimos 15 años en Europa (Francia y Alemania). En los Estados Unidos ha tenido desarrollo en el estado de Georgia, a partir de 1985.

Su principal uso es para una evaluación comparativa de diversos tipos de mezclas, con el propósito de identificar a la que presenta menores probabilidades de experimentar deformación plástica.

El dispositivo de ensayo en pista a escala de laboratorio de Georgia ha dado origen al Analizador de Mezclas Asfálticas (APA), que se describe a continuación. El APA funciona para evaluar no sólo deformación permanente, sino que también permite aplicar ensayos para agrietamiento por fatiga y susceptibilidad a la humedad, para mezclas preparadas en caliente y mezclas preparadas en frío.

El APA funciona con temperaturas de operación entre 30°C y 70°C, con una presión de inflado hasta de 0.84 MPa, y una capacidad de carga aplicada de hasta 1.18 kN.

Se aplica tanto en especímenes rectangulares como en especímenes cilíndricos (preparados, por ejemplo, con un compactador giratorio Superpave); pudiendo evaluarse simultáneamente un total de seis especímenes cilíndricos o tres especímenes rectangulares, o una combinación de ambos.

El dispositivo permite obtener una medida de la profundidad de rodadura (depresión plástica) causada por cada ciclo de carga aplicada.

Su aplicación en los estados de Georgia y Florida ha arrojado resultados satisfactorios en cuanto a la clasificación de mezclas asfálticas con respecto a su resistencia a la deformación permanente. En varios proyectos se ha comparado el desempeño en campo de diversas mezclas, con el desempeño en el laboratorio al ser evaluadas con el APA, existiendo una correspondencia en cuanto a la mezcla de mejor desempeño, la segunda mejor, la tercera mejor, etc. En el estado de Georgia existe una especificación de aceptación por deformación permanente, para la mezcla asfáltica, con base en el ensayo respectivo por medio del APA.

DISPOSITIVO DE CORTANTE DE SUPERPAVE(SST).

A partir de la aplicación de diferentes mecanismos

de falla, el SST permite determinar magnitudes mecánicas (esfuerzos y deformaciones), que se transforman, mediante modelos de desempeño, en capacidades de resistencia a la deformación plástica y al agrietamiento por fatiga.

Está integrado por cuatro componentes: a) dispositivo de ensayo (marco de carga), b) unidad de control y adquisición de datos, c) cámara de control ambiental (1°C a 80°C), y d) sistema hidráulico.

El marco de carga es de alta rigidez y poca fricción, de manera que se pueden medir con precisión, deformaciones pequeñas en las direcciones axial, horizontal y radial, en especímenes cilíndricos. La carga máxima que se puede aplicar en la dirección axial es 32 kN; la presión confinante máxima que se puede obtener es 840 KPa (en un medio de aire). El sistema de aplicación de carga se retroalimenta con las mediciones de deformación generadas, de manera que es factible aplicar las cargas requeridas con un alto grado de precisión.

Los ensayos que se pueden realizar con el SST se describen en la Tabla No. 1. Los resultados generados permiten caracterizar la reología de las mezclas asfálticas en términos de respuesta elástica, respuesta visco-elástica, respuesta plástica y falla.

Los especímenes de ensayo son compactados por medio del compactador giratorio SUPERPAVE (SGC). Tienen un espesor de 50 mm, con un diámetro de 150 mm; dos muestras se obtienen al cortar los especímenes estándar compactados (altura de 110mm a 120 mm).

Descripción de métodos de prueba:

- Ensayo volumétrico. Se realiza a tres temperaturas, con una presión confinante específica para cada temperatura (los ensayos a menor temperatura requieren mayor presión confinante). La presión confinante se va incrementando hasta llegar a un máximo, para luego decrecer hasta llegar a un mínimo. Se mide la



Figura 1: Dispositivo de ensayo en pista a escala de laboratorio, Analizador de Mezclas Asfálticas (APA).

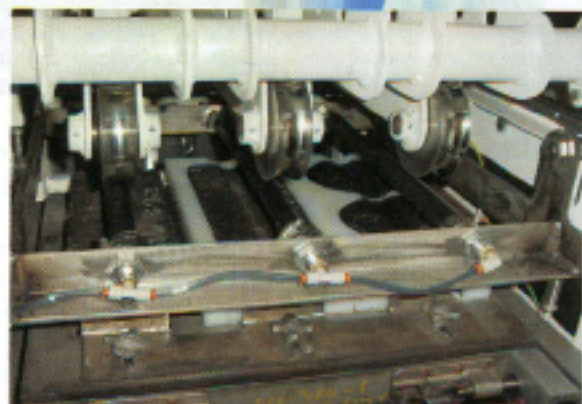


Figura 2: Ensayo de deformación permanente en Analizador de Mezclas Asfálticas (APA).

deformación unitaria en la dirección radial.

• **Ensayo de deformación uniaxial.** Se realiza a tres temperaturas, con tres niveles de esfuerzo axial y presión confinante (con el propósito de mantener la dimensión de la circunferencia del espécimen del ensayo). Se mide la presión confinante requerida y la deformación unitaria axial.

• **Ensayo de repetición de cortante con tasa de esfuerzo constante.** Se realiza a una temperatura específica (seleccionada en función de la condición crítica de deformación plástica en el sitio del proyecto, con contenidos altos de asfalto (tales que el porcentaje de vacíos en los especímenes

nivel de diseño de mezcla, el nivel 2 requiere la evaluación a una única temperatura efectiva para deformación permanente y otra para fatiga, mientras que el nivel 3 requiere la aplicación de tres temperaturas. Se utiliza un nivel de esfuerzo cortante controlado (constante); simultáneamente se aplica un esfuerzo axial para mantener la altura del espécimen. Se registra la deformación unitaria al cortante.

• **Barrido de frecuencia con altura constante.** La(s) temperatura(s) de ensayo depende(n) del nivel de diseño de mezcla, el nivel 2 requiere la evaluación a una única temperatura efectiva para deformación permanente y otra para fatiga, mientras que el nivel 3 requiere la aplicación de tres temperaturas. Se aplica un esfuerzo cortante cíclico, de forma senoidal, de manera que se genera un nivel de deformación unitaria controlada (constante). Se aplican 100 ciclos de carga, utilizando diferentes frecuencias; además se aplica un esfuerzo axial para mantener constante la altura del espécimen.

Nota: en los casos donde se aplican tres diferentes temperaturas de ensayo, se utilizan 4°C, 20°C y 40°C, es decir, temperaturas intermedias altas (falta por fatiga) y temperaturas altas (falta por deformación plástica).

Prueba	Nivel de diseño de mezcla	Propósito
Volumétrica (*)	Niveles 2 y 3	Evaluación de deformación plástica y agrietamiento por fatiga
Deformación uniaxial (*)	Niveles 2 y 3	Evaluación de deformación plástica y agrietamiento por fatiga
Repetición de cortante con tasa de esfuerzo constante	Niveles 2 y 3	Identifica mezclas que tienden a la deformación plástica acelerada hacia el final de la vida útil (flujo plástico)
Repetición de cortante con altura constante Cortante simple con altura constante	No para diseño de mezcla	Evaluación de deformación plástica Evaluación de deformación plástica y agrietamiento por fatiga
Barrido de frecuencia con altura constante	Niveles 2 y 3	Evaluación de deformación plástica y agrietamiento por fatiga

(*): Requieren confinamiento con Aire a presión.

compactados sea 3.0 %), de manera que permite identificar la tendencia a la post-compactación (densificación hacia el final de la vida útil de la capa asfáltica). Se aplican esfuerzos axiales y de cortante, en ciclos de carga de 0.7 segundos (s) (esfuerzo durante 0.1 s y pausa durante 0.6 s). Luego de un total de 5000 a 12000 ciclos se miden las deformaciones unitarias axial y radial. La relación de esfuerzo axial a radial se mantiene dentro del rango de 1.2 a 1.5.

• **Ensayo de repetición de cortante con altura constante.** Se realiza a una única temperatura (temperatura máxima del pavimento a una profundidad de 50 mm por debajo del nivel de superficie, correspondiente a los siete días de mayor temperatura a lo largo del año). Se aplican ciclos de esfuerzo cortante durante 0.7 s (0.1 s de carga y 0.6 s de reposo), en condiciones de esfuerzo controlado (constante); además, se aplica un esfuerzo axial para evitar la variación en la altura del espécimen. Al igual que en el caso de la repetición de cortante con tasa de esfuerzo constante, este ensayo permite evaluar la tendencia de las mezclas asfálticas a la post-compactación. Se registra la deformación unitaria al cortante.

• **Ensayo de cortante simple con altura constante.** La(s) temperatura(s) de ensayo depende(n) del

RECOMENDACIONES

La evaluación, a escala de laboratorio, de la tendencia a la deformación permanente es fundamental para tener mayor confianza estadística en el logro de un desempeño en sitio de acuerdo con los requerimientos de la sociedad actual (cargas, intemperismo, etc.). Recuérdese que los ensayos tradicionales se desarrollaron con el propósito de obtener magnitudes de resistencia a la deformación plástica, resistencia al agrietamiento por fatiga y resistencia al intemperismo; así, es fundamental, y altamente rentable (se previenen errores), una cuidadosa evaluación del potencial de desempeño de la mezcla asfáltica en el laboratorio, de previo a su aplicación masiva.

Tomando en cuenta las diversas condiciones de colocación y compactación de capas asfálticas, es importante evaluar la tendencia a la deformación plástica y su evaluación a lo largo del período de funcionamiento del proyecto, bajo los siguientes esquemas:

• **Nivel de densificación bajo:** representa la condición crítica de consolidación, relacionada con el exceso de vacíos en sitio, en las etapas tempranas de funcionamiento de la capa asfáltica (cuando el ligante presenta un grado importante de envejecimiento).

Tabla 1:
Ensayos de caracterización para mezclas asfálticas con dispositivo de cortante Superpave (SST), requeridos en la metodología de diseño de mezcla Superpave.

• Nivel de densificación intermedio: representa la condición típica de compactación en sitio, en una etapa temprana de funcionamiento de la capa asfáltica (cuando el ligante asfáltico aún no ha experimentado envejecimiento), cuando la mezcla asfáltica presenta mayor susceptibilidad a la deformación plástica.

• Nivel de densificación elevado: representa la condición crítica de flujo plástico, relacionada con la carencia de vacíos en sitio, particularmente en las etapas avanzadas del funcionamiento de la capa asfáltica (post-compactación).

Notas:

(1) Es importante que las condiciones de la mezcla asfáltica sean acordes con la etapa de funcionamiento correspondiente. Así, es conveniente que la mezcla asfáltica evaluada en una etapa temprana sea curada de manera consistente con la absorción y envejecimiento del ligante asfáltico, fenómenos que ocurren en un proceso estándar de pavimentación. Igualmente, lo más apropiado es que la mezcla asfáltica evaluada en una etapa avanzada de funcionamiento haya sido sujeta a un proceso de envejecimiento simulado en el laboratorio.

(2) La preparación de los especímenes de laboratorio es un problema práctico, dado que no existe un dispositivo de uso generalmente aceptado para la preparación de especímenes rectangulares. En cuanto a especímenes de ensayo cilíndricos existe consenso en la idoneidad del compactador giratorio Superpave.

(3) Respecto a la metodología de ensayo, debe tenerse presente que la evidencia es que los ensayos con nivel de esfuerzo aplicado controlado (constante) reflejan mejor la realidad del funcionamiento de las capas asfálticas sujetas a la deformación permanente, que los ensayos con nivel de deformación unitaria controlada.

(4) Existen entornos donde la evaluación de uno u otro esquema será prioritaria, en función de la mayor ocurrencia de deformación plástica por consolidación o flujo plástico.

La aplicación de técnicas de evaluación de la deformación plástica en el laboratorio, independientemente del dispositivo que se aplique, se señala en una serie de etapas básicas:

• En un primer término, la evaluación de la deformación plástica se puede plantear con el propósito de establecer una clasificación de las

diversas mezclas asfálticas utilizadas en un país dado. A partir de dicha clasificación y el posterior monitoreo del desempeño en sitio para las mezclas asfálticas evaluadas es factible establecer un criterio de especificación para la aceptación de la mezcla asfáltica.

• En un segundo término, el ensayo de deformación plástica, en conjunto con el ensayo de agrietamiento por fatiga y susceptibilidad a la humedad, permiten optimizar las especificaciones generales para la aceptación de la mezcla asfáltica: granulometría, propiedades volumétricas, etc. A partir de la definición de propiedades de desempeño meta, es factible desarrollar especificaciones para la selección de la dosificación de diseño.

• En un tercer término, debe pensarse en la aplicación de un ensayo de control y verificación de calidad, a aplicar a lo largo de la producción de mezcla asfáltica para cada proyecto de pavimentación. Igualmente, es necesario desarrollar un criterio de especificación. A este respecto, dado que el ensayo de deformación permanente se relaciona con la estimación del desempeño en sitio, es conveniente la evaluación de especímenes tomados en la capa asfáltica compactada (núcleos o cilindros).

Nota: en caso de que el ensayo de laboratorio sea el SST, es conveniente y apropiado evaluar la aplicabilidad de los modelos de desempeño Superpave, para las condiciones locales de cualquier entorno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brock, Don; Collins, Ron y Lynn, Cynthia; Performance Related Testing With the Asphalt Pavement Analyzer; Technical paper T-137, Pavement Technologies Inc., 1996.

Interlacken Technology Corporation; Superpave Shear Tester; ITC.

Roberts, Freddy y otros; Hot mix asphalt materials, mixture design and construction, II ed.; National Asphalt Pavement Association, 1996.



Figura 3: Dispositivo de cortante SUPERPAVE, montaje de espécimen de prueba.