

# Avances Recientes en la Caracterización de Mezclas Asfálticas basadas en el rendimiento - El uso del equipo AMPT para caracterizar mezclas asfálticas estándar y novedosas como parte de los estándares del proceso Superpave

Andrea Carlessi,  
andrea.carlessi@controls-group.com

Kieran T. McGrane,  
kieran.mcgrane@controls-group.com

Este artículo revisa los recientes avances en la caracterización de mezclas asfálticas basada en el rendimiento. Varios factores han exigido la realización de ensayos basados en el rendimiento de las mezclas asfálticas. La necesidad de diseñar pavimentos asfálticos de larga duración para preservar los recursos y reducir al mínimo los gastos de capital es un factor importante. Además, la preocupación por el cambio climático y la escalada de los costes de producción han hecho necesario el uso de una variedad de nuevos materiales, como el asfalto reciclado y el caucho de neumáticos en los pavimentos asfálticos. En el pasado, las propiedades empíricas derivadas de la experiencia previa se utilizaban generalmente para predecir el rendimiento en servicio de las mezclas asfálticas. Sin embargo, las pruebas basadas en el rendimiento proporcionan propiedades de ingeniería de las mezclas asfálticas, propiedades que se pueden utilizar para predecir el rendimiento de servicio de las mezclas.

Durante muchos años, los ingenieros e investigadores de pavimentos han estado buscando mejores formas de entender y caracterizar el rendimiento de las Mezclas Asfálticas en Caliente (MBC) en el laboratorio a fin de obtener una buena correlación con el rendimiento en campo. Los EE.UU. han liderado la investigación de pavimentos, comenzando con el Programa Estratégico de Investigación de Carreteras (Strategic Highway Research Program - SHRP) y culminando en el sistema Superpave. A lo largo de este proceso, el eslabón perdido fue un conjunto de pruebas de laboratorio relacionadas con el rendimiento que se correlacionaran adecuadamente con el rendimiento en el campo y que a su vez fueran lo suficientemente simples como para poder ser realizadas con equipos de ensayo comerciales estandarizados ampliamente disponibles. Esta deficiencia fue abordada en el curso de tres proyectos del Programa Nacional de Investigación Cooperativa en Carreteras (National Cooperative Highway Research Program - NCHRP): 9-19, 9-29 y 1-28A, lo que condujo al desarrollo del Equipo Asphalt Mixture Performance Tester (AMPT). Este artículo presenta la concepción, el desarrollo y los usos del equipo AMPT en la caracterización de asfaltos para diseños de pavimentos basados en el rendimiento, junto con los últimos desarrollos en ensayos compatibles con las recientes versiones del equipo AMPTPro.

**Palabras Clave:** Ensayo, Ensayos basados en el rendimiento, AMPT, módulo dinámico, rigidez, diseño, fatiga, curva maestra.

This paper reviews recent advances in performance-based characterisation of asphalt mixes. A number of factors have necessitated the requirement for performance-based tests on asphalt mixes. The need to design long lasting asphalt pavements in order to preserve resources and keep capital expenditure to a minimum is a major factor. Additionally, concerns about climate change as well as escalating production costs have necessitated the use of a variety of new materials such as recycled asphalt and tyre rubber in

# Avances Recientes en la Caracterización de Mezclas Asfálticas basadas en el rendimiento - El uso del equipo AMPT para caracterizar mezclas asfálticas estándar y novedosas como parte de los estándares del proceso Superpave

asphalt pavements.

In the past, empirical properties derived from previous experience were generally used to predict the service performance of asphalt mixes. Performance based tests however, provide engineering properties of asphalt mixes. These properties can be used to predict the service performance of the mixes.

For many years, pavement engineers and researches have been searching for better ways to understand and characterise the performance of Hot Mix Asphalt (HMA) in the laboratory that correlates well to field performance. The USA has led the way in pavement research, starting with Strategic Highway Research Program (SHRP) and culminating in Superpave. Throughout this process, the missing link was a set of performance related laboratory tests that correlates well with field performance and are also simple enough to run on widely available standardised commercial testing equipment. This deficiency was addressed over course of three National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) projects: 9-19, 9-29 and 1-28A, which led to the development of the Asphalt Mix Performance Tester (AMPT). This paper presents the conception, development and uses of the AMPT in characterising asphalts for performance-based pavement designs, together with the latest developments on AMPT-based tests.

**Keywords:** Testing, performance testing, AMPT, dynamic modulus, stiffness, design, fatigue, master curve

## 1. LOS ENSAYOS BASADOS EN EL RENDIMIENTO

Los ensayos basados en el rendimiento definen cómo se comportarán las diferentes mezclas dentro de una estructura de pavimento bajo una combinación infinita de condiciones ambientales y de tráfico. Entender esto, y por lo tanto las características fundamentales de respuesta de la mezcla, es imperativo para asegurar un rendimiento óptimo del pavimento asfáltico.

El objetivo de los modernos diseños optimizados es diseñar pavimentos duraderos y de alto rendimiento que resistan la deformación plástica permanente, la fatiga y el agrietamiento térmico, y que mantengan una excelente rugosidad superficial, esencial para el paso seguro y cómodo de los vehículos, así como para evitar fallas prematuras y costos de construcción excesivos. Por lo tanto, tiene sentido desde el punto de vista de la ingeniería y la economía diseñar pavimentos con parámetros de rendimiento estrictos.

Durante muchos años, los ingenieros e investigadores de pavimentos han buscado mejores formas de entender y caracterizar el rendimiento de las mezclas en el laboratorio con el objetivo de conseguir pavimentos de alto rendimiento y larga duración, con bajos costes de construcción y de vida útil, que ofrezcan la mejor relación calidad-precio del gasto en construcción de carreteras. La evolución generada en los últimos tiempos ha dado lugar a métodos mejorados y más eficientes para ofrecer diseños basados en el rendimiento.

### 1.1 Evolución del método Superpave

Desde el año 2000, Superpave (SUPERior PERforming Asphalt PAVements) ha evolucionado significativamente. Como parte del proceso de establecimiento de normas de diseño de pavimentos, la investigación que se lleva a cabo en el marco del NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) es luego evaluada por los Grupos de Trabajo de Expertos (Expert Task Groups, ETG) y el resultado final es la norma AAS-



HTO.

Teniendo en cuenta la limitación del proceso de diseño de mezclas volumétricas Superpave, la Administración Federal de Carreteras de EE.UU (FHWA) inició un estudio de investigación a través del Proyecto de Modelos Superpave para desarrollar un "Simple Performance Test - SPT" que se utilizaría como complemento al proceso de diseño de mezclas volumétricas Superpave.

La definición del Ensayo de rendimiento simple (SPT), tal como la utiliza el National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), es la siguiente:

"Un método de ensayo que permite medir con precisión y confiabilidad una característica o parámetro de respuesta de la mezcla que está altamente correlacionado con la ocurrencia de problemas en el pavimento en un rango diverso de tráfico y condiciones climáticas".

### 1.2 Los ensayos SPT (Simple Performance Test)

En 1996, el trabajo patrocinado por FHWA comenzó en la Universidad de Maryland para identificar y validar ensayos de rendimiento simples para la deformación permanente, el agrietamiento por fatiga y el agrietamiento a baja temperatura. En 1999, este esfuerzo se transfirió a la Tarea C del Proyecto 9-19 del NCHRP "Apoyo Superpave y Gestión de Modelos de Desempeño", y la mayor parte de la tarea fue llevada a cabo por un equipo de investigación encabezado por el Dr. Matthew Witzczak.

El equipo de investigación fue dirigido a evaluar, como posibles ensayos de rendimiento simples, sólo los métodos de ensayo existentes que miden las características de respuesta de la MBC. Los principales criterios de evaluación fueron:

1. Precisión
2. Fiabilidad
3. Facilidad de uso
4. Costo razonable del equipo

El equipo de investigación llevó a cabo un programa completo de ensayos de laboratorio para correlacionar estadísticamente el rendimiento real de los materiales de MBC de tres sitios de pruebas de campo en Norteamérica, con las respuestas medidas de las muestras preparadas a partir de materiales originales para 33 combinaciones prometedoras de parámetros de pruebas / métodos de prueba.

Basándose en los resultados de este programa de ensayos,

el equipo de investigación recomendó tres combinaciones de parámetros de prueba para una validación de campo adicional como pruebas de rendimiento simples para la deformación permanente:

1. El Módulo Dinámico  $E^*/\sin\Phi$ , determinado a partir del ensayo de Módulo Dinámico triaxial.
2. El número de flujo,  $F_n$ , determinado a partir del ensayo de carga repetida triaxial.
3. El tiempo de flujo,  $F_t$ , determinado a partir del ensayo de fluencia estática triaxial.

Todas las combinaciones exhibieron un coeficiente de determinación,  $R^2$ , de 0.9 o mayor para los sitios de prueba de campo combinados.

### 1.3 Democratización de los ensayos basados en el rendimiento

Aunque los resultados del proyecto parecían muy prometedores, era obvio que los ensayos y el equipo diseñado para llevarlos a cabo debían ser capaces de generar resultados consistentes en la más amplia gama de materiales adecuados y áreas de aplicación. Según el NCHRP, el equipo desarrollado para llevar a cabo el ensayo de la mezcla en el sistema Superpave debería parecerse más al equipo de ensayo comercial. Debía ser robusto, fácil de usar y basado en un conjunto de especificaciones que le permitieran ser asequible, de modo que el equipo pudiera ser adquirido por los Departamentos de Transporte de los Estados (DOT) y por la más amplia gama de contratistas asociados y que trabajan dentro de la industria de la MBC.

En abril de 2001, se asignó a Advanced Asphalt Technology (AAT) en EE.UU. la tarea de especificar, adquirir y evaluar máquinas de ensayo adecuadas a través del Proyecto NCHRP 9-29.

El objetivo de este proyecto era diseñar, procurar y evaluar sistemas Simple Performance Tester (SPT) para su uso en el diseño de mezclas Superpave y en la caracterización de materiales de Mezclas en Caliente (MBC) para el diseño de estructuras de pavimentos y posiblemente en el control de calidad en campo. Esto implicaba:

- Desarrollo del equipo
- Evaluación del equipo
- Evaluación de la robustez del mismo

## Avances Recientes en la Caracterización de Mezclas Asfálticas basadas en el rendimiento - El uso del equipo AMPT para caracterizar mezclas asfálticas estándar y novedosas como parte de los estándares del proceso Superpave

- Verificación del procedimiento final

Todo ello con miras a la adquisición a nivel nacional por parte de los DOT estatales y su eventual adopción y uso generalizado por parte de la industria de las MBC.

Se presentaron varias propuestas de diseño de empresas de equipamiento para el proyecto NCHRP 9-29, de las cuales se seleccionaron dos para su evaluación. Dos compañías entregaron prototipos para el proyecto; una unidad fue fabricada por Interlaken Technology Corporation (ITC) USA y la otra unidad fue fabricada por IPC Global Australia. Estas unidades se entregaron a mediados de 2002 y desde entonces han sido evaluadas con éxito. Las dos unidades prototipo se muestran en las Figuras 1 y 2,



Figura 1. ITC prototype SPT



Figura 2. IPC Global prototype SPT

Además de las máquinas de ensayo, se seleccionó el ensayo de Módulo Dinámico  $E^*$  para la entrada de caracteri-

zación de materiales MBC utilizada en la Guía Empírica y Mecánica para el Diseño de Estructuras de Pavimento Nuevas y Rehabilitadas de 2002 (Empirical and Mechanistic Guide for Design – MEPDG), desarrollada en el marco del Proyecto NCHRP 1-37A.

Después de varios años, el Simple Performance Tester (SPT) fue rebautizado como Asphalt Mixture Performance Tester (AMPT) por la FHWA, y tanto IPC Global como ITC produjeron y ofrecieron máquinas de segunda generación como AMPT. Ahora estos equipos están disponibles en una amplia gama de modelos, incluyendo modelos orientados a la investigación - con mayor capacidad de carga y rango de temperatura - y modelos completamente operados electromecánicamente, siendo más asequibles que los modelos originales y cumpliendo los requisitos facilidad de uso exigidos en las especificaciones originales del SPT.

Para completar el proceso evolutivo de Superpave, AASHTO lanzó un Método de Prueba Estándar (AASHTO T378) para "Determinar el Módulo Dinámico y el Número de Flujo para Asfalto Mezclado en Caliente (MBC) usando el Equipo AMPT. Esta normativa de ensayos sigue siendo el método utilizado hoy en día en los AMPT

### 1.4 Pasos de diseño de la mezcla Superpave

Los pasos básicos en el proceso de diseño de la mezcla Superpave son: Selección de Materiales, Diseño de Estructura de Agregados, Diseño del Contenido de Aglomerante y finalmente, Ensayos de Desempeño de Mezclas.

El diagrama de la figura 3 muestra los cuatro pasos básicos:

El enfoque de este trabajo se centra en la etapa de Ensayos de Desempeño de Mezclas del proceso. El rendimiento/parámetros de los componentes individuales que componen una mezcla pueden ser ensayados para predecir el rendimiento, sin embargo, hay una falta de certeza en los resultados de tales pruebas en la vida real del pavimento. Los parámetros clave de ingeniería y las propiedades fundamentales de la mezcla, como el módulo y la resistencia a la fatiga, son necesarios para el diseño moderno y avanzado del pavimento.

El desarrollo del AMPT ha proporcionado las herramientas necesarias para caracterizar las propiedades fundamentales de la MBC de forma precisa y sin fisuras, con un solo equipo estandarizado, utilizando métodos de prueba que han sido in-

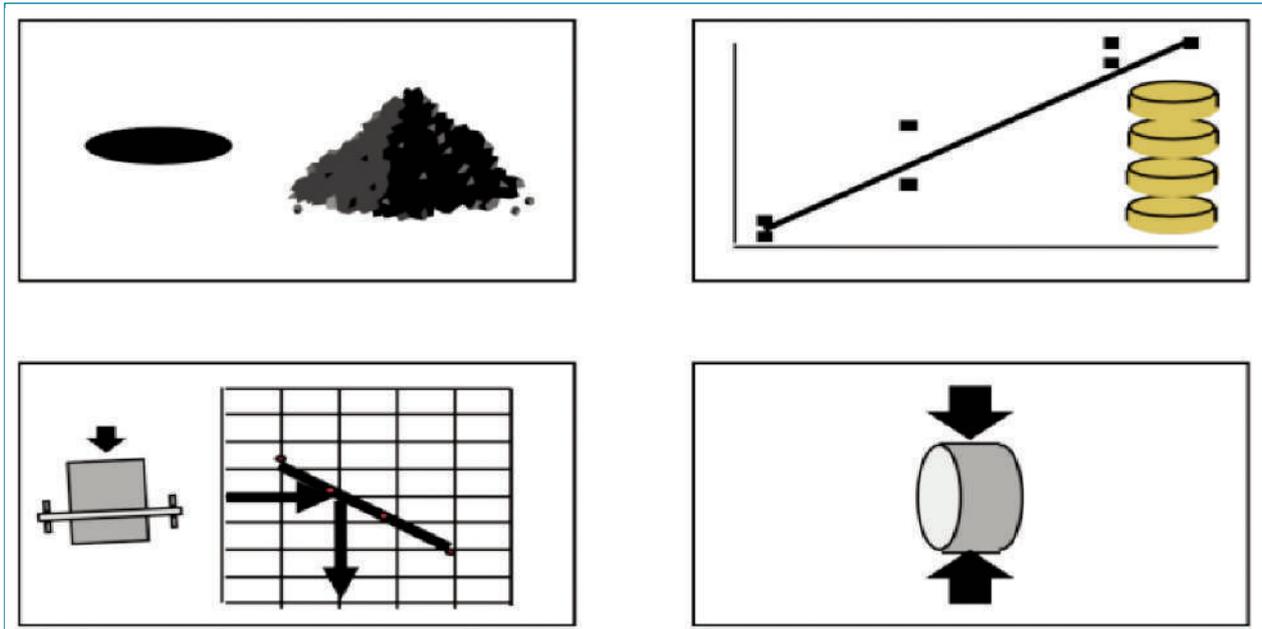


Figura 3. Pasos de diseño Superpave

vestigados y seleccionados, para una buena correlación con el rendimiento en el campo.

## 2. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO

El Módulo Dinámico  $E^*$  es un parámetro esencial para el diseño estructural del pavimento. Más específicamente, la curva maestra de módulo dinámico de MBC es un parámetro de entrada esencial en el Nivel 1 de la Guía de Diseño Mecánico Empírico de Pavimentos (MEPDG) de AASHTO. Para la ingeniería de pavimentos, un enfoque puramente mecanicista del diseño de pavimentos tiene defectos inherentes. Sin embargo, un enfoque puramente empírico del diseño de pavimentos que utiliza sólo ejemplos y datos históricos también tiene puntos

flacos como los cambios climáticos y los nuevos materiales. Un enfoque mecanicista-empírico combinado, donde los modelos base se utilizan para predecir el rendimiento del pavimento basándose en parámetros fundamentales del material, en modo flexible y modular, permiten que los resultados de campo y las mejoras futuras pueden añadirse a medida que se desarrollan e implementan, tales como un modelo mejorado de "rutting", un algoritmo de acumulación de daños mejorado y procedimientos de ensayos de laboratorio mejorados.

Los ensayos recomendados para el desarrollo de curvas maestras, tal y como se prescribe en la norma AASHTO T342/TP62 "Standard Method of Test for Determining Dynamic Modulus of Hot-Mix Asphalt Concrete Mixtures test method", incluyen el ensayo de al menos dos muestras idénticas a

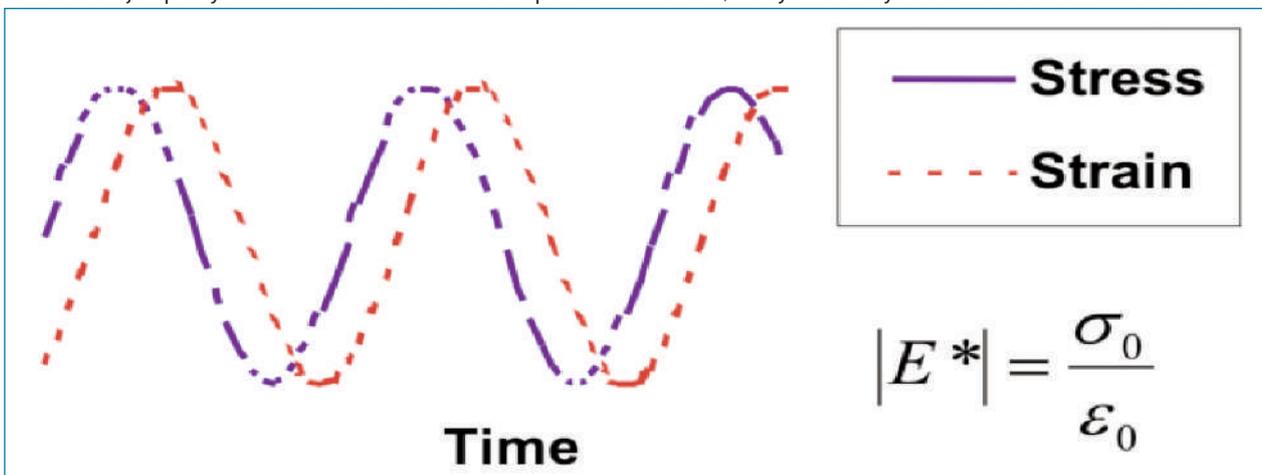


Figura 4. Ensayo de Módulo Dinámico

# Avances Recientes en la Caracterización de Mezclas Asfálticas basadas en el rendimiento - El uso del equipo AMPT para caracterizar mezclas asfálticas estándar y novedosas como parte de los estándares del proceso Superpave

cinco temperaturas entre  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $+54,4^{\circ}\text{C}$  y seis frecuencias de carga entre 0,1Hz y 25Hz. Las curvas maestras se desarrollan a partir de esta base de datos de 60 módulos mediante optimización numérica. Este ensayo requiere un esfuerzo considerable y hay mucha superposición en los datos medidos, lo que no es necesario cuando se utilizan métodos numéricos para realizar el desplazamiento tiempo-temperatura para la curva maestra.

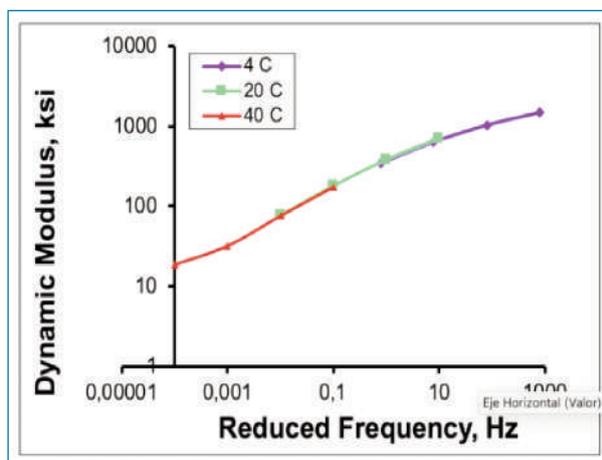


Figura 5. Curva Maestra Módulo Dinámico

Christensen et al desarrollaron otro modelo de predicción de módulo dinámico (Hirsch) para el módulo de hormigón asfáltico. Bonaquist y Christensen propusieron un enfoque que aprovecha el hecho de que, para fines de ingeniería, los ligantes de asfalto alcanzan el mismo módulo vítreo a temperaturas muy bajas. Utilizando este módulo de ligante y las relaciones recientemente desarrolladas para predecir el Módulo Dinámico de la mezcla a partir del módulo de ligante y los datos volumétricos, el módulo limitante máximo de la mezcla se puede obtener y utilizar en el desarrollo de la curva maestra del Módulo Dinámico. Este enfoque alternativo propone realizar pruebas a tres temperaturas ( $4,4^{\circ}\text{C}$ ,  $21,1^{\circ}\text{C}$  y  $46,6^{\circ}\text{C}$ ) y cuatro frecuencias de carga (10Hz, 1Hz, 0,1Hz y 0,01Hz). Utilizando este enfoque y la automatización de software ya incorporada en el AMPT, se estima que la preparación del espécimen y los ensayos de curva maestra de módulo dinámico para una mezcla que utiliza tres especímenes replicados requieren 13,5 horas de tiempo de ingeniero de laboratorio.

## 2.1 Resistencia al efecto "Rutting" (Ahuellamiento)

La deformación permanente en MBC se debe principal-

mente a la deformación por cizallamiento y, en menor medida, a la densificación. Típicamente ocurre a temperaturas más altas, al principio de la vida de un pavimento, como se ve en la Figura 6 más abajo.

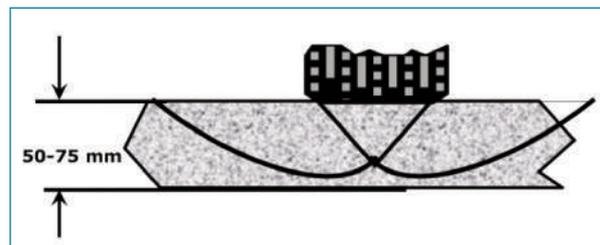


Figura 6. Deformación típica por ahuellamiento

En la prueba del número de flujo, una muestra de ensayo, a una temperatura de ensayo específica, se somete a un repetido pulso de carga axial de compresión haversine de 0,1 segundos cada 1,0 segundo. El ensayo podrá realizarse con o sin presión de confinamiento. Las deformaciones axiales permanentes resultantes se miden para cada ciclo de carga y se diferencian numéricamente para calcular el número de flujo. El número de flujo se define como el número de ciclos de carga correspondiente a la velocidad mínima de cambio de la deformación permanente. La Figura 7 muestra datos de ejemplo de la prueba de número de flujo. En una investigación llevada a cabo en el Proyecto 9-19 del NCHRP, los datos del número de flujo a altas temperaturas se correlacionaron bien con la resistencia al ahuellamiento (roderas) en las mezclas utilizadas en secciones experimentales en MNRoad, WesTrack y las instalaciones de ensayos de pavimentos de FHWA.

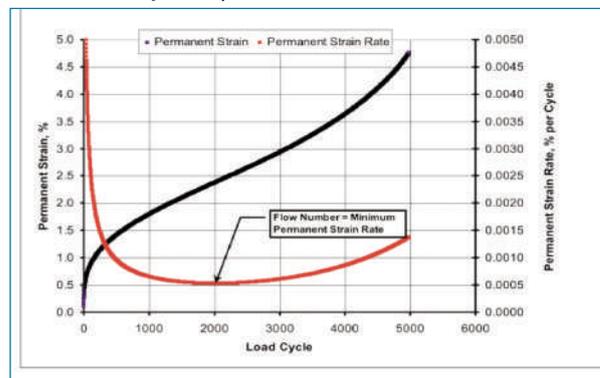


Figura 7. Ensayo de Número de Flujo

Recientemente, se han desarrollado criterios tentativos para la prueba del número de flujo en el Proyecto 9-33 del NCHRP "A Mix Design Manual for Hot Mix Asphalt (MBC)".

Los criterios se muestran en la Figura 8 a continuación.

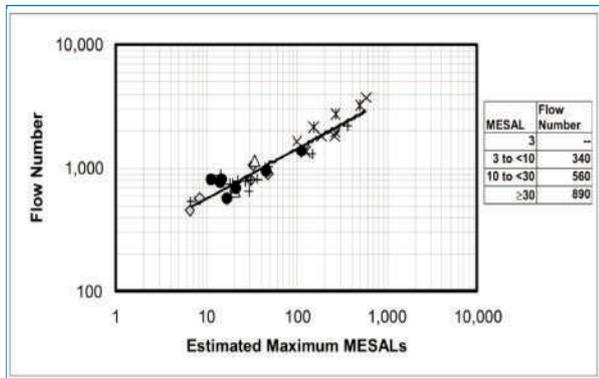


Figura 8. Ensayo de Número de Flujo

## 2.2 Nuevos desarrollos en el agrietamiento por fatiga: Ensayo de fatiga uniaxial (push-pull)

El agrietamiento por fatiga es una propiedad clave que afecta la vida y el rendimiento del pavimento. Cuando se combina con el conocido Módulo Dinámico  $E^*$ , esta función de daño puede usarse para definir el efecto de cualquier historial de carga sobre la respuesta del material, información que resulta esencial a la hora de predecir la respuesta de una estructura de pavimento real a la carga del tráfico.



Figura 9. AASHTO TP107-14 en AMPT

Recientemente se ha completado el trabajo sobre un método para medir la resistencia al agrietamiento por fatiga en una muestra cilíndrica de AMPT. La prueba de Daño Continuo Viscoelástico Simplificado (S-VECD) del Profesor Richard Kim (NCSU) fue desarrollada para la fatiga uniaxial.

El modelo S-VECD utiliza datos de ensayos cíclicos para desarrollar la relación característica de daño. Esto simplifica enormemente el procedimiento de caracterización utilizando

los resultados de los datos de fatiga generados a un único nivel de deformación y temperatura. El método S-VECD fue recomendado y apoyado por FHWA, con una reciente norma provisional AASHTO publicada para la prueba S-VECD: AASHTO TP107-14.

## 2.3 Muestras de pequeño diámetro

La geometría de la muestra especificada en la norma AASHTO TP378 es una muestra de forma cilíndrica, nominalmente de 100 mm de diámetro y 150 mm de altura. Si bien esto es factible para las muestras preparadas en laboratorio, no lo es para las muestras extraídas del pavimento, ya que los estos normalmente no tienen capas de asfalto de 100 mm de profundidad. Richard Kim et al realizaron un estudio sobre el rendimiento de los ensayos de Módulo Dinámico, Número de Flujo y Fatiga Uniaxial S-VECD en muestras de diámetro pequeño. Estas muestras se pueden extraer horizontalmente a partir de testigos de pavimento o se pueden extraer verticalmente múltiples muestras a partir de una muestra de 150 mm de diámetro compactada con compactador giratorio. Las muestras son típicamente de 38mm o 50mm (diámetro) x 110mm (altura). Los ensayos de diámetro pequeño ofrecen una producción más rápida de múltiples muestras, una preparación más rápida de las muestras S-VECD debido a la reducción del tiempo de encolado y la capacidad de medir las propiedades de los núcleos de pavimento para el examen forense y el control de calidad.

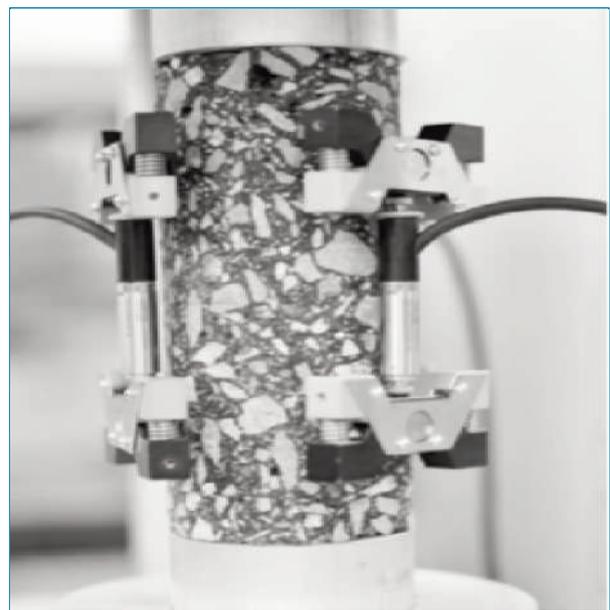


Figura 10: Muestra de pequeño diámetro en AMPT

## Avances Recientes en la Caracterización de Mezclas Asfálticas basadas en el rendimiento - El uso del equipo AMPT para caracterizar mezclas asfálticas estándar y novedosas como parte de los estándares del proceso Superpave

Debido a las condiciones isotrópicas de tensión, los resultados de las pruebas de especímenes de diámetro pequeño muestran una excelente correlación con los resultados de las muestras estándar.

La North Carolina State University (NCSU) está desarrollando este enfoque y actualmente se está llevando a cabo una revisión del ETG. Las versiones modernas de equipos AMPT incluyen hardware, instrumentación y software para realizar este tipo de pruebas de Módulo Dinámico.

### 2.4 Nuevos desarrollos en el agrietamiento por fatiga: Texas Overlay Test

El Texas Overlay Test fue desarrollado por el Texas Transportation Institute (Texas A&M) por F.P. Germann y R.L. Lytton a finales de los años 70 para simular la apertura y cierre de juntas o grietas.

Sin embargo, el enfoque de muchos procedimientos de diseño de mezclas asfálticas durante los últimos 10 años ha llevado al desarrollo de mezclas más rígidas y secas. Estas mezclas son más difíciles de construir y son potencialmente propensas al agrietamiento reflectante. Como resultado de un mayor uso de estas nuevas mezclas más rígidas, la prueba Texas Overlay Test ha adquirido una creciente relevancia y popularidad como ensayo para medir la resistencia al agrietamiento reflectante en MBC.



Figura 11. Dispositivo Texas Overlay

El ensayo Texas Overlay tiene una normativa original del DOT de Texas (TxDOT: Tex-248-F) y recientemente se ha desarrollado un borrador de norma ASTM.

El ensayo Texas Overlay puede igualmente ser realizado utilizando la moderna versión del equipo AMPT.

### 2.5 Nuevos desarrollos en el agrietamiento por fatiga: Prueba de Doblado Semicircular (SCB Test)

El ensayo SCB es un ensayo de carga de tres puntos que se desarrolló originalmente para mecánica de rocas, pero que recientemente ha sido adaptada para determinar la resistencia a la fractura a baja temperatura de las mezclas asfálticas. En este ensayo, una probeta de asfalto semicircular se somete a una carga de compresión aplicada a lo largo del diámetro vertical de la probeta. Las mediciones de este ensayo se utilizan para calcular la energía, la resistencia y la rigidez de la fractura.



Figura 12. Dispositivo SCB

En la actualidad, existen varias normas SCB en uso, entre las que se incluyen las recientemente publicadas AASHTO TP124 y TP105, ASTM D8044 y EN 12697-44. Todas estas normas, incluidos los proyectos de normas, se pueden llevar a cabo en las nuevas versiones del equipo AMPT.

## 3. RETORNO DE LA INVERSION

Al adoptar las mejores prácticas en el diseño de pavimentos basados en el rendimiento utilizando el proceso Superpave, se pueden lograr grandes ahorros económicos. Estos ahorros compensarán con creces el costo de compra y operación de equipos de laboratorio avanzados para las pruebas de rendi-

miento de mezclas asfálticas.

Sin un diseño de pavimento basado en el rendimiento, los pavimentos pueden ser sobredimensionados o subdimensionados. Ambos incurren en costes adicionales. En el caso de los pavimentos sobredimensionados, estos costes incluyen el tiempo adicional de construcción y la congestión del tráfico asociada, los costes adicionales de materiales, los costes adicionales de equipamiento de la planta y los costes adicionales de mano de obra. En el caso de las carreteras insuficientemente diseñadas, hay costes de reconstrucción, congestión y retrasos adicionales en el tráfico, materiales adicionales, costes de planta y mano de obra, costes de daños a los vehículos y costes de seguridad vial derivados de los accidentes de tráfico debidos a la mala calidad de las carreteras. Por último, pero no menos importante, hay que contar con el costo de oportunidad perdido al gastar más de lo que era necesario en un proyecto de carretera.

Diseñando para un rendimiento requerido, basado en la velocidad y el volumen de tráfico previstos y para el rango de temperatura previsto, es posible lograr un diseño óptimo y, por lo tanto, evitar costes innecesarios.

El uso de dispositivos como el AMPT también reduce en gran medida la necesidad de una serie de complejos equipos de laboratorio; en su lugar, un simple dispositivo permite la caracterización avanzada de la MBC con una serie de pruebas disponibles.

#### 4. CONCLUSIONES

Los ensayos de rendimiento simples son un método rápido, económico y eficaz para evaluar el rendimiento de las mezclas de MBC diseñadas utilizando el sistema Superpave. Los métodos de ensayo utilizados por las más modernas versiones de equipos AMPT complementan los métodos existentes y los modelos de predicción del rendimiento y pueden sustituir a las pruebas existentes, menos precisas, lo que supone un enorme ahorro de costes y tiempo.

Además, el ensayo AMPT es aplicable en una variedad de climas y a diferentes materiales, aliviando así la necesidad de procedimientos de calibración extensos. Las respuestas medidas por el equipo AMPT se utilizan no sólo para evaluar la resistencia a la deformación permanente durante el proceso de diseño, sino que también desempeñarán un papel clave en la aceptación y el control de la calidad de las mezclas de MBC en

el campo.

El Módulo Dinámico determinado por el AMPT es una entrada en el MEPDG (Proyecto NCHRP 1-37A) para el diseño estructural de pavimentos flexibles. Actualmente, el MEPDG está siendo implementado en todo el mundo y la adquisición de un dispositivo como el AMPT, que puede proporcionar datos de Módulos Dinámicos con mayor facilidad, resultará en un ahorro de costes a largo plazo. Como parte del plan a largo plazo para la adopción del sistema de diseño de mezclas Superpave, el AMPT debería implementarse a nivel mundial. Un esfuerzo cooperativo de las agencias de carreteras para implementar el AMPT permitirá la comunicación y la diseminación de información entre las agencias y un mayor conocimiento sobre el uso del AMPT para el diseño de mezclas, la evaluación del rendimiento y el diseño estructural.

Recientemente se han aumentado las capacidades del equipo AMPT mediante la incorporación de nuevos métodos de ensayo, entre los que se incluyen la prueba de fatiga uniaxial S-VECD, los ensayos Overlay y SCB. Incluso se continúan ampliando las características de esta versátil máquina y a fin de proporcionar un mayor valor para sus usuarios. Ahora una máquina puede realizar los ensayos más populares e importantes: Módulo Dinámico E\*, Número de Flujo, Tiempo de Flujo, Ensayo de Muestras de Pequeño Diámetro, Fatiga Uniaxial S-VECD, Ensayo de Overlay y Ensayo de SCB.

#### 5. REFERENCIAS

- [1] J. Bukowski - The future of the Superpave Mixture Design System: Asphalt Mix Part II, (2010).
- [2] D.W. Christensen, T. Pellinen, R.F. Bonaquist - Hirsch Model for Estimating the Modulus of Asphalt Concrete, Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 72, (2003).
- [3] D. Christensen, Y. Kim, D. Little, E. Masad and Y.R. Kim - Practical Approaches to Continuum Damage Fatigue Analysis, (2009).
- [4] A. Copland - Improving Performance of Asphalt Mixtures: Implementation of the Asphalt Performance Mixture Tester (AMPT), (2009).
- [5] F.P. Germann, R.L. Lytton - Methodology for predicting the reflection cracking life of asphalt concrete overlays, FHWA-TX-79-09&207-5 Intrm Rpt., (1974).
- [6] K. E. Kaloush, M.W. Witzczak - Tertiary Flow Characteris-

## Avances Recientes en la Caracterización de Mezclas Asfálticas basadas en el rendimiento - El uso del equipo AMPT para caracterizar mezclas asfálticas estándar y novedosas como parte de los estándares del proceso Superpave

tics of Asphalt Mixtures, Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, Volume 71, (2002).

- [7] Y. Kim, Y.G. Seo, M. King, M. Momen - Dynamic Modulus Testing of Asphalt Concrete in Indirect Tension Mode, (2004).
- [8] National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 465, Transportation Research Board, National Research Council - Simple Performance Test for Superpave Mix Design, (Washington, D.C., 2002).
- [9] National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 513, Transportation Research Board, National Research Council - Simple Performance Tester for Superpave Mix Design: First-Article Development and Evaluation, (Washington, D.C., 2003).
- [11] L.N. Mohammad, Z. Wu, L. Myers, S. Cooper, C. Abadie - A Practical Look at the Simple Performance Tests: Louisiana's Experience, (2009).
- [12] F.J. Zhou, T. Scullion - Overlay tester: a rapid performance related crack resistance test, FHWA/TX-05/0-4467-2, (2005).



SISTEMAS AVANZADOS DE ENSAYO DE PAVIMENTOS

## La primera elección en Sistemas Avanzados de Ensayos de Pavimentos



Ensayos dinámicos  
ASPHALTCUBE

Analizador de asfalto  
PAVELAB50

Compactadores giratorios  
GALILEO

Maquinas de pista de dos ruedas  
DWT

