

INNOVACIONES EN LA SELECCIÓN DE CEMENTO ASFÁLTICO PARA MEZCLAS DE CONCRETO: UNA NECESIDAD PARA LA INGENIERÍA DE PAVIMENTOS EN BOLIVIA

Antonio Rubén Marino Suño ¹

1. Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia
armarino@umsa.bo

RESUMEN

Este artículo presenta una visión histórica de la evolución de los métodos de clasificación del cemento asfáltico, destacando sus ventajas y limitaciones. A la luz de los avances de la tecnología del asfalto, se recomienda la adopción de la especificación MSCR para clasificar asfaltos modificados, actualmente los más empleados en obras viales en Bolivia.

El análisis parte de la “involución” en la calidad del cemento asfáltico utilizado en capas superficiales, revisa de forma cronológica los hitos relacionados con su calidad y las diversas especificaciones aplicadas, principalmente las establecidas por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Se describen las especificaciones desde las más simples y empíricas (grado de penetración y grado de viscosidad), hasta las complejas que requieren equipamiento sofisticado y competencias técnicas avanzadas (grado PG y clasificación según MSCR).

Un aspecto determinante es que los asfálticos modificados no fueron correctamente clasificados mediante la especificación AASHTO M-320 (PG), lo que evidenció la necesidad de ensayos más rigurosos basados en propiedades reológicas y simulación de las condiciones de carga y temperatura. Ello dio lugar al desarrollo de la especificación Performance Graded Asphalt Binder Using Multiple Stress Creep Recovery (MSCR).

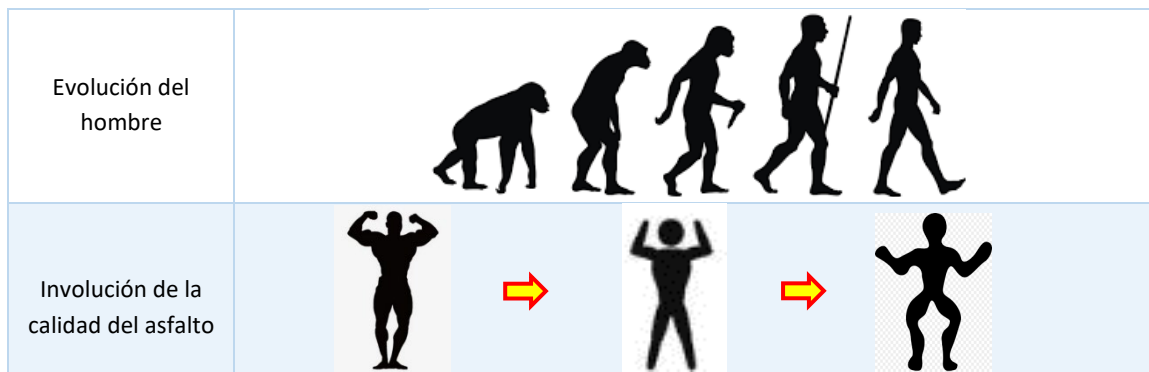
También se presentan algunos detalles de las especificaciones técnicas para el cemento asfáltico en Bolivia, comparando algunos indicadores.

Se concluye que una clasificación más precisa del cemento asfáltico permitirá construir estructuras de pavimento flexible con capacidad suficiente para resistir el tráfico y en las condiciones ambientales propias de las diferentes regiones de Bolivia.

Palabras clave: *Reología, cemento asfáltico, asfalto modificado, clasificación del asfalto.*

1. INTRODUCCIÓN

Figura 1.
Proceso evolutivo



Fuente: Elaboración propia.

La evolución se entiende como un proceso de mejora y de desarrollo, en el cuadro superior se muestra un clásico dibujo de la evolución del hombre a partir del primate, mientras que en el cuadro inferior se esquematiza un proceso de involución de un hombre fuerte y atlético hasta su transformación en un ser débil y frágil.

El último cuadro es una analogía a los cambios experimentados en la calidad del cemento asfáltico, que, de ser un material, durante el siglo pasado, con propiedades adecuadas para fabricar el concreto asfáltico, en las últimas décadas ha requerido del uso de aditivos, compuestos modificadores, tales que proporcionen las características necesarias para que las mezclas de concreto asfáltico respondan a la demanda de tráfico con volumen y transporte de carga que evidencian permanente crecimiento.

Entre las causas identificadas para la disminución de la calidad del cemento asfáltico están:

1. Las variaciones en la calidad del petróleo crudo, inciden en la calidad y el rendimiento del asfalto de petróleo, siendo una segunda variable con apreciable incidencia el propio proceso de producción. Una evaluación de las propiedades del asfalto, permitió establecer las relaciones entre los rendimientos del asfalto y del crudo; los resultados ratificaron los efectos del petróleo crudo sobre el rendimiento del asfalto, existiendo una cierta correlación entre los índices del petróleo crudo y las propiedades del asfalto, siendo de

gran influencia en el rendimiento a la fatiga, resistencia al ahuellamiento y la estabilidad al agua.¹

2. Capacidad mejorada para extraer más y más compuestos del petróleo para la industria, a través de procesos de destilación cada vez más sofisticados, con técnicas de destilación al vacío para un corte más profundo del residuo y la extracción de componentes para la producción de aceites y otros compuestos.²

En tal escenario, el asfalto, con calidad reducida, necesita de la aplicación de aditivos y modificadores, cuya irrupción establece la necesidad de “desaprender” lo conocido y abrir paso a la aplicación de técnicas de evaluación del cemento asfáltico que permitan una clasificación más objetiva a la luz de los cambios tecnológicos experimentados en la fabricación del asfalto base y la aplicación de aditivos y mejoradores.

1.1. OBJETIVO DEL ARTÍCULO

El objetivo es presentar una descripción sucinta de la evolución de la tecnología aplicada en la clasificación del cemento asfáltico y de la moderna técnica desarrollada por investigaciones realizadas por instituciones como el Asphalt Institute, el Transportation Research Record, para la clasificación de asfaltos modificados y no modificados, y que al presente son de reciente implementación, el Performance Graded Asphalt Binder Using Multiple Stress Creep Recovery (MSCR), para recomendar su aplicación en las especificaciones técnicas de la construcción de carreteras en Bolivia.

1.2. DESCRIPCIÓN SUCINTA DE LA EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DEL ASFALTO

A continuación, se presenta una relación cronológica de los hitos más importantes de la tecnología del cemento asfáltico:

- 1870 – primeras pavimentaciones en EEUU.
- Hacia finales del siglo XIX y principios del siglo XX, la mayor parte de los asfaltos disponibles se encontraban en estado natural.

¹ Zou-Zhuo-Sun-Luo, (2020). *Effects of crude oil on the performances of hard asphalt and its mixtures*.

² Speight, (2006). *Numeral 16.3.2 Vacuum Distillation, The Chemistry and Technology of Petroleum*.

- Años 20's, el Bureau of Public Roads (actualmente Federal Highway Administration) introduce la prueba de penetración, en 1924 se adopta el ensayo M-20³ para clasificar el asfalto.
- 1930's, se introduce análisis volumétrico, sale a la luz el procedimiento MARSHALL para el diseño de mezclas asfálticas.
- 1947, se estandariza la especificación por Grado de Penetración del cemento asfáltico.
- En los 1950's se empieza a estudiar la química del asfalto.
- 1963, se introducen los ensayos para medir la viscosidad cinemática y viscosidad absoluta de los asfaltos, lo que dio paso a la clasificación por viscosidad. Se desarrolla tecnología para medir las propiedades del C.A. y clasificarlo según las condiciones de uso a que será sometido.
- Se estandarizan especificaciones que clasifican el asfalto por su grado de penetración o por su grado de viscosidad:
 - Penetración @ 25°C ASTM D 946 y AASHTO M 20
 - Clasificación por Viscosidad @ 60°C ASTM D 3381 y AASHTO M 226
- En los años 1980's se introducen nuevos materiales, aditivos y polímeros, SBS, EVA, SBR.
- Se establece la necesidad de modernizar las especificaciones convencionales. Las especificaciones por penetración y viscosidad consideran estados intermedios del asfalto y no alcanzan a evaluar la calidad del material en la etapa de servicio. Se inicia la investigación para estudiar las propiedades del asfalto según su desempeño.
- 1987 – el Congreso de EEUU, autoriza el financiamiento de dos programas:
 - \$us 150 MM para el Programa de Investigación Estratégica de Carreteras, **STRS** (Strategic Transportation Research Study)
 - \$us 50 MM para estudiar el asfalto. **SHRP** (Strategic Highway Research Program)

³ AASHTO (2017). *Status of AASHTO Materials Standards and Test Methods*. AASHTO.

- 1992 - EEUU implementa el programa **S**uperior **P**ERforming asphalt **P**AVement (SUPERPAVE) – se introducen las especificaciones PG:
 - Clasificación por PG Grado de Desempeño ASTM D6373 y AASHTO M320
- 1990's, se consolida la tecnología de los asfaltos modificados, buscando mejorar las propiedades reológicas del cemento asfáltico. Se aplican modificadores (polímeros, amidas, y otros compuestos). A partir de un asfalto base, se busca obtener materiales rígidos para el desempeño en temperaturas elevadas y que al mismo tiempo sean elásticos en su desempeño a bajas temperaturas.
- 2000's, implementados los protocolos de SuperPave, se identifica que la clasificación por grado PG presenta deficiencias en la clasificación de algunos asfaltos, especialmente los modificados con polímeros. Así, el National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) desarrolló el Proyecto "Superpave Protocols for Modified Binders", para investigar si los protocolos Superpave son convenientes para los ligantes modificados; el resultado de la investigación del NCHRP concluyó que las especificaciones PG de Superpave no eran adecuadas para clasificar asfaltos modificados con polímeros.⁴
- Entonces, los investigadores del PG buscaron y probaron diferentes soluciones complementarias para subsanar las deficiencias:
 - Se implementó el "Salto de grado" que permite un cambio adicional en el grado de alta temperatura del asfalto para tomar en cuenta las aplicaciones de cargas lentas transitorias y estacionarias por la velocidad, y subir un grado más por aumento del volumen de tránsito con 10×10^6 y 30×10^6 ESAL's.⁵
 - También fueron generadas otras pruebas empíricas que derivaron en el "PG-PLUS". Agencias estatales de USA introdujeron pruebas adicionales para clasificar asfaltos modificados con polímeros, sin embargo, tales pruebas PG Plus no resultaron indicadores confiables del rendimiento de los asfaltos modificados, además de ser más costosas al emplear equipos especiales y mayor tiempo.⁶

⁴ FHWA-OK, (2015). *Final Report Creep Compliance and Percent Recovery using MSCR Method*.

⁵ Asphalt Institute, (2011). *MS-26 The Asphalt Binder Handbook*. AI

⁶ FHWA-OK, (2015). *Final Report Creep Compliance and Percent Recovery using MSCR Method*.

- Tanto el SALTO DE GRADO como el PG-PLUS resultaron procedimientos limitados para la clasificación de asfaltos modificados, lo cual, en determinados lugares, llevó a la aplicación de asfaltos más rígidos con elevados grados PG. Las temperaturas de prueba fueron tan elevadas, que ocasionaron que los proveedores fabriquen asfaltos MUY modificados que son difíciles de trabajar a temperaturas razonables.
- 2010's – Por lo descrito precedentemente, el programa NCHRP 9-10 desarrolló una prueba repetida de deformación (fluencia)-recuperación para caracterizar cemento asfáltico modificado, lo que dio inicio al procedimiento de la prueba Multiple-Stress Creep-Recovery (MSCR). El ensayo MSCR utiliza los conceptos de deformación y recuperación para evaluar el potencial de deformación permanente del cemento asfáltico.⁷
 - La prueba MSCR, trabaja con niveles más altos de tensión en aplicaciones cíclicas de carga bajo diferentes temperaturas, lo que representa de mejor manera lo que ocurre en un pavimento en fase de servicio.
 - Al aplicar niveles más altos de tensión en la prueba de MSCR, la respuesta del asfalto captura no solo los efectos de rigidez del polímero, sino también los efectos elásticos.
- Luego de un apropiado período de pruebas, finalmente el año 2014 y 2015 el MSCR fue estandarizado por AASHTO y ASTM, respectivamente:
 - Performance Graded Asphalt Binder Using Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) test: AASHTO M332-14 y ASTM D7405 - 15

2. DEL GRADO DE PENETRACIÓN AL GRADO DE DESEMPEÑO

El grado de penetración fue la primera forma de clasificar los asfaltos, y a partir de 1960 se "mejoró" el procedimiento de clasificación con la inclusión de la evaluación de la viscosidad del asfalto, ambas formas de clasificar el cemento asfáltico tienen vigencia en las especificaciones que se aplican para la construcción de pavimentos asfálticos de Bolivia.

El año 2002, se estandarizó la especificación M320 que establecía la aplicación de una serie de ensayos con un nuevo paradigma que considera la simulación del uso del cemento asfáltico en los

⁷ Asphalt Institute, (2014). *MS-25 Asphalt Binder Testing*. AI

tres tiempos de aplicación: durante la fabricación, durante la etapa de servicio inicial y durante la etapa de servicio simulando un CA envejecido.

La prueba de penetración, llevada a efecto a 25°C, no guarda relación con las temperaturas a las cuales el asfalto será sometido en estado de servicio, aun siendo sometido a envejecimiento en el ensayo de película delgada en horno, la especificación asume situaciones que no ocurren en la realidad, siendo que existen temperaturas que pueden alcanzar valores extremos. En todo caso la clasificación por “penetración” resulta insuficiente para medir la calidad del asfalto siendo de carácter prácticamente unidimensional, dado que es el único ensayo que define el grado asfáltico⁸. Por otra parte, el método resulta obsoleto, siendo que AASHTO ha discontinuado la especificación M-20.⁹

La tabla muestra los ensayos AASHTO correspondientes a cada uno de los tres procedimientos de clasificación del cemento asfáltico.

Tabla 1.
Ensayos de clasificación del Cemento Asfáltico

GRADO DE PENETRACIÓN AASHTO M20–1924 DESCONTINUADO	GRADO DE VISCOSIDAD- CLASIFICACIÓN AC AASHTO M226 - 1970	GRADO DE DESEMPEÑO AASHTO M320 - 2002
Ensayos muestra original • Penetración 25°C T-49 • Punto de inflamación T-48 • Ductilidad 25°C T-51 • Solubilidad T-44	Ensayos muestra original • Viscosidad absoluta 60°C T-202 • Viscosidad cinemática 135°C T-201 • Penetración 25 °CT-49 • Punto de inflamación T-48 • Ductilidad 25°C T-51 • Solubilidad T-44	Ensayos muestra original Seguridad y trabajabilidad • Punto de inflamación FP T-48 • Viscosidad rotacional RV 135°C T-316 Ahuellamiento-Reómetro dinámico de corte DSR • Deformación por corte temperaturas intermedias a altas 46°C a 82°C T-315 Parámetro de cálculo $G^*/\sin \delta$

⁸ A.Marino, (2018). *Estudio del más reciente estado del arte para la selección de cementos asfálticos para considerar su uso en la fabricación de Concreto Asfáltico*. Universidad Mayor de San Andrés.

⁹ AASHTO (2017). *Status of AASHTO Materials Standards and Test Methods*.

Ensayos muestra envejecida TFO • Penetración 4°C T-49 • Ductilidad 25°C T-51	Ensayos muestra envejecida RTFO • Viscosidad absoluta 60°C T-202 • Ductilidad T-51 25°C	Ensayos muestra envejecida RTFO • Fatiga temperaturas intermedias a altas 46°C a 82°C DSR T-315 Parámetro de cálculo $G^*/\sin \delta$ Ensayos muestra envejecida PAV • Fatiga temperaturas intermedias 4°C a 40°C DSR T-315 Parámetro de cálculo $G^* \sin \delta$ • Fluencia-Rigidez a bajas temperaturas mediante reómetro de viga a flexión - 30°C a 0°C BBR T-313 • Capacidad del asfalto para deformarse sin romperse a través de Tensión directa a bajas temperaturas -36°C a +6°C DTT T-314
Los ensayos son Test de AASHTO	Los ensayos son Test de AASHTO	Los ensayos son Test de AASHTO
Rango de temperatura de ensayos • 4 °C y 25°C • No se asemeja a condiciones reales de desempeño	Rango de temperatura de ensayos • 25°C, 60°C, 125°C • Las temperaturas de prueba se asemejan a condiciones de desempeño y aplicación del C.A.	Rango de temperatura de ensayos • Temperaturas altas 46°C a 82°C • Intermedias y bajas -36°C a 40°C • Las temperaturas varían de 6 en 6°C para cada ensayo

Fuente: Elaboración propia.

Siendo la viscosidad una propiedad fundamental del asfalto, la especificación M-226 proporciona información que mejora cualitativamente la clasificación del cemento asfáltico, y también ofrece información con muestras envejecidas en TFO (Thin Film Oven). A diferencia de la M-20, además

de la viscosidad de dos temperaturas mide la penetración, de hecho, su aplicación es recomendable en lugares donde aún no son aplicados métodos más sofisticados para la clasificación del cemento asfáltico.

La especificación M-320, establece como parámetros básicos de la clasificación del cemento asfáltico el Módulo complejo de corte G^* y el ángulo de fase δ , cuya magnitud se obtiene con la aplicación del Reómetro Dinámico de Corte, valores que permiten caracterizar el comportamiento viscoso y elástico del asfalto con el cálculo del parámetro $G^*/\sin \delta$ bajo un rango de temperaturas que varían en grados de 6 en 6 grados centígrados, y se aplican en tres escenarios de simulación, estado original del asfalto, envejecido por RTFO y envejecido por PAV, a temperaturas altas e intermedias. Adicionalmente se mide, en muestras envejecidas con PAV, la tensión de fluencia a determinada rigidez y la habilidad del asfalto para deformarse sin romperse a bajas temperaturas a través del ensayo de tensión directa. Cada una de las pruebas se realiza con equipos detalladamente especificados, temperaturas controladas y tiempos de carga rigurosamente controlados.¹⁰

Aun siendo muy interesante entrar en mayores detalles de la especificación M-320 y de los respectivos ensayos, no es objeto de este artículo una mayor explicación de tal especificación, sin embargo, el tema queda para un próximo artículo.

Sí es importante reiterar algunos puntos detallados en la descripción de la clasificación de los asfaltos, entonces es necesario indicar que la clasificación realizada con la M-320 asume que todos los asfaltos con el mismo PG se comportan de la misma manera ante las mismas condiciones de clima y de tráfico, independientemente de su origen o de detalles de su producción, siendo que ha sido evidenciado que el parámetro $G^*/\sin \delta$ no resulta adecuado para la clasificación del rendimiento del cemento asfáltico a altas temperaturas, especialmente aquellos modificados con polímeros, lo cual ha llevado a los investigadores a buscar otros parámetros posibles que puedan relacionarse mejor con la resistencia a la deformación y también buscar formas de mejorar el parámetro $G^*/\sin \delta$ para que sea más sensible al rendimiento del pavimento.¹¹

Lo descrito en el párrafo precedente, sumado a las inconsistencias del salto de grado, establecieron la necesidad de un complemento a la especificación M-320, que permita la clasificación de asfaltos modificados con polímeros, toda vez que hoy por hoy los asfaltos que se aplican en la construcción de carreteras son preferentemente asfaltos modificados, como una

¹⁰ Asphalt Institute, (2014).MS-25 *Asphalt Binder Testing*. AI.

¹¹ A. Shenon, (2001). *Refinement of the Superpave Specification Parameter for Performance Grading of Asphalt*.

necesidad imperiosa de aplicar asfaltos que reúnan las condiciones más favorables para su desempeño según el lugar donde serán utilizados y las cargas que transitarán sobre la superficie de concreto asfáltico.

Como consecuencia, fue desarrollada la especificación AASHTO M332-14 (ASTM D7405-15) Performance Graded Asphalt Binder Using Multiple Stress Creep Recovery (MSCR).

3. MULTIPLE STRESS CREEP RECOVERY

El MSCR es un procedimiento que establece un complemento necesario para la especificación AASHTO M-320 cuyo objetivo es superar las insuficiencias y deficiencias verificadas y experimentadas con asfaltos modificados.

Es oportuno indicar que la tendencia en la construcción de carreteras, en general y particularmente en Bolivia, es la aplicación de asfaltos modificados por las consideraciones relativas a la reducción de la calidad de los cementos asfálticos base.

Lo descrito anteriormente, plantea el escenario favorable para una apropiada clasificación de los asfaltos modificados, la especificación AASHTO M332-14 (ASTM D7405-15) Performance Graded Asphalt Binder Using Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) proporciona una adecuada alternativa.

La prueba MSCR usa el concepto, bien establecido, de prueba de fluencia y recuperación para evaluar el potencial del asfalto para la deformación permanente.

El equipo que emplea es el mismo que se utiliza para atender la especificación M-320. El REÓMETRO DINÁMICO DE CORTE DSR, se aplica una secuencia de pruebas considerando:

- Asfalto Original
- Asfalto envejecido con RTFO,
- Asfalto envejecido con PAV,

Los ensayos (Test) que AASHTO ha estandarizado para dar forma a la especificación M-332 son:

- AASHTO T-350 Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR),

Que es una prueba de desempeño del asfalto estudiado, para definir el concepto de tensión deformación de un C.A. El MSCR mide la deformación de una muestra de asfalto tras someterla a un determinado número de ciclos de carga y descarga a dos distintos niveles de esfuerzo.

Con los resultados del ensayo es posible definir, de manera adecuada, para qué tipo de tránsito puede ser usado el asfalto.

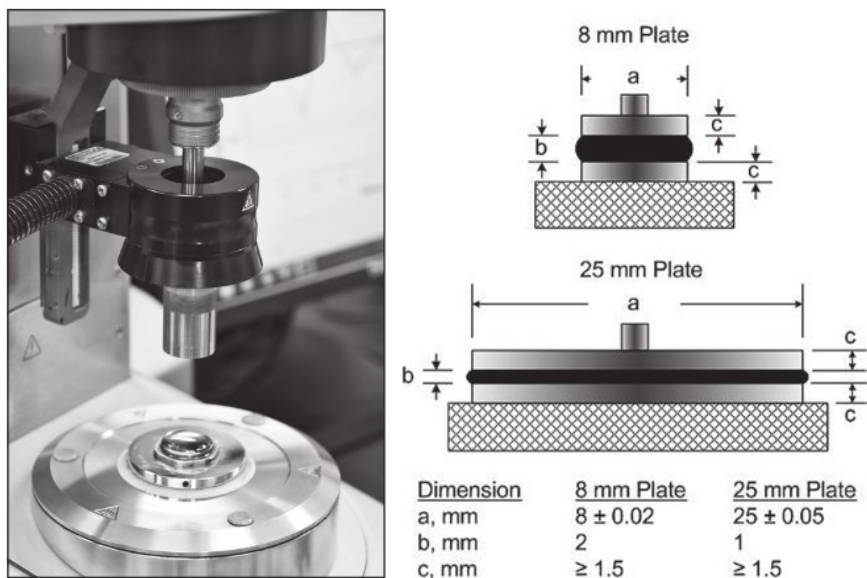
- AASHTO T-315 Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR).

El ensayo MSCR usa el concepto de deformación y recuperación para evaluar el comportamiento de un asfalto ante la deformación permanente.

Para esta prueba se requiere el DSR (Reómetro Dinámico de Corte).

Figura 2.

Reómetro dinámico de corte y configuración de las placas. MS-25 Asphalt Binder Testing.



Fuente: Asphalt Institute.

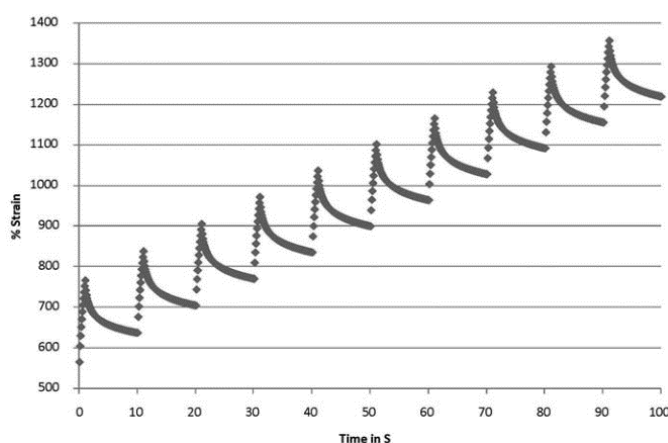
Para su correcta realización, los ensayos requieren una serie de consideraciones y detalles, que no se incluye en este artículo, por lo que aliento al lector a identificar y revisar las especificaciones de los Test, aquí mencionadas, AASHTO T-315 Y AASHTO T-350. En todo caso se muestran importantes detalles de la prueba:

- Aplicar durante 1 segundo una carga al asfalto RTFO-envejecido
- Luego de retirarla
- Dejar que la muestra se recupere durante 9 segundos.
- El ensayo comienza con una carga de 0.1 [KPa]
- Se realizan 10 ciclos de carga y recuperación,
- Posteriormente se aumenta la carga hasta 3.2 [KPa]
- Se completan otros 10 ciclos.

En la figura se puede visualizar el comportamiento del asfalto al ser sometido a los 10 ciclos de prueba. Se mide la recuperación de cada ciclo, en el gráfico se identifica un asfalto de estructura fuerte en el que la recuperación de la deformación es elevada.

Figura 3.

Prueba deformación-recuperación. Respuesta al MSCR. MS-26 The Asphalt Handbook.



Fuente: Asphalt Institute.

Las tensiones múltiples se aplican de manera sucesiva considerando las variaciones de temperatura propias de la especificación. Así, la recuperación puede ser usada en combinación con el parámetro Jnr para indicar si el asfalto tiene un componente suficientemente elástico, a partir de los valores de Respuesta Elástica y de Jnr, para tensiones de 0.1 [KPa] y 3.2 [KPa].

Para determinar el Nivel de Tráfico para el cual la muestra de asfalto analizada es apta, según los cálculos realizados, se evalúan los resultados según los rangos que detalla la siguiente tabla.

Tabla 2.
Nivel de tráfico basado en Jnr. Elaborado con base en AASHTO M-332.¹²

GRADO MSCR	NIVEL DE TRÁFICO		JNR _{3.2} [kPa ⁻¹]	ESALS [millones]	VELOCIDAD [km/h]	VELOCIDAD TRÁFICO LENTO [km/h]
S	Standard	Estándar	$4 > x > 2$	< 10	> 70	
H	Heavy	Pesado	$2 > x > 1$	$30 > x > 10$	20 - 70	
V	Very Heavy	Muy pesado	$1 > x > 0.5$	> 30		< 20
E	Extremely Heavy	Extremadamente pesado	< 0.5	> 30		< 20

Fuente: Asphalt Institute.

En esta clasificación existen 4 grados, y se definen como:

“S” Tráfico Estándar, para un nivel de tráfico menor a 10 millones de Ejes Equivalentes y velocidades mayores a 70 [km/h]

“H” Tráfico Pesado, para niveles de tráfico entre 10 y 30 millones de Ejes Equivalentes o tráfico lento, entre velocidades de 20 a 70 [km/h]

“V” Tráfico Muy Pesado, para un nivel de tráfico mayor a 30 millones de Ejes Equivalentes o tráfico lento, a velocidades menores a 20 [km/h]

“E” Tráfico Extremadamente Pesado, para un nivel de tráfico mayor a 30 millones de Ejes Equivalentes y tráfico lento, a velocidades menores a 20 [km/h]

Entonces el MSCR permite:

- Medir la deformación permanente generada por unidad de esfuerzo.
- Calcular la respuesta elástica.

¹² A.Marino (2018). *Estudio del más reciente estado del arte para la selección de cementos asfálticos para considerar su uso en la fabricación de Concreto Asfáltico*. Universidad Mayor de San Andrés.

- Medir la dependencia del comportamiento a diferentes niveles de esfuerzo.
- Establecer la Memoria elástica y la Capacidad elástica real.
- Deformación total acumulada concluidos los ciclos.
- Los ensayos simulan las temperaturas a las que estará expuesto el asfalto.
- Establecer el tráfico que el concreto asfáltico podrá soportar.

Como resultado de la aplicación de la especificación M-332, se han experimentado cambios en la clasificación del cemento asfáltico. La siguiente tabla, extraída de la publicación de Gregory Harder para el AI, muestra comparativamente el cambio de la clasificación en tres estados del noreste de USA.

Tabla 3.
*Cambios en la clasificación del cemento asfáltico. Asphalt Magazine.*¹³

MARYLAND		NEW YORK		CONNECTICUT	
Antes	Ahora	Antes	Ahora	Antes	Ahora
PG 76-22	PG 64E-22	PG 70-22	PG 64E-22	PG 76-22	PG 64E-22
PG 70-22	PG 64E-22	PG 64-22	PG 64V-22	PG 64-22	PG 64S-22
PG 64-22	PG 64S-22	PG 58-34	PG 58e-34		
PG 58-28	PG 58S-28				

Fuente: Asphalt Institute.

Al eliminarse el salto de grado, las temperaturas máximas reducen a valores menores y se incluye la sub clasificación “S”, “E” y “V”, en la comparación de clasificación de los asfaltos.

En el estado de Maryland, las clasificaciones PG 76-22 y PG 70-22 se modifican a PG 64-22E al igual que para los estados de Nueva York y Connecticut. La reducción de la temperatura elevada define un cemento asfáltico de mayor trabajabilidad comparado con el asfalto resultante de la elevación de las temperaturas a través del método empírico del Salto de grado.

En todo caso, el documento consultado concluye que “la transición a la especificación MSCR ha sido prácticamente perfecta para los tres estados y ninguno de ellos se arrepiente de su decisión”.

¹³ G.Harder (2018). Full implementation of Mutiple Stress Creep Recovery (MSR). Asphalt Magazine AI

4. ESPECIFICACIONES EN BOLIVIA

Al primer cuarto del siglo XXI, en Bolivia aún no ha sido establecido un estándar para los requerimientos del cemento asfáltico para carreteras con pavimento asfáltico, de hecho, para cada proyecto de ingeniería son elaboradas especificaciones técnicas particulares sin que exista un criterio unificado para la selección del cemento asfáltico.

Aplicando la clasificación por Penetración en tiempos pasados, sin que sea un procedimiento oficialmente establecido para el asfalto convencional, se había “regionalizado” el cemento asfáltico considerando penetración 60-70 para climas cálidos y 85-100 para climas fríos. A su vez, la Administradora Boliviana de Carreteras, el año 2011 publicó el Manual de Especificaciones Técnicas Generales de Construcción, en el que establece ensayos para la selección y el control de calidad del cemento asfáltico.

La especificación ETG 2 – 20 Suministro de cemento asfáltico modificado con polímeros, clasifica el cemento asfáltico en 4 tipos:

- Tipo I Cemento asfáltico modificado con elastómeros, principalmente SBS
- Tipo II Cemento asfáltico modificado con látex de hule SBR o neopreno
- Tipo III Cemento asfáltico modificado con acetato vinilo etileno EVA

La Tabla 4, detalla los ensayos que se aplican para la clasificación de los diferentes tipos de Cemento Asfáltico. Se evidencia que los ensayos corresponden a pruebas de calidad convencionales que miden propiedades del asfalto en un estado que no tiene siquiera proximidad al estado de servicio, el protocolo de ensayos, en cada caso, no permite establecer condiciones de desempeño del cada tipo de cemento asfáltico, por lo que no será posible establecer la idoneidad del asfalto para las condiciones en las que será sometido durante la etapa de servicio.

Tabla 4.
Ensayos para clasificar el Cemento Asfáltico modificado ¹⁴

ENSAYO DE LABORATORIO	NORMA	TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO		
		I	II	III
Penetración, a 25° C, 100g y 5s	AASHTO T 49	x	x	x

¹⁴ ETG 2 – 20 (2011). *Manual de Especificaciones Técnicas Generales de Construcción*. Administradora Boliviana de Carreteras

Penetración, a 4° C, 100g y 5s	AASHTO T 49	x		x
Viscosidad, 60° C, Poises	AASHTO T 202	x	x	
Viscosidad, 135° C, centi Stokes	AASHTO T 201	x	x	x
Ductilidad, 4° C, 5 cpm, mm	AASHTO T 51		x	
Punto de ablandamiento R & B, °C		x		x
Punto de Flama, ° C	AASHTO T 48.	x	x	x
Solubilidad en Tricloro etileno (TCE), %	AASHTO T 44	x	x	
Separación, diferencia R&B, °C		x		
Endurecimiento, 25° C, 20 ipm, N-m	ASTM D 5801		x	
Tenacidad, 25° C, 20ipm, N-m	ASTM D 5801		x	
Ensayo del Residuo del Horno de Película Delgada (RTFOT)	AASHTO T 240.	x	x	x
Recuperación elástica	AASHTO T 179	x		
Penetración, a 4° C, 100g y 5s	AASHTO T 49	x		x
Viscosidad, 60° C, Poises	AASHTO T 202		x	
Ductilidad, 39.2, 5 cpm, mm	AASHTO T 51		x	
Endurecimiento, 25° C, 20ipm, N-m	ASTM D 5801		x	
Tenacidad, 25° C, 20 ipm, N-m	ASTM D 5801		x	

Fuente: Asphalt Institute.

Ahora, la especificación detallada en la Tabla 4 no se aplica en la práctica, donde son especificaciones particulares las que se utilizan según sea el caso. A manera de ejemplo se muestra a continuación la especificación particular que se aplica para en proyectos en actual ejecución en Bolivia.

Proyecto 1. Obra en fase de licitación, especifica el asfalto como ETG 0-12 Cemento Asfáltico Convencional PEN 85-100 estableciendo la aplicación de la especificación descontinuada AASHTO M-20, también especifica control por grado de viscosidad.

Proyecto 2. Obra en fase de licitación, especifica el asfalto como ETG 2-13 Cemento Asfáltico modificado con polímeros, el asfalto está modificado con SBS con grado de desempeño PG 70-28, y los ensayos de control de calidad se muestran en la Tabla 5.

Los ensayos de la tabla 5 no coinciden con los de la tabla 4 (Tipo I) más que en pruebas convencionales como la penetración, y se identifican diferencias sustanciales, la Tabla 5 mide la viscosidad Brookfield. Los ensayos de la tabla 5 completan la especificación AASHTO M320.

Tabla 5.
Especificaciones cemento asfáltico modificado con polímeros PG 70-28

DESCRIPCION		UN	PG 70-28	NORMA AASHTO/ASTM
Penetración, 25°C, 100 g, 5s		0,1 mm	40- 70	T49 / D5
Punto de Ablandamiento		°C	mín. 55	T53 / D36
Punto de Inflamación		°C	230	T48 / D92
Viscosidad de Brookfield				
A 135°C, Spindle 21, a 20 rpm, máx.		cP	máx. 2000	
A 150°C, Spindle 21, a 50 rpm, máx.		cP	máx. 1500	T316 / D4402
A 177°C, Spindle 21, a 100 rpm, máx		cP	máx. 1000	
Recuperación elástica a 25°C, 20 cm		%	mín. 70	T301 / D6084
Ensayo estabilidad al almacenamiento, máx.	Dif. A&B	°C	5	NLT-328
	Dif. Penetración	mm	9	NLT-328
Ductilidad 5 C, 5 cm/min, mínimo		cm	10	T51 D-113
Porcentaje de penetración original		%	mín. 60	T49 / D5
Variación del punto de ablandamiento		°C	max 5	T53 / D36
Porcentaje de recuperación elástica original a 25°C, 20 cm		%	mín. 80	T301 / D6084
Variación en masa		%	máx. 1	T240 / D2872
CARACTERÍSTICA		UN	NORMA	DESEMPEÑO PG70-28
Promedio 7 días de temperatura máxima de diseño de Pavimento		°C	AASHTO PPI	< 70
Temperatura mínima de diseño de pavimento > a		°C	AASHTO PPI	-28
AGLUTINANTE ORIGINAL				
Temperatura de punto de inflamación, mínima		°C	AASHTO T-48	230
Viscosidad 3pa.s, Temperatura de prueba, máxima		°C	AASHTO T-316; ASTM D4402	135
Cizalla Dinámica G*/sen δ, min. 1.00 kpa. De 25 mm, plato 1 mm de espacio, temp de prueba 10 rad/s		°C	AASHTO TP5	70
RTFO (HORNO SOBRE PELICULA DELGADA ROTATORIA), AASTHO T240, D-2872				
Pérdida de masa, máxima		%		1.0
Cizalla Dinámica G*/sen δ, min. 220 kpa. De 25 mm, plato 1 mm de espacio, temp de prueba 10 rad/s		°C	AASHTO TP5	70
RESIDUO DE RECIPIENTE PARA ENVEJECIMIENTO A PRESION AASHTO PP1				
Temperatura de envejecimiento		°C		100 (110)

G*/sen δ , max. 5000 kpa. Plato 8 mm., 2mm de espacio, temp de prueba 10 rad/s	°C	AASHTO TP5	25
Resistencia a la fluencia: S, max 300 Mpa, valor m, min, 0.300, Temp de prueba en 60 s	°C	AASHTO TP1	-18
Tension directa: Falla de deformacion, min 1.0%. Temp de prueba a 1.0 mm/minuto	°C	AASHTO TP3	-18

Fuente: Elaboración propia.

La especificación detalla textualmente “Estos ensayos deberán realizarse en laboratorios especializados (que pueden ser del exterior del país) que cuenten con la Tecnología Superpave” estableciendo una limitación tecnológica que impide una aplicación plena de la forma de clasificar el cemento asfáltico con la especificación AASHTO M-320.

Sin embargo, la mayor limitación de la especificación técnica del proyecto en particular, es que considera la aplicación de una forma de clasificación del asfalto que, según la evidencia científica, no es apta para clasificar asfaltos modificados con polímeros tipo SBS. Entonces la regla aplicada establece de facto una insuficiencia en la clasificación del asfalto que podrá ser aplicado en la construcción de una carretera.

5. CONCLUSIONES

Se ha presentado de manera resumida la especificación AASHTO M-332 y los ensayos AASHTO T-315 y AASHTO T-350 como alternativas adecuadas para la clasificación de cementos asfálticos modificados destinados a la construcción de concreto asfáltico.

En este escenario tecnológico, la ingeniería de pavimentos en Bolivia debe superar la actual zona de confort e incorporar métodos modernos de clasificación. Es necesario establecer especificaciones claras para la aceptación y el control de calidad, garantizando la selección de materiales idóneos según la región y las condiciones de servicio.

La clasificación del cemento asfáltico requiere rigurosidad, ya que se trata de un insumo esencial en el pavimento flexible y representa un elevado costo en la construcción de carreteras, además de ser un producto importado con limitada oferta. Para ello, su selección debe realizarse con la mayor precisión posible.

Si bien la especificación AASHTO M-320 fue estandarizada hace más de 20 años, en Bolivia aún no se aplica por la falta de laboratorios con capacidad plena para su implementación. Por otra parte, la evidencia científica ha demostrado que la M-320 es insuficiente para asfaltos modificados con

polímeros, por lo que la ingeniería de pavimentos del país debe orientarse a la aplicación de la M-332.

Será necesario que la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC) promueva el montaje de laboratorios equipados para realizar estos ensayos y que se capacite a profesionales y técnicos en el uso de la especificación M-332. Mientras ello no sea posible, se recomienda estandarizar y regionalizar la M-226, que mantiene vigencia en varios países donde aún no se aplica Superpave.

Finalmente, es pertinente considerar también la experiencia europea, donde se aplican procedimientos de clasificación con equipos menos costosos. Entre los ensayos más relevantes previstos por la norma UNE-EN 14023:2010 se incluyen, además de la penetración, la medición del punto de reblandecimiento, la recuperación elástica, y la estabilidad al almacenamiento, parámetros fundamentales para evaluar cementos asfálticos modificados con polímeros, tema que será desarrollado en un próximo artículo.