

# ASFÁLTICA

## REVISTA TÉCNICA

*pavimentar es un arte*



- ☞ **Caracterización mecánica de una mezcla asfáltica tibia con aditivos químicos**
- ☞ **Evaluación mecánica de una mezcla asfáltica con altos contenidos de RAP**
- ☞ **Evaluación de la reducción del impacto ambiental y consumos de una mezcla asfáltica tibia frente a una mezcla asfáltica caliente convencional**



**▶ DEDICADOS A LA  
EXCELENCIA**



**ENCUÉTRANOS**

**GRAN CAPACIDAD DE  
almacenamiento y el mayor  
distribuidor de PEMEX.**

**MAS DE 30,000 KM  
construidos con Asfalto  
Modificado Stylink<sup>MR</sup>**







**PAVE  
DOCTOR**  
PLUS



**Innova3**  
PAVIMENTOS



## CAMIÓN 1 H-DR

### VIA FRICTION

Determina el coeficiente de fricción del pavimento en forma continua a la velocidad de operación de la vía. Cuenta con gran autonomía, sistema de fotografía continua y GPS.

### H-DR

Fusiona la tecnología de nuestro georadar HyperPav y nuestro perfilómetro láser transversal PaveDoctor para realizar detalladas inspecciones del pavimento a velocidad de operación de la vía. El HyperPav obtiene contenido de asfalto, vacíos en el agregado mineral, contenido de agua, peso volumétrico total, peso volumétrico seco y porcentaje de vacíos de aire, mientras el PaveDoctor genera una imagen 3D del pavimento determinando profundidad de rodera, nivel de agrietamiento, secciones transversales, reflexión de las marcas viales, radios de curvatura y perfil longitudinal al tiempo que ejecuta fotografía continua.

### CIENCIA APLICADA A LOS PAVIMENTOS

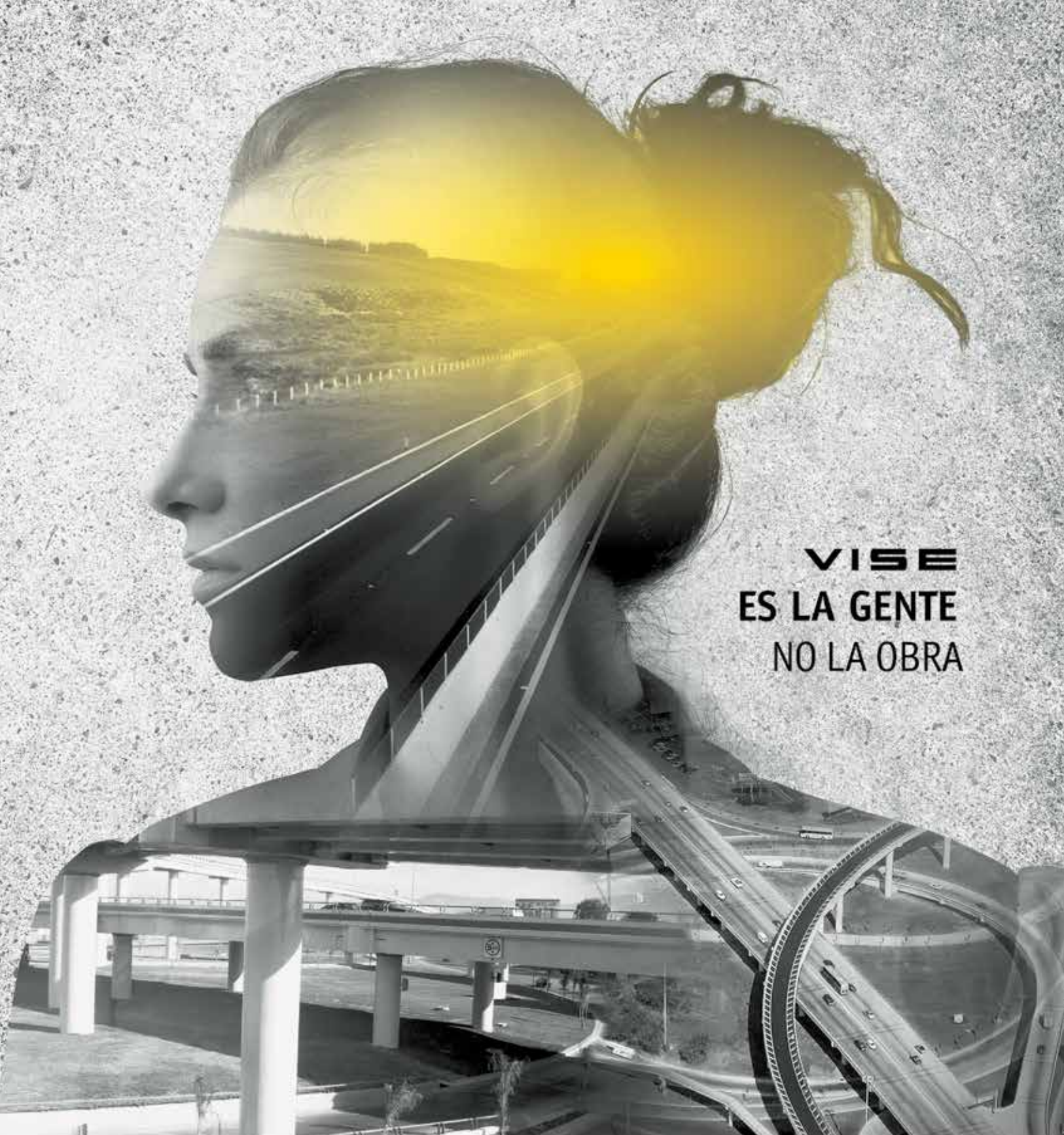
Carretera Estatal a Coronango No.306  
Int.18 B Fraccionamiento El Lucero  
San Pedro Cholula, Puebla 72755

tel. (222) 289 79 32 • 573 90 09  
pavimentos@innova3.com.mx

[www.innova3.com.mx](http://www.innova3.com.mx)

 Innova 3 Pavimentos





**WISE**  
**ES LA GENTE**  
**NO LA OBRA**

Durante más de 50 años hemos desarrollado obras con sentido social que conectan vidas, sueños e ideales. Nuestros proyectos llevan desde la planeación, ejecución y uso final, un enfoque Humano integral que garantiza obras cuyo beneficio **TRASCIENDE A CONTRIBUIR POR UN MUNDO MEJOR**

[wise.com.mx](http://wise.com.mx) | [wise@wise.com.mx](mailto:wise@wise.com.mx) | 01-800-087-28-51

 / Constructora-VISE

 @VISEMX





# Sumario

---

- 6** Caracterización mecánica de una mezcla asfáltica tibia con aditivos químicos
- 18** Evaluación mecánica de una mezcla asfáltica con altos contenidos de RAP
- 31** Amor, paz y... asfalto
- 34** Evaluación de la reducción del impacto ambiental y consumos de una mezcla asfáltica tibia frente a una mezcla asfáltica caliente convencional
- 43** Influencia de los aditivos rejuvenecedores del asfalto en las propiedades reológicas del mismo
- 53** Preservación del pavimento: ¿que, por qué y cómo?
- 57** La paradoja resiliente de la mezcla aún compactable
- 61** Equilibrando trabajo y familia

## Presidenta

Verónica Flores Déleon

## Vicepresidentes

Carlos Humberto Ruiz Muñoz  
Raymundo Benítez López  
J. Jesús Martín del Campo Limón

## Secretario

Luis Eduardo Payns Borrego

## Tesorero

José Genaro Cabrera Mateos

## Vocales

Javier Gutiérrez Cisneros  
Francisco Javier Moreno Fierros  
Daniel Montemayor Aguirre  
Arturo Valdez Covarrubias  
Horacio Delgado Alamilla  
Fernando Mazín Cristo  
Mario René Preza González

## Comité de Vigilancia

Leonardo Nahle Ortiz  
Ricardo Rives Robles  
Alejandro Jiménez Cabrera

## Comisión de Honor

Fernando Pérez Holder  
Roberto Garza Cabello  
Ignacio Cremades Ibáñez

## Director General

Jorge E. Cárdenas García  
dirgral@amaac.org.mx  
www.amaac.org.mx

## Diseño

Lizbeth de Lucio





# Editorial

---



## **Estimados socios:**

Inicia un nuevo año 2016 lleno de retos y nuevos desafíos. El entorno económico se ve afectado por la caída en los ingresos petroleros, la estabilización de los ingresos tributarios, el aumento en el costo del servicio de la deuda y la cada vez más inminente alza de tasas de la Reserva Federal de Estados Unidos, augurando un panorama incierto para México, no solo con impacto en las finanzas públicas, sino también para los proyectos de inversión.

No menos importante mencionar que siendo el cambio climático uno de los problemas más complejos que afronta la humanidad, es una buena noticia que los acuerdos alcanzados en la pasada cumbre del cambio climático (COP21) hayan concluido favorablemente con acuerdos que marcan un punto de inflexión en el objetivo mundial de lograr un futuro más seguro, sostenible y próspero.

En la industria del asfalto hay mucho que aportar para contribuir al logro de estas metas para asegurar la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, gracias a las nuevas tecnologías y procedimientos novedosos que debemos seguir apoyando y difundiendo.

Durante 2015 en AMAAC se tuvieron múltiples actividades, con nutrida presencia en diferentes foros, recurrentes reuniones de trabajo tanto con socios, funcionarios de distintas entidades, colegas de las sociedades técnicas, colegios y cámaras, con presencia en varias ciudades de la República, tanto en seminarios, cursos, como nuestro congreso bienal, apegados a nuestro plan de trabajo que parte de una visión estratégica de largo plazo, dando continuidad a la trayectoria de AMAAC.

Un aspecto fundamental a mencionar es el estrecho diálogo que tenemos con nuestros aliados, me refiero a la SCT, Capufe, Gobierno del Distrito Federal y Pemex, con quienes hemos reforzado nuestra colaboración en diferentes comités y puntuales aportaciones, gracias a la confianza que nos han depositado.



---

Asimismo, hemos seguido trabajando en la vinculación con universidades, acercándonos a los jóvenes estudiantes de licenciatura y postgrados, sabiendo que en ellos está la semilla del futuro. Por ello durante 2015, AMAAC tuvo presencia en 11 universidades: Ibero, IPN, UNAM, FES Aragón, UDLAP, UABC, Anáhuac del Mayab, UADY, TEC Monterrey, la UV, y Los Tuxtlas, impartiendo conferencias y jornadas técnicas.

Es grato compartirles que el pasado mes de octubre se llevó a cabo la 2ª Reunión Académico Estudiantil, con una estupenda participación de más de 120 asistentes. A la fecha ya contamos con ocho Comités Técnicos Estudiantiles conformados por jóvenes entusiastas que quieren participar activamente con AMAAC y especializarse en pavimentos flexibles.

Tenemos un compromiso intergeneracional, tanto en AMAAC, como en México. Necesitamos seguir actuando de manera innovadora para ser más competitivos en el mercado, es menester seguir cerrando la brecha tecnológica que hoy nos separa de los países desarrollados, apuntalados con una visión sustentable. Por ello, la labor de los Comités Técnicos es fundamental para seguir consolidando el conocimiento y la experiencia de todos, en beneficio de la calidad y las mejoras tecnológicas para los pavimentos flexibles de México.

Toda esta labor es gracias a la participación y compromiso de todos ustedes, socios y amigos de AMAAC, a quienes extiende un cumplido agradecimiento por haber formado parte fundamental de estos logros, invitándolos a seguir siendo promotores de la calidad y las buenas prácticas, con innovación y compromiso para seguir abonando al prestigio de todos los que formamos parte de este gremio.

Les deseo unas felices fiestas y un próspero año nuevo 2016.

**Ing. Verónica Flores Déleon**  
*Presidenta del Noveno Consejo Directivo*



**El carro de heno**  
*John Constable (1776-1837)*

Inglés de nacimiento, es considerado como uno de los primeros pintores al aire libre. La región de Suffolk fue el tema preferido de su obra, hasta el punto de que el área del Valle de Dedham, en dicha región, se conoce como “el país de Constable”.

*Ilustración sobre el original*  
Por: Omar Maya V.



# Caracterización mecánica de una mezcla asfáltica tibia con aditivos químicos

Horacio Delgado,<sup>1</sup> Aldo Salazar,<sup>2</sup> Yelitza Ayala del Toro,<sup>3</sup>

Mayra Flores,<sup>4</sup> Paul Garnica<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Instituto Mexicano del Transporte, hdelgado@imt.mx

CILA 2015

## Introducción

En los últimos años se ha desarrollado una conciencia ecológica a nivel mundial, que se ha visto reflejada en los nuevos desarrollos en mezclas asfálticas para carreteras. Siendo las mezclas tibias las que más han sido utilizadas en países desarrollados, debido a los beneficios y ventajas que proporcionan tales como: la utilización de agregados húmedos propios del sitio, la facilidad de mezclado, temperaturas de aplicación bajas, eliminación del riesgo de incendio.

Este tipo de mezclas contribuyen a favorecer el medio ambiente en cuanto a la reducción de problemas de degradación de la calidad del aire, la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y del uso de recursos naturales así como la facilidad de ajuste de la composición de las mezclas, lo que proporciona un ahorro de energía y de costos de producción.<sup>[1]</sup>

Sin embargo, los aportes mecánicos en cuanto a propiedades de desempeño son variados, ya que diferentes investigaciones realizadas a nivel internacional indican desde propiedades similares a las de una mezcla asfáltica en caliente hasta reducciones de 50% de propiedades de desempeño. Además otra de las complejidades actuales radica, en si los ensayos establecidos para la determinación del desempeño del asfalto y mezclas asfálticas son adecuados para estos nuevos materiales asfálticos.<sup>[2,3]</sup>

Por lo tanto es indispensable realizar evaluaciones para determinar las propiedades de desempeño de este tipo de mezclas utilizando materiales empleados en México, para conocer su comportamiento mecánico cuando formen parte del pavimento.

## Descripción del experimento

El estudio tiene dos objetivos principales, el primero es determinar las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica tibia y como segundo objetivo determinar si los ensayos existentes son representativos para este tipo de materiales.

Para hacer esta determinación se evaluaron tres propiedades de los materiales asfálticos: Propiedades viscoelásticas, propiedades de deformación permanente, y propiedades de fatiga. Estas propiedades se evaluaron tanto en el ligante asfáltico como en la mezcla asfáltica. Los ensayos realizados son los siguientes:



Propiedades viscoelásticas lineales

- Ligante asfáltico: Ensayo de corte dinámico DSR (ASTM D7175-08)
- Mezcla asfáltica: Ensayo de módulo dinámico en compresión axial (AASHTO T342-11)

Propiedades de deformación permanente:

- Ligante asfáltico: Ensayo de creep repetido, Jnr (D7405-10)
- Mezcla asfáltica: Número de Flujo, FN (AASHTO TP 79-11)

Propiedades de fatiga:

- Ligante asfáltico: Barrido de amplitud lineal, LAS (AASHTO TP 101-14)
- Mezcla asfáltica: Ensayo de fatiga en viga de flexión en 4 puntos (ASTM D7460-10)

Estos ensayos fueron realizados en tres diferentes materiales asfálticos, los cuales fueron utilizados en una mezcla asfáltica en particular. La idea de este análisis es comparar la respuesta de una mezcla as-

fáltica tibia contra una mezcla estándar de referencia y contra una mezcla asfáltica con polímero e identificar un desempeño global.

### Caracterización de los materiales

Se caracterizaron los dos tipos de materiales utilizados en la mezcla asfáltica. Para el caso del agregado pétreo se evaluaron 9 propiedades físicas, la granulometría se definió de acuerdo con la Norma AASHTO M323-07. La caracterización básica del asfalto se realizó por medio del Grado PG (ASTM D6373-13).

### Caracterización del agregado pétreo

Se utilizaron dos tipos de agregados pétreos. Un agregado de referencia el cual es producto de trituración de roca basáltica, el cual fue utilizado para fabricar la mezcla en caliente (con y sin polímero). El segundo es una mezcla de agregados volcánicos y basálticos, el cual fue utilizado para fabricar la mezcla tibia. Las características físicas de estos materiales se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades físicas del agregado pétreo

Prueba	Referencia	Tibia	Especificación
Desgaste de Los Ángeles, %	12%	57%	30 máx.
Desgaste Microdeval, %	9%	8%	18 máx.
Intemperismo acelerado	6%	3%	15 máx.
Caras fracturadas, % (2 caras o más)	94%	100%	90 mín.
Partículas alargadas	0%	0%	10% máx.
Partículas planas	5%	0%	10% máx.
Equivalente de arena, %	53%	61%	50 mín.
Angularidad del agregado fino, %	46%	50%	40 mín.
Azul de metileno, mg/g	28	8%	15 máx.

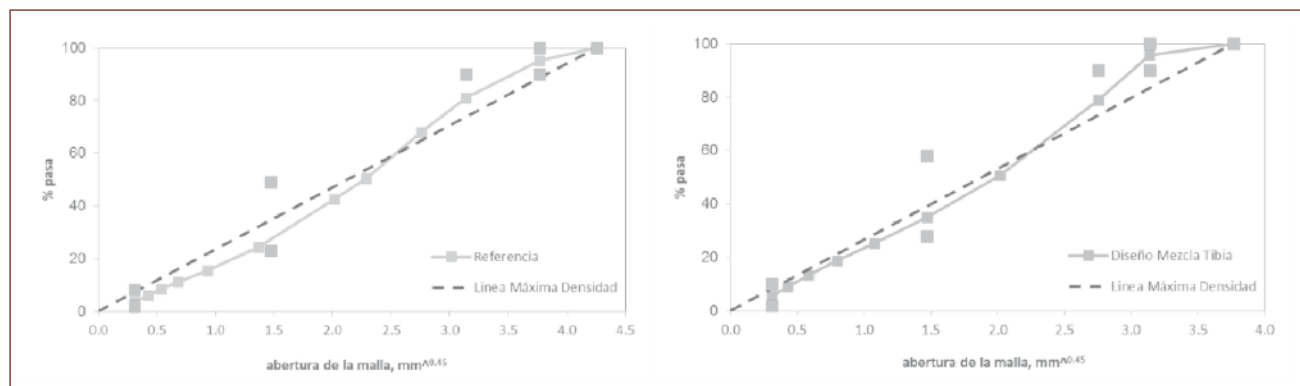


Figura 1. Estructura granulométrica. a) Mezcla referencia y modificada, b) Mezcla tibia.

El material de la granulometría de referencia y modificada presenta un tamaño máximo de 1" (24,5 mm) y como tamaño nominal de ¾" (19,5 mm). Para la mezcla tibia se tiene un tamaño máximo de ¾" (19,0 mm) y como tamaño nominal de ½" (12,5 mm), Figura 1.

### **Caracterización del ligante asfáltico**

La evaluación del ligante asfáltico se realizó de acuerdo a la metodología Superpave Grado PG (ASTM D6373-13). Se utilizaron tres tipos de ligantes asfálticos, un asfalto sin modificar para la mezcla en caliente de referencia el cual tuvo un Grado PG 64 -16, un asfalto con polímero SBS con un PG de 76-16 y el asfalto utilizado para la mezcla tibia el cual tuvo un PG 88-22.

Las condiciones de mezclado y compactación de las mezclas fueron las siguientes:

<b>Tabla 2. Temperaturas de mezclado y compactación</b>		
<b>Asfalto</b>	<b>Temperatura de mezclado</b>	<b>Temperatura de compactación</b>
Asfalto PG 64-16	155 a 160 °C	145 a 150 °C
Asfalto PG 76-16	165 a 170 °C	165 a 160 °C
Asfalto PG 88-22	140 a 145 °C	100 a 120 °C

Las propiedades volumétricas óptimas de la mezcla asfáltica fueron determinadas mediante Método de Diseño Superpave (AASHTO M323-07). En probetas de 150 mm de diámetro y altura de 115 ± 5 mm, a 100 giros de compactación.<sup>[4]</sup> Los resultados obtenidos son los siguientes:

<b>Tabla 3. Parámetros volumétricos con el contenido óptimo de las mezclas utilizadas</b>				
<b>Asfalto</b>	<b>Referencia</b>	<b>Modificada</b>	<b>Tibia</b>	<b>Especificación</b>
% C.A.	5,3	5,05	5,9	×
Gmb	2,340	2,335	2,318	×
Gmm	2,443	2,437	2,415	×
%VA	4,0	4,0	4,0	4,0
%VAM	14,9	15,1	14,7	> 13
%VFA	73,5	73,5	72,6	65 - 75
%Filler/Asfalto	0,73	0,71	1,06	0,6 - 1,2
%GmmNini	86,0	86,9	86,6	90,5

### **Evaluación de las propiedades viscoelásticas lineales**

La evaluación de las propiedades viscoelásticas se realizaron en el rango lineal de los materiales. Para el caso del ligante asfáltico, se utilizó un ensayo de la clasificación de Grado PG (ensayo de corte dinámico en DSR), para el caso de la mezcla asfáltica se utilizó el ensayo de módulo complejo.



**MADISA®**



# Soluciones Completas para Pavimentación



CONTÁCTANOS

**Lada sin costo 01 800 92 62347**

[www.madisa.com](http://www.madisa.com)



**Ligante asfáltico: Ensayo de corte dinámico, DSR**

La evaluación de las propiedades viscoelásticas del ligante asfáltico se realizó utilizando la norma ASTM D7175-08. Aplicando una amplitud de deformación de 12% y frecuencia de 1,59 Hz a una muestra de 1 mm de espesor y 25 mm de diámetro a diferentes temperaturas (58 °C a 88 °C). El análisis fue realizado en dos condiciones de envejecimiento del ligante asfáltico: original y envejecida después de RTFO.<sup>[5,6]</sup>

La Figura 2 presenta los resultados obtenidos en la evaluación de ligante asfáltico en su condición ori-

ginal a 7 temperaturas. De esta Figura se puede observar que el asfalto utilizado para fabricar la mezcla tibia tiene el mejor comportamiento en el criterio de falla ( $G^*/\text{sen}\delta$ ), el ángulo de fase presentó un decremento de su valor con el aumento de la temperatura, el cual puede significar un cambio estructural en el ligante debido al tipo de modificador utilizado. La causa del comportamiento no pudo ser determinada por medio de este ensayo, ni en los ensayos realizados posteriormente. Sin embargo se pudo establecer la influencia del ligante en las propiedades de desempeño de la mezcla asfáltica.

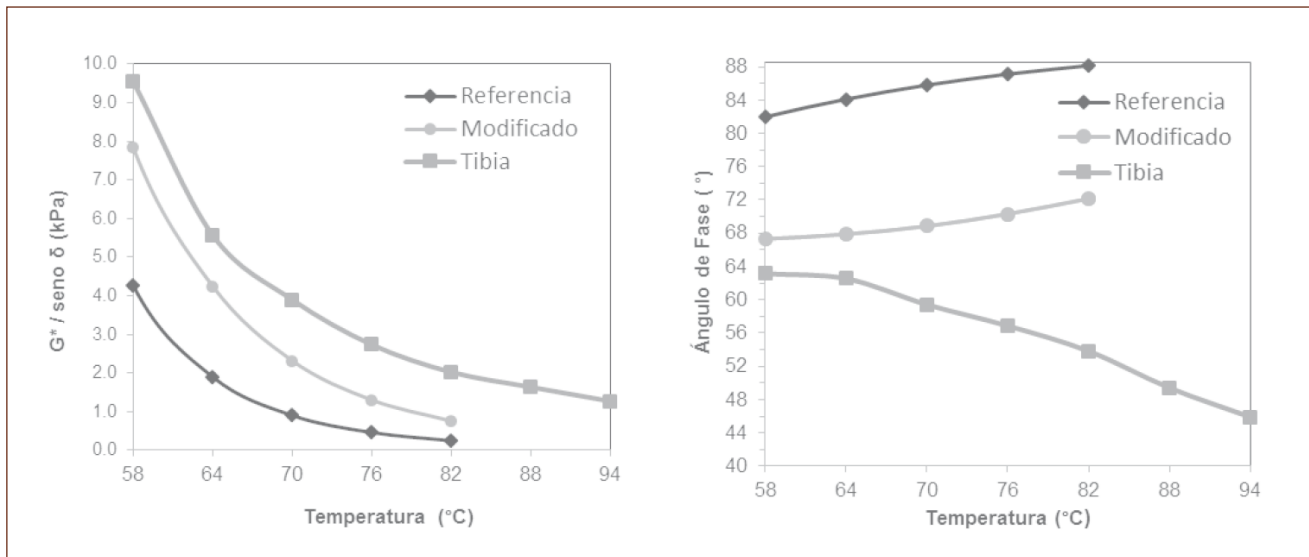


Figura 2. Caracterización de las propiedades viscoelásticas lineales en condición original.

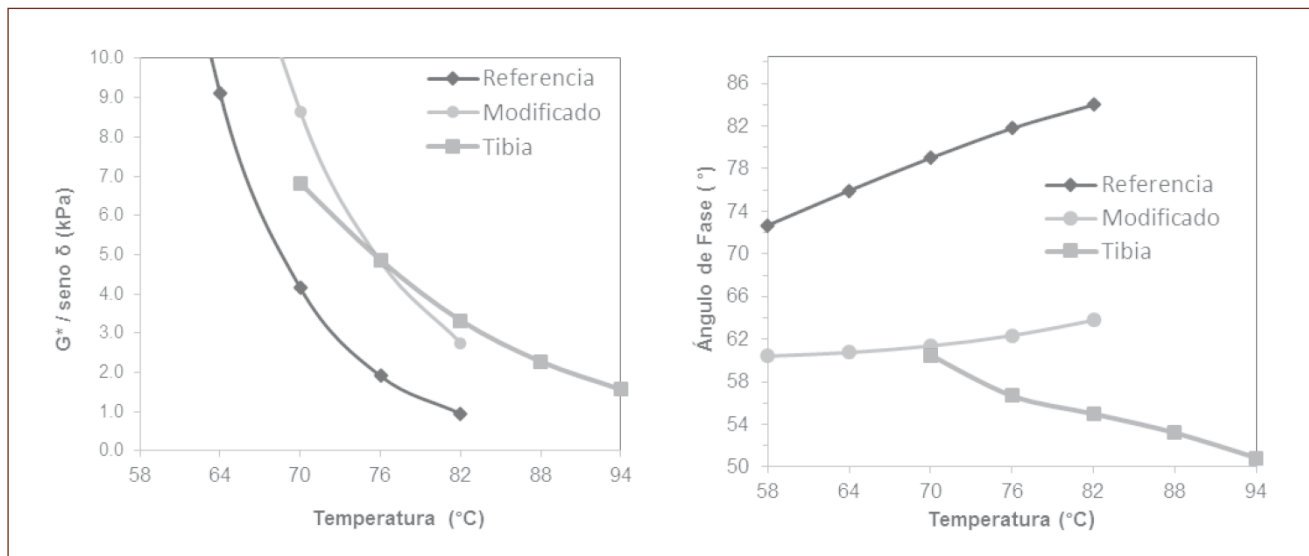


Figura 3. Caracterización de las propiedades viscoelásticas lineales envejecido en RTFO.



La evaluación de los ligantes en condición envejecida en RTFO es presentada en la Figura 3. En esta se puede observar que los dos primeros ligantes analizados (PG64 y PG76) mantienen la tendencia y el comportamiento es de acorde a lo esperado en un asfalto envejecido en RTFO, el cual es aumento del grado PG. Sin embargo el asfalto utilizado en la mezcla tibia (original PG 94) tiene un cambio en el comportamiento clásico ya que no solo no aumenta en un Grado PG, si no que presenta una reducción del mismo quedando en un PG 88.

### Mezcla asfáltica: Ensayo de módulo dinámico

Para el caso de la mezcla asfáltica se realizó el ensayo de módulo complejo en una probeta cilíndrica sometida a una sollicitación sinusoidal de compresión (AASHTO T342-11). El ensayo fue realizado a seis temperaturas (-10, 0, 10, 20, 30 y 40 °C) y cinco frecuencias (10, 5, 1, 0.5, 0.1 Hz) diferentes. El análisis fue realizado mediante la curva maestra (Figura 4) la cual fue construida para una temperatura de referencia de 20 °C.

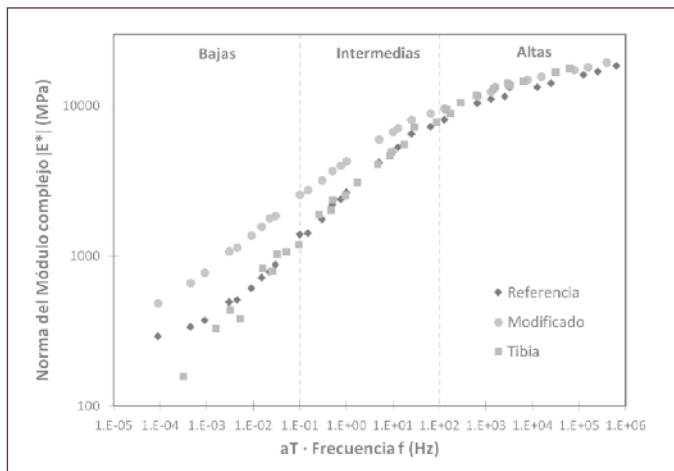


Figura 4. Curva maestra de la norma de módulo complejo  $|E^*|$ , temperatura de referencia 20 °C.

Se observa que la mezcla con asfalto modificado tiene un mejor comportamiento para las frecuencias intermedias y bajas, lo que puede significar un mejor desempeño a la deformación permanente. Para el caso de la mezcla tibia, se observa que tiene un comportamiento similar al de la mezcla de referencia, siendo que tiene un mejor comportamiento a temperaturas altas. Con esta primera evaluación se podría

determinar que el asfalto modificado con SBS tendrá mejores resultados en los ensayos de desempeño de la mezcla asfáltica, lo cual se verificará en ensayos posteriores.

### Evaluación de las propiedades a la deformación permanente

La evaluación de la deformación permanente se hizo por medio del ensayo de creep repetido, tanto en el ligante como en la mezcla asfáltica. Para el ligante asfáltico se utilizó el ensayo de MSCR para la determinación del valor de  $J_{nr}$ , este ensayo fue realizado en el reómetro de corte dinámico (DSR). Para el caso de la mezcla asfáltica se utilizó el ensayo de Número de Flujo (FN), este ensayo fue realizado en una prensa servo-hidráulica.

### Ligante asfáltico: Recuperación elástica de creep repetido (MSCR)

La evaluación se realizó de acuerdo a la normativa ASTM D7505-10. En este método se determina el porcentaje no recuperable del parámetro de conformidad, denominado  $J_{nr}$ . El porcentaje de recuperación tiene la intención de proporcionar un medio para determinar la respuesta elástica y la dependencia a dos niveles de esfuerzo diferentes, sujetos a diez ciclos de esfuerzo y recuperación.<sup>[7,8]</sup>

El ensayo se ejecuta en el DSR con una muestra —residuo de RTFO— de 25 mm de diámetro y 1,0 mm de espesor y consiste en aplicar un esfuerzo controlado de 0,1 kPa durante 10 ciclos y posteriormente aplicar un esfuerzo de 3,2 kPa durante otros 10 ciclos. Cada ciclo consiste en la aplicación del esfuerzo durante 1 s y posteriormente 9 s de recuperación, resultando una duración total de 10 s por ciclo. Un ciclo de prueba se observa como en la Figura 5, donde se genera una deformación total durante el primer segundo y una deformación recuperada durante los nueve segundos siguientes. De los valores anteriores se obtiene la deformación no recuperable (permanente) por ciclo. La temperatura del ensayo es la obtenida como temperatura alta determinada con los ensayos de rigidez del Grado PG.

Los resultados de la caracterización de los ligantes asfálticos con el ensayo MSCR son presentados en la Tabla 4. En donde se puede observar que el asfalto modificado tiene el mejor desempeño (PG 76-16 “V”).

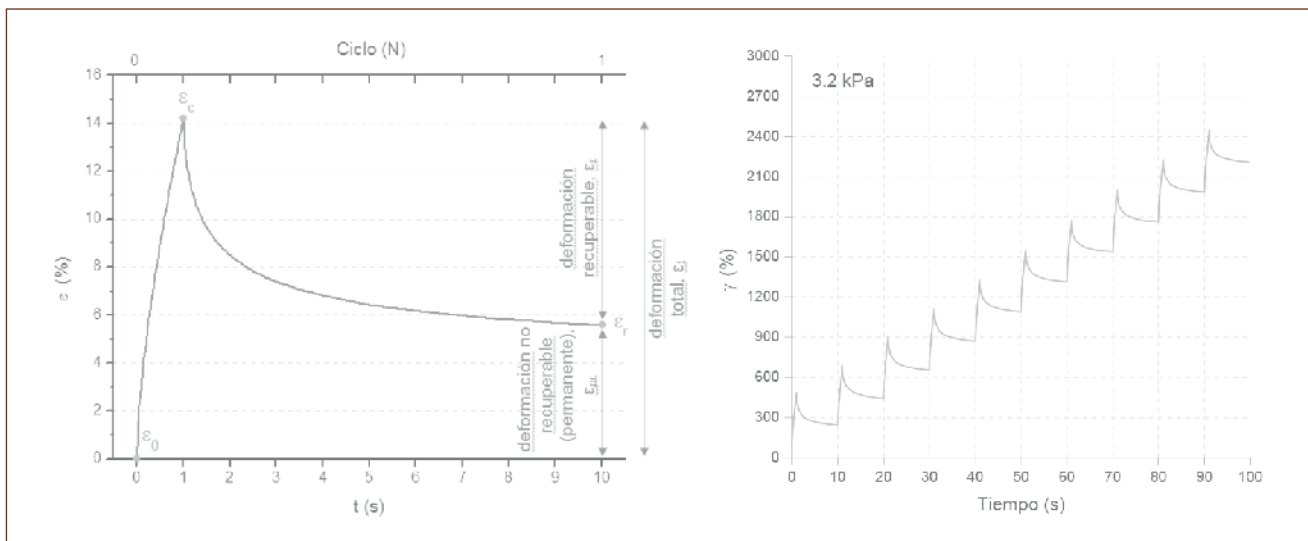


Figura 5. Ciclo 1 del ensayo MSCR (izquierda), evaluación para 3,2 kPa (derecha).

Por otro lado, el asfalto para la mezcla tibia presenta porcentajes muy altos de recuperación elástica para el nivel de esfuerzo bajo (0,1 kPa). Sin embargo no pudo caracterizarse para el nivel de esfuerzo alto (3,2 kPa), observándose valores ilógicos y fuera del rango de evaluación. Este comportamiento puede estar asociado a que el nivel de esfuerzo alto no permite trabajar de manera adecuada al tipo de modificador incorporado en este asfalto.

Tabla 4. Resultados del ensayo MSCR

Grado PG	Referencia PG 64-16	Modificado PG 76-16	Tibia PG 82-22	Unidades
Temperatura del ensayo	64	76	82	°C
Promedio del porcentaje de recuperación a 0,1 kPa, $R_{0,1}$	17,17	54,13	92	%
Promedio del porcentaje de recuperación a 3,2 kPa, $R_{3,2}$	8,38	41,61	-6,4	%
Diferencia del porcentaje entre promedio del porcentaje de recuperación a 0,1 kPa y 3,2 kPa, $R_{diff}$	51,21	23,13	107	%
Compliance creep no recuperable a 0,1 kPa, $J_{nr0,1}$	0,82	0,64	0,05	kPa-1
Compliance creep no recuperable a 3,2 kPa, $J_{nr3,2}$	0,94	0,8	18,32	kPa-1
Diferencia del porcentaje entre el Compliance creep no recuperable a 0,1 kPa y 3,2 kPa, $J_{nr diff}$	15,13	23,51	36598	%
Grado	PG 64 -16 "V"	PG 76 -16 "V"	N/A	

### Mezcla asfáltica: Ensayo de Número de Flujo (FN)

La evaluación de las propiedades mecánicas a la deformación permanente de la mezcla asfáltica se realizó el ensayo de Número de Flujo de acuerdo a la norma-



tiva AASHTO TP 79-11. Al igual que en el ligante asfáltico se utilizó una sollicitación de impulsión (0,1 s) y se midió deformación recuperable de la mezcla durante 0,9 s. El ensayo fue realizado a 30 °C en unas probetas cilíndricas de 100 mm de diámetro y 150 mm de altura, aplicando un esfuerzo axial de 128 kN. Los resultados se presentan en la Figura 6.

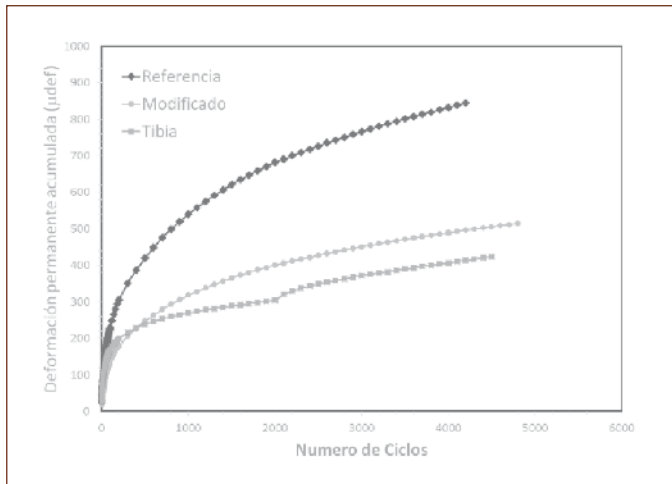


Figura 6. Evolución de la deformación permanente en las diferentes mezclas evaluadas.

Se puede observar que la mezcla tibia tuvo el mejor comportamiento, ya que se observa menos acumulación de deformación permanente. Este resultado no concuerda con lo observado en el ensayo de Jnr, en donde el asfalto con mezcla tibia era incapaz de soportar el esfuerzo aplicado y por ende indicaba un mal comportamiento a la deformación permanente. Este cambio en el comportamiento está asociado en parte al aporte de la estructura granular, la cual no toma en cuenta el ensayo de Jnr. Además de que se observa que para esfuerzos bajos, permitiendo la recuperación de la mezcla asfáltica se puede apreciar el beneficio del ligante asfáltico, cosa que no se puede observar en el ensayo de Jnr a 3,2kN, por ser un esfuerzo muy alto para permitir reaccio-

nar al material. Por lo cual se debe prestar una especial atención a este ensayo, ya que parece no ser adecuado para la evaluación de todo tipo de material, como en este caso particular de asfaltos para mezclas tibias.

## Evaluación de las propiedades a la fatiga

Los ensayos utilizados para la evaluación de las propiedades a la fatiga de la mezcla asfáltica en general están bien definidos, para el caso particular de este estudio se utilizó un ensayo en viga en flexión en cuatro puntos. Para el caso de los ligantes asfálticos, la evaluación de la fatiga no está definida de manera general ya que no existe un ensayo consensuado, ni que haya demostrado su confiabilidad en la predicción del comportamiento a la fatiga. En este estudio se evaluó un ensayo de barrido de amplitud lineal conocido por sus siglas en inglés, LAS.

### Ligante asfáltico: Barrido de amplitud lineal (LAS)

El ensayo Barrido de Amplitud Lineal (LAS, AASHTO TP 101-14) determina la resistencia al daño por fatiga por medio de una carga cíclica (sinusoidal) e incrementando la amplitud de carga en forma lineal; siendo la intención del ensayo, causar un daño acelerado por fatiga. El Enfoque de Daño Continuo se utiliza para calcular la resistencia a la fatiga a partir de las propiedades reológicas del ligante y los resultados del barrido de amplitud.<sup>[9]</sup> El ensayo se realiza en el DSR de acuerdo a los parámetros mostrados en la Tabla 4, donde se divide en 2 etapas, siendo la primera un barrido de frecuencias a una deformación constante; mientras que la segunda es un barrido de deformaciones a frecuencia constante.

Una vez realizado el ensayo, se realizan los cálculos indicados en la norma para determinar la ley de fatiga del ligante por medio del enfoque de Daño Continuo Viscoelástico (VECD), como se ilustra en la Figura 7.



@AMAAC\_mx

Síguenos en redes sociales  
#EligeAsfalto

Tabla 4. Generalidades del ensayo LAS													
Origen de la muestra						Residuo de RTFO o PAV							
Temperatura de ensayo						Intermedia							
Geometría						8 mm							
Espesor						2 mm							
Etapa 1													
Deformación controlada (%)						0,1							
Barrido de frecuencias (Hz)		0,2	0,4	0,6	0,8	1	2	4	6	8	10	20	30
Etapa 2													
Frecuencia (Hz)						10							
Barrido de deformación (%)						0 - 30							
Ciclos requeridos						3,100							

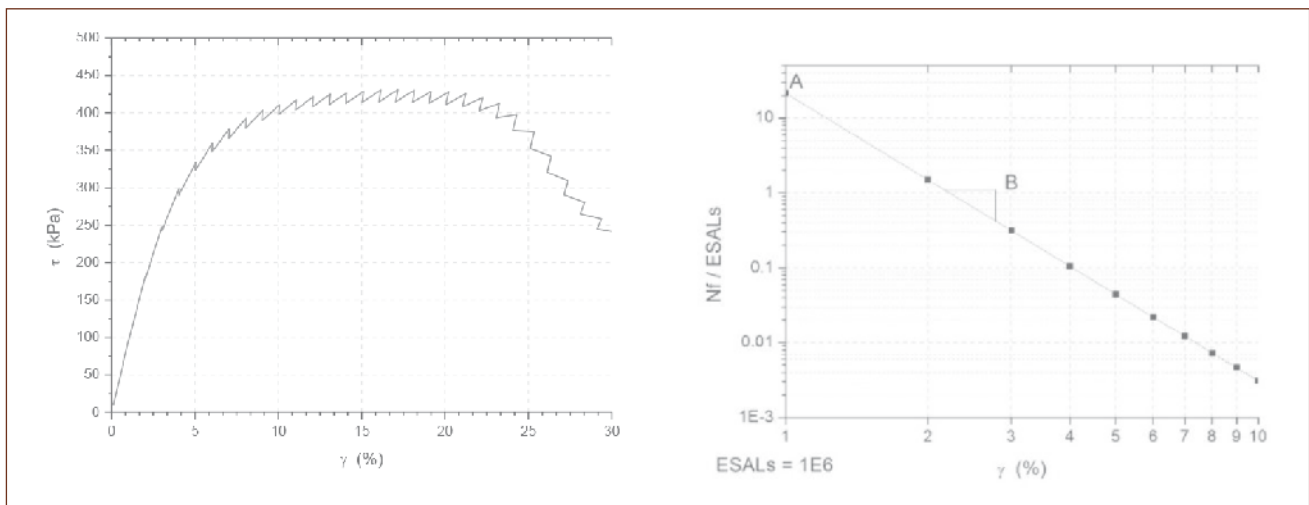


Figura 7. Cálculo de Ley de Fatiga en ensayo LAS.

La Figura 8 presenta los resultados de los ensayos de LAS para los tres asfaltos utilizados, a dos temperaturas de 20 °C y 28 °C.

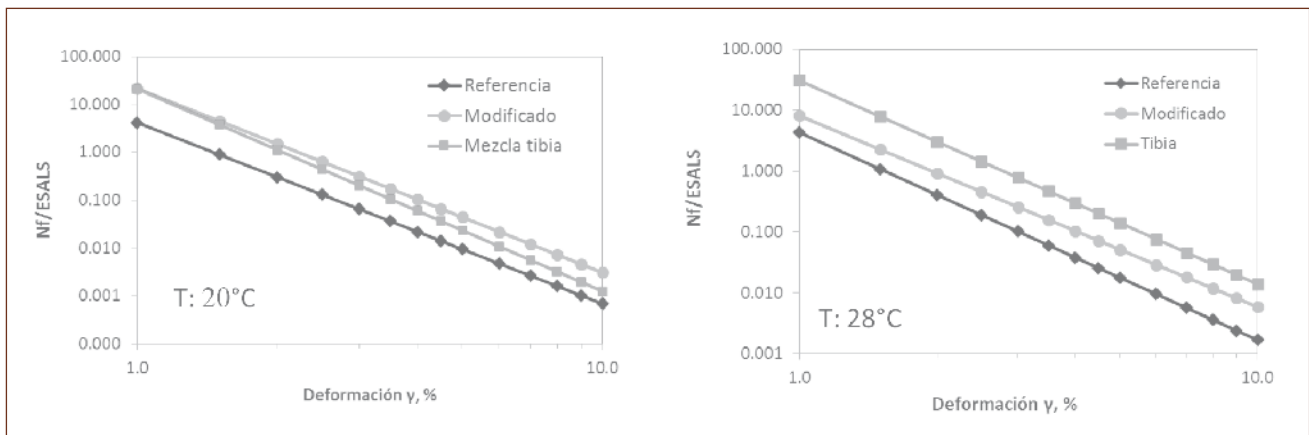


Figura 8. Resultados del ensayo de fatiga LAS a dos temperaturas 20 °C y 28 °C.

Como se puede observar en la Figura 8 el ensayo fue realizado a dos diferentes temperaturas, y los resultados obtenidos fueron diferentes, ya que a una temperatura de 20 °C (Referencia en México), el asfalto para la mezcla modificada tiene el mejor comportamiento y para la temperatura de 28 °C (especificada en el método de ensayo) el comportamiento cambia, siendo la del asfalto para la mezcla tibia la que tiene mejor comportamiento. Por lo cual, la selección de la temperatura de ensayo se vuelve un punto clave en la correcta interpretación del comportamiento a la fatiga. Siendo este uno de los parámetros que no se han podido establecer en el método LAS y del cual se deberán realizar más estudios antes de su implantación en México.

### Mezcla asfáltica: Ensayo de fatiga a flexión en cuatro puntos

El fenómeno de fatiga de un material se caracteriza por su ruptura después de la aplicación repetida de un gran número de solicitaciones (en la práctica  $N_f > 10^4$ ), en donde la amplitud de la solicitación es inferior a la carga de ruptura instantánea de la probeta.<sup>[10]</sup> La Figura 9 presenta el principio de obtención de la curva de Wöhler.

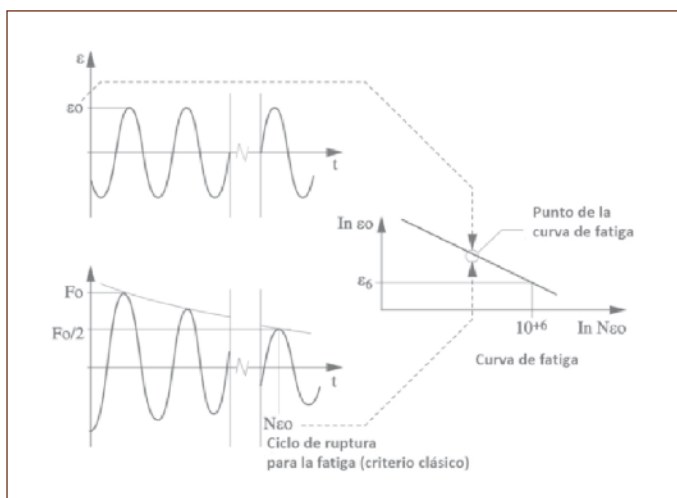


Figura 9. Principio de obtención de la curva de Wöhler.<sup>[11]</sup>

El ensayo de fatiga de viga a flexión en cuatro puntos se realizó en el modo de deformación controlada a una temperatura de 20 °C y una frecuencia de aplicación de la carga sinusoidal de 10 Hz

a cuatro niveles de deformación: 300, 400, 500 y 600  $\mu\epsilon$ . Las vigas fueron compactadas a un porcentaje de vacíos de  $6 \pm 1\%$ , con unas dimensiones de 50 mm de altura x 63 mm de ancho y 380 mm de largo. El criterio de falla para el análisis de resultados fue el clásico, reducción del 50% del valor del módulo de rigidez inicial.

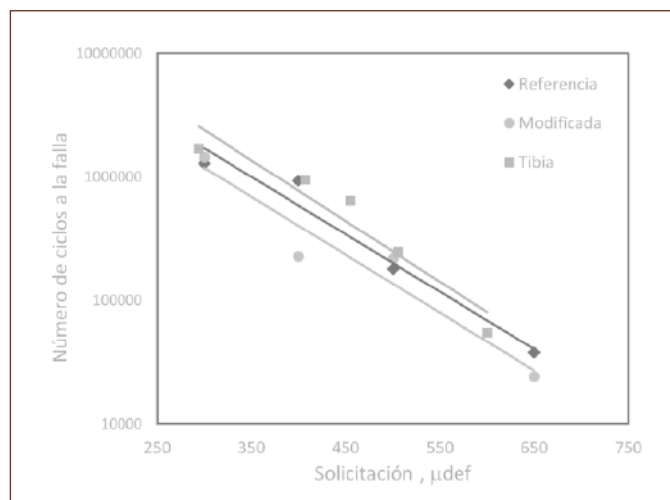


Figura 10. Curva de Wöhler para las tres mezclas evaluadas en el ensayo de fatiga.

La Figura 10 presenta los resultados obtenidos en los ensayos de fatiga en viga a flexión en cuatro puntos. En esta se puede observar que la mezcla con asfalto modificado presentó propiedades a la fatiga inferiores a la mezcla de referencia, esto puede estar asociado a que el modificador rigidiza de manera excesiva el asfalto, reduciendo la vida a la fatiga en la mezcla asfáltica. Por el caso contrario, la mezcla tibia tuvo un mejor comportamiento a la fatiga, lo cual puede estar asociado a la flexibilidad que le induce el tipo de modificador, ya que para este ligante se observó reducción del ángulo de fase en la evaluación en el DSR.

De igual forma, en lo que se refiere al ensayo de predicción de comportamiento de la vida a la fatiga del ligante asfáltico, la predicción realizada no concordó con los resultados observados en la mezcla asfáltica, por lo cual deberá estudiar la viabilidad de estos métodos de predicción y hacer los ajustes que sean necesarios.




## Conclusiones

El presente estudio no solo presentó la evaluación de las propiedades mecánicas de tres diferentes materiales (asfaltos y mezclas asfálticas), sino que también presenta el desarrollo de nuevos ensayos de caracterización de materiales asfálticos. De esta evaluación se pueden remarcar los siguientes puntos:

Se demuestra que las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica tibia pueden ser tan competitivas como una mezcla en caliente y en algunas propiedades como es la fatiga, aún mejores que las de un asfalto modificado con polímero. Si adicionalmente consideramos el aporte ecológico de este tipo de mezclas, en lo referente a emisiones y reducciones de temperaturas de producción, éstas se convierten en una opción bastante viable para el futuro de las mezclas asfálticas.

La utilización de ensayos para predecir el comportamiento de la mezcla asfáltica como son los ensayos MSCR y LAS, son indispensables debido a que los ensayos en las mezclas asfálticas consumen muchos recursos (tiempo y dinero). Sin embargo, estos ensayos dieron resultados poco congruentes, por lo cual se debe prestar un especial cuidado en la interpretación de los resultados, porque estos ensayos dejan de lado el aporte de la estructura granular, además de estar validados en un número reducido de condiciones (tipos de materiales asfálticos y para el caso del LAS solo en un rango lineal).

Se demuestra la necesidad de hacer una revisión y validación amplia de los ensayos existentes para la predicción del comportamiento de las mezclas asfálticas, antes de hacer una implantación de los mismos como normas en un determinado país. 

## ¿Quieres profundizar?

1. Folleto técnico, Aditivos de adherencia. Quimikao
2. H. Delgado, Lo complejo del Módulo Complejo: aspectos experimentales. Revista Asfáltica, Núm. 34, pp. 42-46, 2013
3. H. Delgado, L. Arnaud, Experimentación y modelización del comportamiento reológico de una mezcla asfáltica, VII Congreso Mexicano del Asfalto, 2011.
4. Diseño de mezcla asfáltica de granulometría densa de alto desempeño PA-MA 01/13, Asociación Mexicana del Asfalto AC.
5. ASTM D7175. (2008). *Standard Test Method for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer*. Recuperado el 1 de febrero de 2014, de ASTM International: <http://www.astm.org/Standards/D7175.htm>
6. Bahia, H., Hanson, D., Zeng, M., Zhai, H., Khatri, M., & Anderson, R. (2001). *Characterization of modified asphalt binders in Superpave Mix Design*. Washington D.C., EUA: National Academy Press.
7. AASHTO MP19. (2010). *Performance-Graded Asphalt Binder Using Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test*. Recuperado el 22 de mayo de 2014, de The Tech Standard: <http://www.thetechstandard.com/AASHTO-MP-19-10>
8. AASHTO TP70. (2012). *Standard Method of Test for Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR)*. Recuperado el 15 de marzo de 2014, de Techstreet: <http://www.techstreet.com/products/1841694>
9. AASHTO TP101. (2014). *Estimating Damage Tolerance of Asphalt Binders Using the Linear Amplitude Sweep*. Recuperado el 12 de agosto de 2014, de Modified Asphalt Research Center: <http://uwmarc.wisc.edu/files/linearamplitudesweep/AASHTO-TP101-LAS-May-2013-v2.pdf>
10. H. Delgado, Comportement à la Fatigue d'Enrobés Bitumineux Renforcés de Fibres de chanvre, Tesis de doctorado, Escuela Nacional de Trabajos Públicos del Estado, Lyon Francia, 2012.
11. Di Benedetto H., Corte J.-F., «Matériaux routiers bitumineux 2: constitution et propriétés thermomécaniques des mélanges», Hermes, Lavoisier, 2004.

# Síguenos en redes sociales

#EligeAsfalto



/AMAAC.mx



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

## #Reciclar\_HoyParaElFuturo

"Disminuir la explotación de material virgen y reducir el consumo energético es parte de la sustentabilidad de los pavimentos".

# Evaluación mecánica de una mezcla asfáltica con altos contenidos de RAP

---

Luis Enrique Ramírez Soto  
Quimikao S.A. de C.V. México  
lramirez@qknet.quimikao.com.mx  
C.M.A. – AMAAC 2015

## Introducción

El reciclaje de pavimentos asfálticos es una práctica cada día mas común en los países desarrollados, esto debido a los altos beneficios que tiene el reutilizar los materiales recuperados tanto económicos como ecológicos, por lo que es de suma importancia la correcta evaluación de la dosificación de RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) en las mezclas asfálticas.

Actualmente en la mayoría de los países de Latinoamérica una importante fracción de la red carretera se encuentra en mal estado por lo cual en un futuro próximo se verá en la necesidad de rehabilitar esta red, generando almacenes con miles de toneladas de mezcla asfáltica sin uso, producto de la escarificación de carreteras en mal estado. Varias de las razones por las que no se utilizan o se subutilizan estos materiales son los pocos o nulos controles de calidad además del desconocimiento sobre el uso y reciclaje del RAP.

## Metodología

La recuperación de los materiales se basó en los procedimientos descritos en el manual “*Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method: Technician’s Manual NCHRP 452*”.

Con el objetivo de determinar las propiedades físicas y homogeneidad del RAP, se realizaron ensayos de granulometría, contenido de asfalto y propiedades físicas del material pétreo y asfáltico después de un proceso de extracción para:

- Determinar el contenido de asfalto del RAP.
  - Extracción y cuantificación del asfalto con solvente ASTM D2172
  - Recuperación del asfalto de una solución usando el roto vapor ASTM D5404.
  
- Determinar la granulometría y propiedades a los agregados pétreos.
  - Granulometría ASTM D5444.



## Caracterización del asfalto extraído de la mezcla asfáltica oxidada. Resultados

### Caracterización del asfalto extraído de la mezcla asfáltica recuperada (RAP)

A la mezcla asfáltica oxidada se le extrajo el asfalto para determinación del grado PG conforme al manual NCHRP 452, los resultados son mostrados en la tabla 17 y 18.

**Tabla 1. Grado PG superior del asfalto extraído de la mezcla asfáltica oxidada**

Asfalto extraído antes de RTFO		
T (°C)	G*/senδ	δ
76	4,213	77,70
82	2,152	80,36
88	1,110	82,72
94	0,599	84,64
100	0,337	86,22
Temperatura crítica "Tc" = 89,0		

**Tabla 2. Grado PG superior del asfalto extraído de la mezcla asfáltica oxidada RTFO**

Asfalto extraído después de RTFO		
T (°C)	G*/senδ	δ
76	17,780	68,32
82	10,030	71,61
88	5,080	74,93
94	2,620	77,93
100	1,370	80,60
Temperatura crítica "Tc" = 95,6		
Grado PG = 88		

**Tabla 3. Determinación del grado PG inferior del asfalto extraído de la mezcla asfáltica oxidada**

Temperatura de -6 °C	
Rigidez (Stiffness) (MPa)	117,5
Valor "m"	0,3255
Temperatura de -12 °C	
Rigidez (Stiffness) (MPa)	235,0
Valor "m"	0,2760
Temperatura crítica Tc °C (para valor de "m" = 0,300) T = - 9,1 °C Tc + (-10 °C) = -19,1 °C	
Grado PG inferior = -16	

Los resultados anteriores de la caracterización del asfalto recuperado nos indican un asfalto oxidado (PGc 95,6 -19,1) el cual para poder reutilizarse es necesario reducir su rigidez con un rejuvenecedor para asfaltos.

### Caracterización del material pétreo extraído de la mezcla asfáltica

#### Metodología

La recuperación de los materiales se basó en los procedimientos descritos en el manual “*Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method: Technician’s Manual NCHRP 452*”.

Con el objeto de determinar las propiedades físicas y homogeneidad del RAP, se realizaron ensayos de granulometría, contenido de asfalto y propiedades físicas del material pétreo y asfáltico después de un proceso de extracción para:

- Determinar el contenido de asfalto del RAP.
- Extracción y cuantificación del asfalto con solvente ASTM D2172.
- Recuperación del asfalto de una solución usando el roto vapor ASTM D5404.

- Determinar la granulometría y propiedades a los agregados pétreos.
- Granulometría ASTM D5444.

### Caracterización del material pétreo extraído de la mezcla asfáltica recuperada

a) Granulometría ASTM D5444.

Malla	Abertura mm	Lavado % que pasa
1 ½"	36,1	100
1"	25	100
¾"	19	100
½"	12,5	94
3/8"	9,5	89
No. 4	4,75	76
No. 8	2,36	55
No. 16	1,18	37
No. 30	0,6	27
No. 50	0,3	18
No. 100	0,15	13
No. 200	0,08	9

b) Propiedades del material pétreo Protocolo AMAAC.

Prueba	Norma	Resultado	Especificación
Gravedad específica, Gsb	ASTM C127-12	2,667	Mín 2,4
Caras fracturadas	ASTM D5821-06	99%	90% mínimo
Partículas alargadas	ASTM D4791-05	0%	5:1, 15% máximo
Partículas planas		0%	Planas + alargadas

Prueba	Norma	Resultado	Especificación
Gravedad específica, Gsb	ASTM C128-12	2,615	Mín 2,4
Angularidad del agregado fino	ASTM C1252-03	47%	40% mínimo

### Caracterización de material nuevo

#### Objetivo

Conocer las características del material pétreo nuevo para utilizarse en el diseño de una mezcla asfáltica de alto módulo.

## Metodología

Las muestras de materiales pétreos evaluadas fueron de origen basáltico del banco La Vega, localizado en La Vega, Jalisco, del cual se evaluaron los siguientes materiales en base a las especificaciones del protocolo AMAAC PA-MA 01/2011.

Agregado grueso:

Tabla 7. Caracterización agregado grueso			
Característica	Norma	Valor	Especificación
Desgaste Los Ángeles, %	ASTM C131	17,5%	30 máx. (capas estructurales) 25 máx. (capas de rodadura)
Desgaste Microdeval, %	AASHTO T327 / ASTM D6928		18 máx. (capas estructurales) 15 máx. (capas de rodadura)
Intemperismo acelerado, %	AASHTO T104 / ASTM C88		15 máx. para sulfato de sodio 20 máx. para sulfato de magnesio
Caras fracturadas, % (2 caras o más)	ASTM D 5821	97%	90 mín.
Partículas planas y alargadas, %	ASTM D 4791	7,5%	5 a 1%, 10 máx.
Adherencia con el asfalto, % de cubrimiento	AMAAC RA-08/2010	96%	90 mín.

La muestra analizada presenta gravedad específica bruta de 2,666 y absorción de agua de 1,48%.

Agregado fino:

Tabla 8. Caracterización agregado fino			
Características	Norma	Valor	Especificación
Equivalente de arena, %	ASTM D2419	57,6%	50 mín. (capas estructurales) 55 mín. (capas de rodadura)
Angularidad, %	AASHTO T 304	42%	40 mín.
Azul de metileno, mg/g	AMAAC RA-05/2010	15 mg/g	15 máx. (capas estructurales) 12 máx. (capas de rodadura)

La muestra analizada presenta gravedad específica bruta de 2,609 y absorción de agua de 2,84%.

## Reciclado para capas estructurales y de rodadura

### Diseño de la mezcla

El diseño de la mezcla asfáltica se realizó conforme al protocolo de diseño de mezclas asfálticas de alto módulo de la Asociación Mexicana del Asfalto PA MA-01-2011.

### Propuesta granulométrica:

Se analizaron las diferentes propuestas granulométricas en las cuales se tomó como base los parámetros establecidos en el protocolo de la AMAAC considerando



las mismas condiciones; puntos de control, línea de máxima densidad para el tamaño nominal de la granulometría.

Con las granulometrías individuales de los dos agregados analizados se buscaron, de acuerdo al criterio Protocolo AMAAC, tres diferentes granulometrías; fina, gruesa y escalonada.

Cualquier granulometría seleccionada debe estar dentro de los límites de control, tener continuidad y cruzar a lo mucho una vez la línea de máxima densidad.

**Tabla 9. Granulometría de los materiales pétreos**

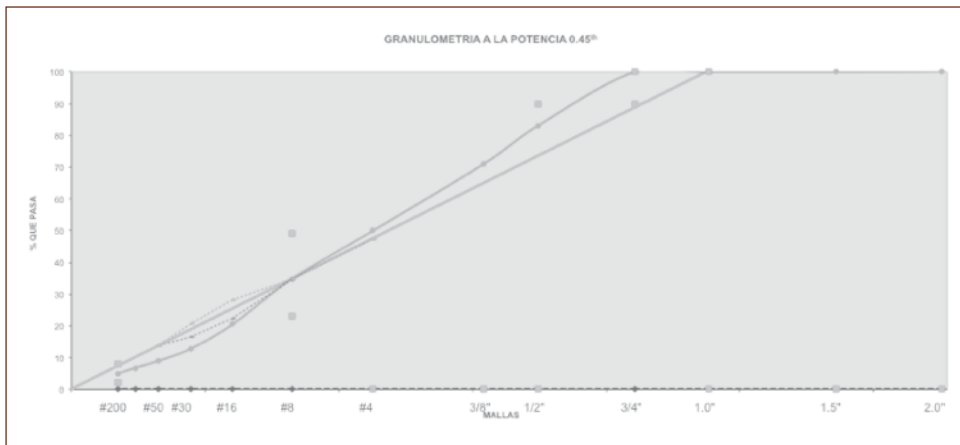
Tamaño de la malla				
mm	US	Arena 1/4	Arena 3/16	Grava 3/4
25	1"	100,0	100,0	100,0
19	3/4"	100,0	100,0	100,0
12,5	1/2"	100,0	100,0	66,0
9,5	3/8"	100,0	100,0	42,0
4,75	#4	98,0	100,0	1,0
2,36	#8	59,0	80,0	0,0
1,18	#16	34,0	48,0	0,0
0,6	#30	21,0	30,0	0,0
0,3	#50	15,0	21,0	0,0
0,15	#100	11,0	16,0	0,0
0,075	#200	8,0	12,0	0,0

Combinación seleccionada:

**Tabla 10. Granulometría de diseño**

- Arena 1/4 - 25%  
- Arena 3/16 - 25%  
- Grava 3/4 - 50%

Tamaño de la malla		
mm	US	Mezcla
25	1"	100,0
19	3/4"	100,0
12,5	1/2"	83,0
9,5	3/8"	71,0
4,75	#4	50,0
2,36	#8	34,8
1,18	#16	20,5
0,6	#30	12,8
0,3	#50	9,0
0,15	#100	6,8
0,075	#200	5,0



Gráfica 1. Granulometrías para el diseño.

### Selección de la granulometría definitiva:

Como se observa la propuesta granulométrica está dentro de los puntos de control establecidos por el protocolo AMAAC para una granulometría de tamaño nominal de 19 mm.

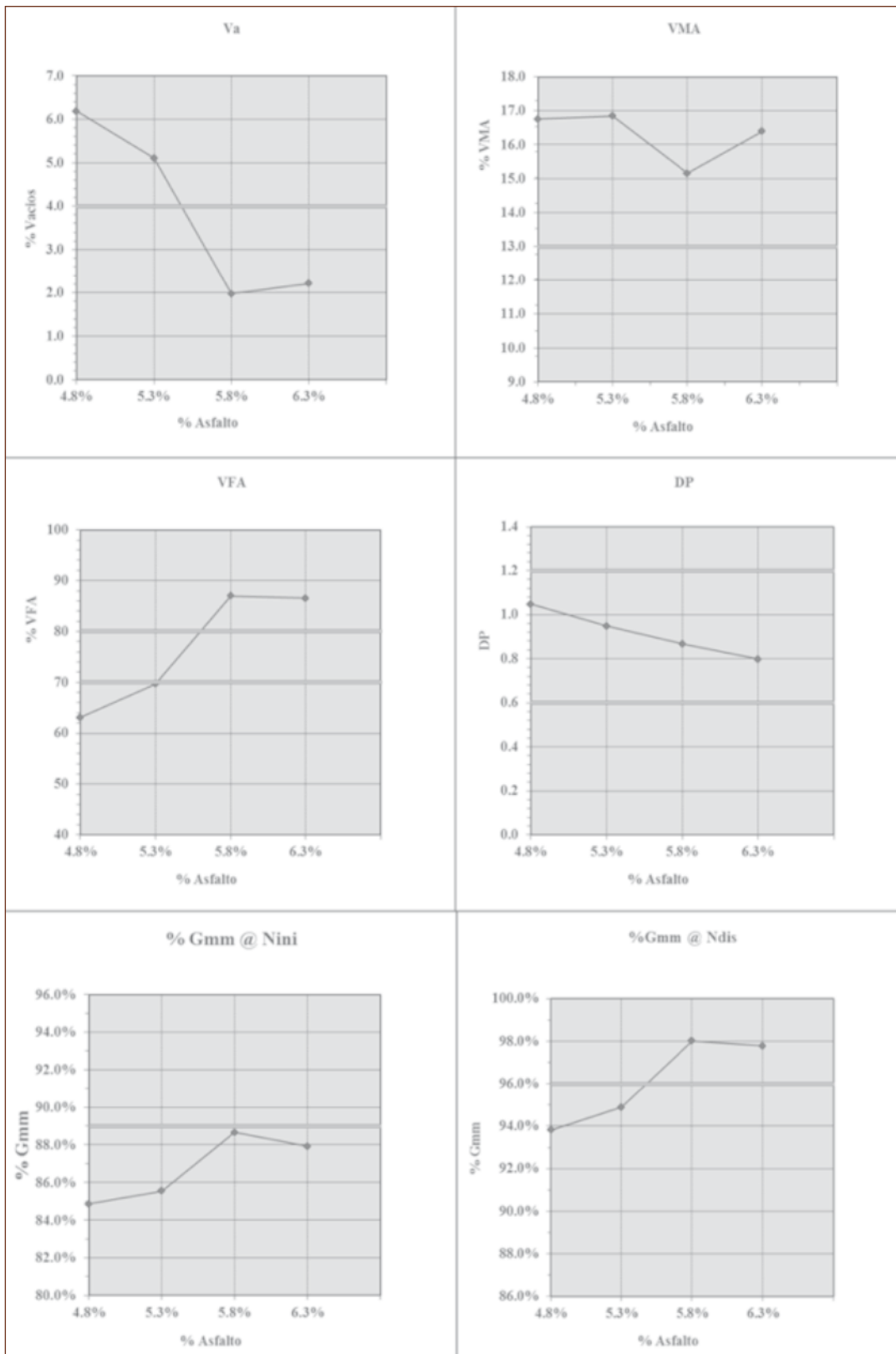
Basados en la tabla anterior se seleccionó la granulometría media y se procedió a realizar el diseño para encontrar el contenido óptimo de asfalto.

Tabla 11. Resumen del diseño

Gmb@ Ndis.										
Espécimen	Pb	Gmb @Ndis	Prom @Ndis	Gmm	Vacíos (%)	VAM (%)	VFA (%)	Proporción de	% Gmm@	% Gmm@
1A	4,80%	2,332	2,309	2,458	6,2%	16,8%	63,1%	1,05	84,9	93,8
1B	4,80%	2,280								
2A	5,30%	2,322	2,326	2,440	5,1%	16,8%	63,9%	0,95	85,5	94,9
2B	5,30%	2,309								
3A	5,80%	2,378	2,336	2,423	2,0%	15,2%	87%	0,87	88,7	98,0
3B	5,80%	2,372								
4A	6,30	2,344	2,353	2,406	2,21%	16,4%	86,5%	0,8	87,9	97,8
4B	6,30	2,362								



# #EligeAsfalto



Gráfica 2. Resumen de diseño protocolo AMAAC.

Vacíos de aire de diseño = 4,00%

Asfalto óptimo % = 5,5%

Mín VMA = 13,0





### Resistencia de la mezcla asfáltica compactada al daño inducido por humedad AASHTO T-283

El ensayo de Tensión Indirecta se efectuó en la hoja de cálculo del Instituto del Asfalto, cuidando que los vacíos de la mezcla compactada estuvieran en el rango de  $7,0 \pm 0,5\%$  y la saturación de 70 a 80%, como lo indica el protocolo AMAAC. No se empleó ciclo de congelamiento.

La prueba tiene como objetivo principal medir los efectos de la saturación en mezclas compactadas y predecir una falta de adherencia del material pétreo y el asfalto, la mayor resistencia a la falla la ofrece la cohesión interna de la mezcla, tiene un valor recomendado de 80%, en este diseño se obtuvo un valor del 93,9%.

Tabla 12. Resumen tracción indirecta (TSR)	
TSR	
Promedio del esfuerzo en seco (kPa)	1156
Promedio del esfuerzo en húmedo (kPa)	1085
% TSR	93,9%

Susceptibilidad a la humedad y a la deformación permanente por rodera, por medio del analizador de la rueda cargada de Hamburgo.

La prueba tiene por objeto evaluar la susceptibilidad de la mezcla al daño por humedad y a la deformación por rodera. Su principal aplicación es detectar mezclas con estructura mineral deficiente y susceptible a desgranamiento por falta de adherencia entre el asfalto y el agregado.

En el ensayo en la Rueda de Simulación de Hamburgo, después de los 20 000 ciclos, la mezcla no exhibió problemas de susceptibilidad a la humedad ni rodera, presentó una deformación promedio de 3,8 mm.

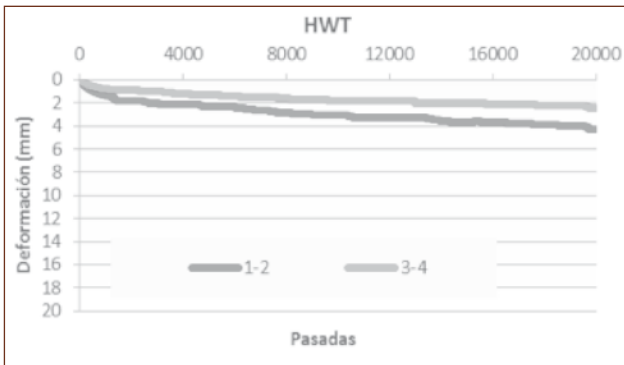
El protocolo AMAAC establece una deformación máxima, después de los 20 000 ciclos, de 10 mm.

Evaluación de mezcla compactada en laboratorio en la rueda cargada de Hamburgo AASHTO T324-04.

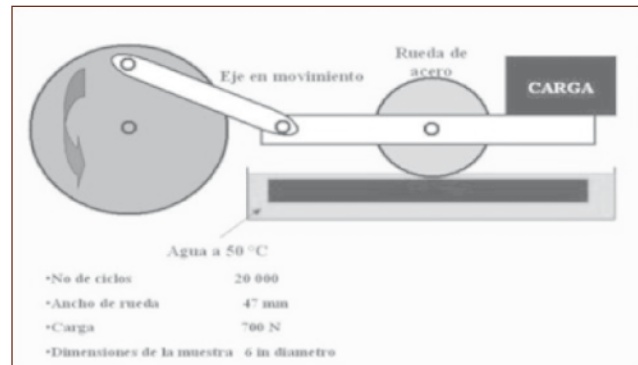
Resultados obtenidos de la prueba

Especímenes	Deformación (mm)	Número de pasadas máximas
1 - 2	4,29	20 000
3 - 4	2,45	20 000

#### Comportamiento de los especímenes durante la prueba



#### Condiciones de la prueba



Gráfica 3. Condiciones y resultados de la prueba HWT.

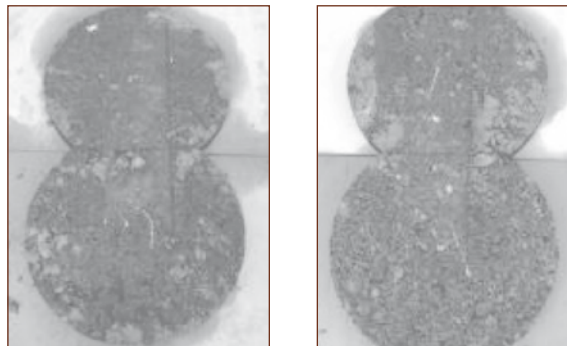


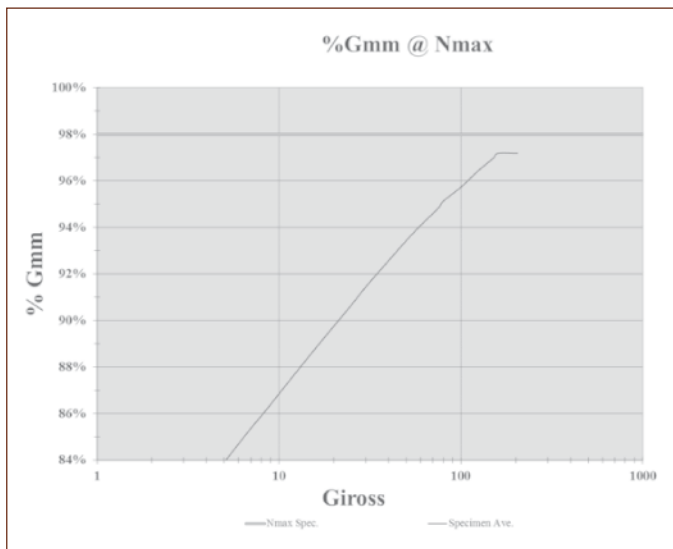
Figura 1. Especímenes después de las pruebas.

### Verificación de la compactación a N<sub>máx</sub>

El ensayo de compactación de N<sub>máx</sub> es en esencia un indicador del desempeño del esqueleto mineral en el cual se verifica que la compactación no sobrepase el 98% del Gmm al número de giros máximo de compactación (160 giros).

**Tabla 13. Resumen de la verificación a N<sub>máx</sub>**

% de Gmm@Nini	% de Gmm@Ndes	% de Gmm@N <sub>máx</sub>
85,9%	95,7%	97,2%



Gráfica 4. Compactación a N<sub>máx</sub>.

Resumen del diseño:

- Proporcionamiento de agregados en peso: 50% de grava 3/4 + 25% de arena 1/4 + 25% arena 3/16. Contenido de asfalto: 5,5% base peso de la mezcla.
- Temperatura de mezclado: 160 a 175 °C. Temperatura de compactación: 150 a 165 °C.
- Gravedad específica de la mezcla compactada: 2,331.
- Gravedad específica máxima teórica de la mezcla sin compactar: 2,433.
- Vacíos de aire de la mezcla compactada: 4,0%.
- Vacíos en el agregado mineral: 15,9.
- Vacíos llenos de asfalto: 77,6.
- Relación de filler: 0,91.
- TSR: 93,9%.
- Deformación promedio en Hamburgo: 3,8 mm.

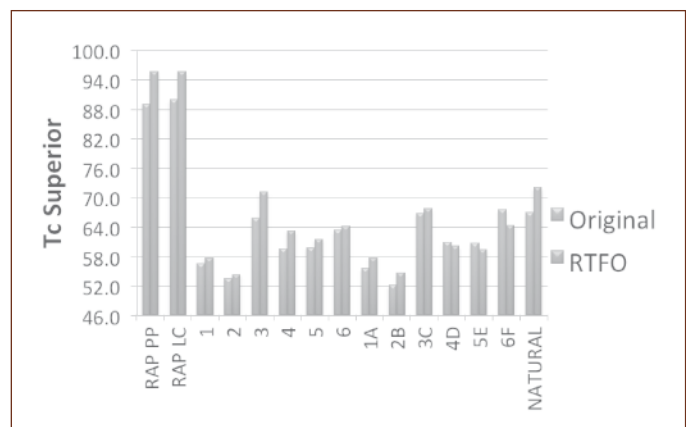
### Evaluación de mezcla asfáltica utilizando material recuperado

#### Cartas de mezclado

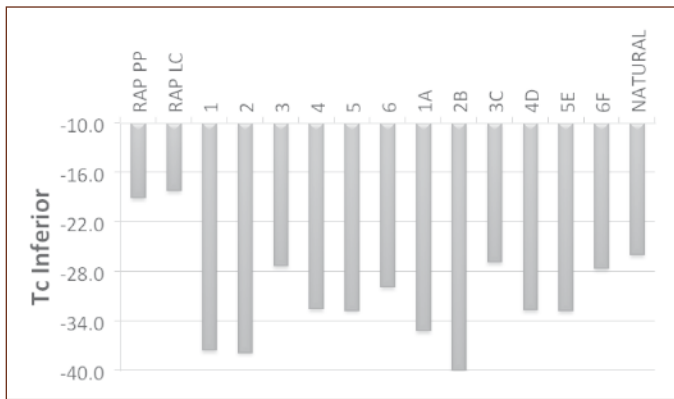
Para la elaboración de las cartas de mezclado es necesario conocer las temperaturas críticas en la cual se presenta la falla en la clasificación PG de la AASTHO M 320 para el asfalto nuevo y usando para el asfalto recuperado la metodología del manual "Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method: Technician's Manual NCHRP 452".

**Tabla 14. Resumen de la clasificación PG**

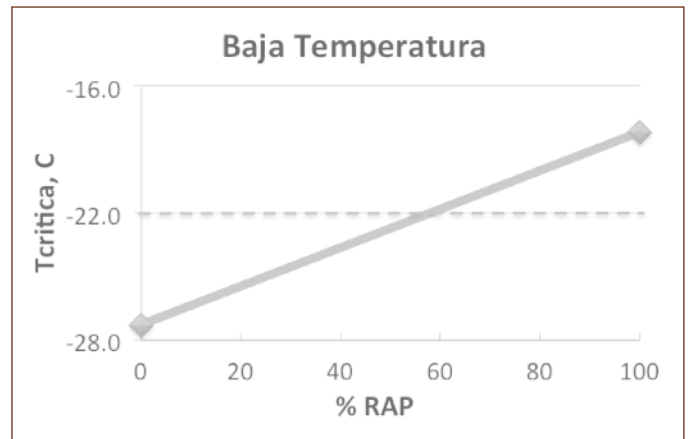
AC	Temperaturas críticas		
	Original	RTFO	m-value
RAP PP	89	95,6	-19,1
RAP LC	90	95,6	-18,2
1	56,6	57,7	-37,5
2	53,4	54,3	-37,8
3	65,8	71,1	-27,3
4	59,5	63,2	-32,5
5	59,8	61,5	-32,7
6	63,3	64,2	-29,8
1A	55,6	57,7	-35,2
2B	52,1	54,6	-39,9
3C	66,9	67,7	-26,9
4D	60,9	60,1	-32,6
5E	60,7	59,4	-32,8
6F	67,5	64,4	-27,6
Natural	66,9	72,1	-26



Gráfica 5. Resumen de la clasificación PG superior.



Gráfica 6. Resumen de la clasificación PG inferior.



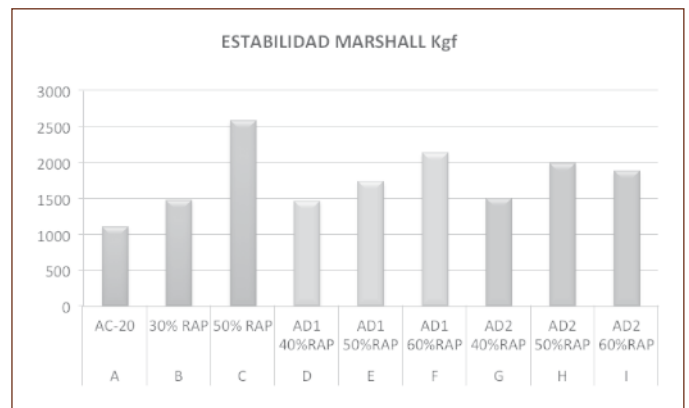
Gráfica 7. Carta de Mezclado para altas temperaturas.

Para la elaboración de las cartas de mezclado tanto a bajas como altas temperaturas es necesario tener dos valores:

- Temperatura crítica o de falla para el asfalto original a altas temperaturas.
- Temperatura crítica o de falla para el asfalto recuperado a bajas temperaturas.

Se utilizó el aditivo con la formulación de 85% de DANOX A-P más 15% KAOMIN KW por la razón de no tener posibles problemas de deformación permanente al mantener el grado PG superior en el mismo nivel que el asfalto original y al ser esta formulación la que mejor modificaba el grado PG inferior.

Para el estudio en particular se eligió un solo tipo de aditivo el cual generaba en el asfalto nuevo la siguiente clasificación:



Gráfica 8. Carta de Mezclado para bajas temperaturas.

Tabla 15. Asfaltos utilizados para la experimentación			
Clasificación PG			
Tipo AC	% RAP	Tc altas	Tc bajas
Asfalto nuevo	0	65,8	-27,3
Asfalto recuperado	100	90	-18,2

Al tener la clasificación de los asfaltos se grafican las temperaturas críticas y se traza una línea recta entre los dos puntos y encontramos la cantidad de material recuperado (RAP) que teóricamente se puede incorporar en una mezcla asfáltica.

En las gráficas de las cartas de mezclado podemos observar que la factibilidad de utilizar dotacio-

nes de RAP cercanas al 60% por lo que para realizar las mezclas asfálticas para las pruebas se optó por usar dosificaciones desde 30% hasta 60% de RAP.

Al utilizar las cartas de mezclado descritas en el manual “Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method: Technician’s Manual NCHRP 452” se justifica la utilización de hasta el 60% de RAP al utilizar el aditivo rejuvenecedor.

### Estabilidad Marshall ASTM D6927

En la prueba de estabilidad Marshall se realizó con la intención de cuantificar la rigidez de la mezcla asfáltica compacta tanto para los casos con y sin material recuperado.

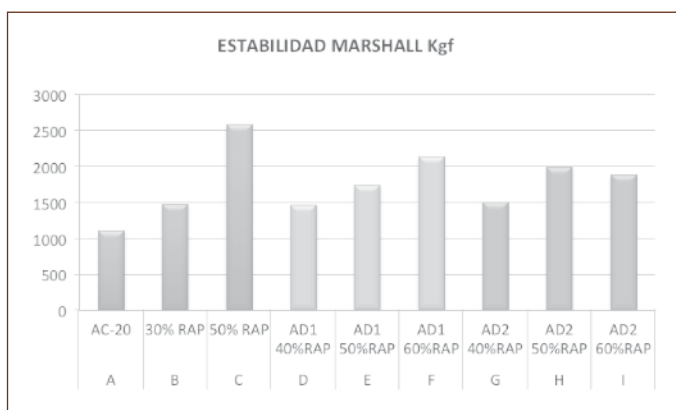
En la prueba de estabilidad Marshall se observa que la rigidez de la mezcla asfáltica se incrementa conforme vamos incrementando la cantidad de RAP.

**Tabla 16. Valores de estabilidad Marshall**

Estabilidad Marshall Kgf		
A	NATURAL	1104
B	30% RAP	1472
C	50% RAP	2575
D	AD1 40% RAP	1462
E	AD1 50% RAP	1733
F	AD1 60% RAP	2126
G	AD2 40% RAP	1502
H	AD2 50% RAP	1991
I	AD2 60% RAP	1879

**Tabla 17. Resultados de la resistencia a la tracción indirecta**

	TSR		
	Seca kPa	Acondicionada kPa	% TSR
AC-20	784	677	86%
30% RAP	1265	1041	82%
50% RAP	1769	1655	94%
AD1 40% RAP	1327	1155	87%
AD1 50% RAP	1189	1117	94%
AD1 60% RAP	1603	1520	95%
AD2 40% RAP	1366	1277	93%
AD2 50% RAP	1317	1264	96%
AD2 60% RAP	1596	1430	90%



Gráfica 9. Representación gráfica de la estabilidad Marshall.

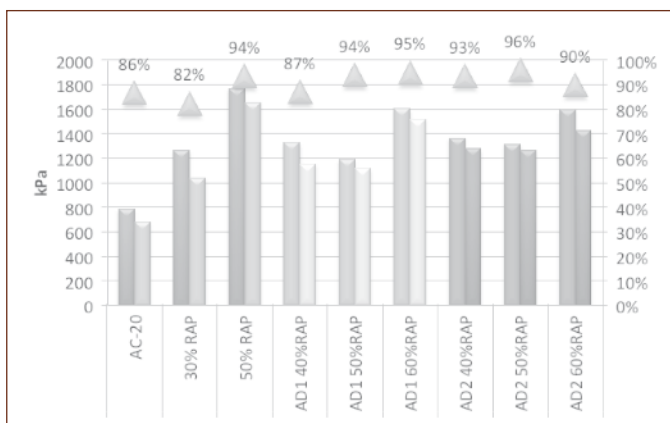
Además observamos que al utilizar el aditivo rejuvenecedor los valores de rigidez se mantienen por debajo en comparación de los valores obtenidos de la mezcla asfáltica de referencia.

### Resistencia al daño por humedad (TSR AASTHO T-283)

La prueba tiene como objetivo principal medir los efectos de la saturación en mezclas compactadas y predecir una falta de adherencia del material pétreo y el asfalto, la mayor resistencia a la falla la ofrece la cohesión interna de la mezcla, tiene un valor recomendado de 80%.

En la gráfica se observa de igual manera que en la prueba de la estabilidad Marshall que cuando se incrementa la cantidad de RAP la rigidez de la mezcla asfáltica incrementa.

Al utilizar entre 40% y 50% de material recuperado (RAP) y el aditivo rejuvenecedor, se observa que la rigidez se controla y no aumenta en la misma escala.



Gráfica 10. Resistencia a la tracción indirecta.

Además de los puntos anteriores se observa que la relación entre la resistencia saturada y la resistencia seca se disminuye, es decir, que disminuye la susceptibilidad del daño por humedad.

### HWT (Rueda Cargada de Hamburgo)

La prueba de la Rueda Cargada de Hamburgo trata de simular el deterioro de la mezcla asfáltica al someterla al paso intermitente de una rueda metálica con una masa constante además de las condiciones de humedad y temperatura.

En las gráficas anteriores observamos que no existe una variación significativa en los valores de la prueba, todos se encuentran dentro de la especificación para esta prueba que es 20 mm de deformación máxima permitida.



**Tabla 18. Resultados de la rueda cargada**

		HWT resumen (mm)		
		R1	R2	Promedio
A	AC-20	5,83	3,34	4,58
B	30% RAP	2,83	2,37	2,6
C	50% RAP	1,32	1,21	1,26
D	AD1 40% RAP	2,39	1,72	2,05
E	AD1 50% RAP	1,8	2,04	1,92
F	AD1 60% RAP	2,1	1,87	1,98
G	AD2 40% RAP	2,05	2,67	2,36
H	AD2 50% RAP	2,84	2,49	2,66
I	AD2 60% RAP	3,17	1,54	2,35

Además se observa una tendencia en la reducción de la deformación permanente al incrementar la cantidad de material recuperado (RAP).

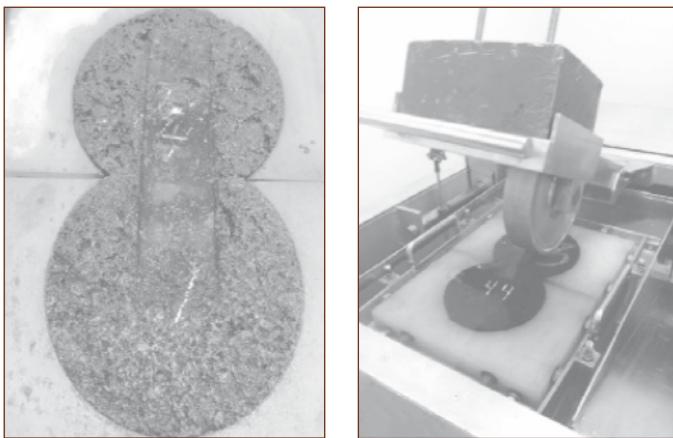
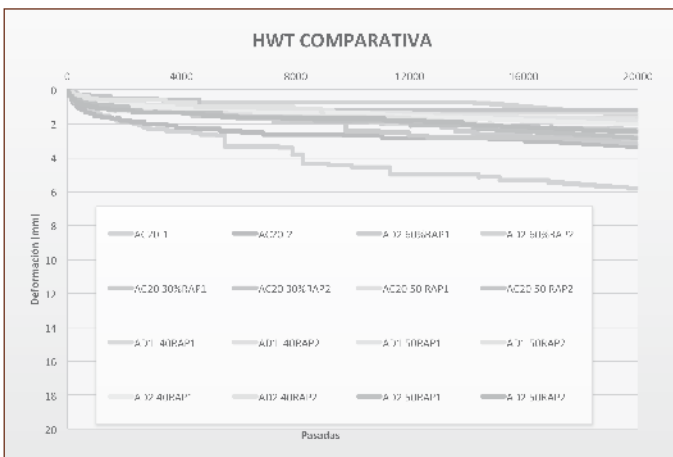
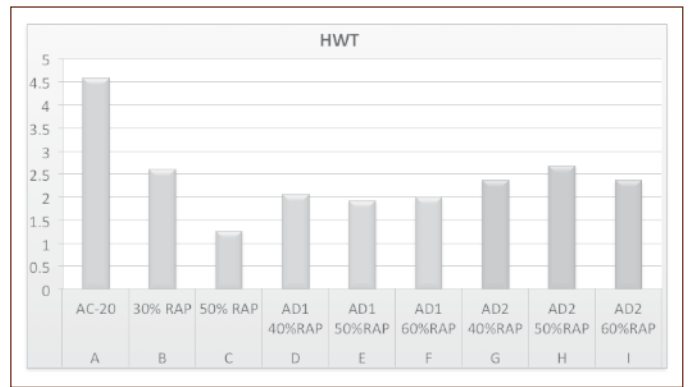


Figura 2. Prueba de la rueda cargada de Hamburgo (HWT).



Gráfica 11. Resultados de la rueda cargada.



Gráfica 12. Resultados de la rueda cargada.

Cuando utilizamos el aditivo rejuvenecedor se observa que la resistencia a deformación se mantiene constante incluso al incrementar la cantidad de RAP.

### Recomendaciones

- Las mezclas asfálticas con RAP deben de desempeñarse al menos como una mezcla virgen.
- Usar las temperaturas críticas para el DSR y BBR.

### Conclusiones

- La variabilidad del RAP debe considerarse de alta importancia por lo que es el factor más importante a la hora de diseñar es el muestreo de la mezcla asfáltica recuperada.
- La extracción del asfalto recuperado se considera como crítico al ser el punto de partida para la cuantificación de RAP en la mezcla nueva.
- Al utilizar las cartas de mezclado se justifica técnicamente el uso máximo de RAP 60.
- Al incrementar el porcentaje de RAP (20%-30%) en la mezcla asfáltica se duplica la rigidez tanto en las pruebas de estabilidad Marshall, tracción indirecta y de la rueda cargada de Hamburgo.
- Al usar el aditivo se controló la rigidez de la mezcla asfáltica en la cual se pudo incorporar un 20% más (llegando a valores del orden de 50%) que con la mezcla asfáltica sin aditivo (30% RAP).
- Al rigidizarse la mezcla asfáltica se reduce la susceptibilidad a la deformación permanente, pero pudiendo generarse problemas de resistencia a la fatiga por lo que es necesaria la evaluación ante este tipo de sollicitación.

# Amor, paz y... asfalto datos históricos



En el informe del Secretario de Comunicaciones y Obras Públicas para el mensaje presidencial del año 1920 del C. Adolfo de la Huerta, menciona entre otros datos:

“...Además se ha dado principio a la *petrolización* de la Calzada de Tlalpan y se ha dedicado atención constante a la reparación y conservación de todas las principales calzadas del distrito federal. En las calles de la ciudad a cargo de la Secretaría se ha hecho una reparación general de los **pavimentos de asfalto...**”



Una de las primeras acciones de la Comisión Nacional de Caminos, creada en 1925, fue la magna tarea de construir en un plazo corto las carreteras México-Pachuca y México-Puebla, terminándolas en septiembre de 1926. Así se logró una de las metas de la Comisión. La introducción de los **caminos pavimentados** aptos para la circulación de automóviles.



PEMEX  
**EKBÉ**<sup>®</sup>  
Superpave PG



**#EligePemex**

La pasión por correr inicia con el alma de la pista  
Asfalto Pemex Ekbé

 @pemex

[www.pemex.com](http://www.pemex.com)

 **PEMEX**<sup>®</sup>



**PRODUCTOS Y SOLUCIONES  
A SUS NECESIDADES  
ESPECIFICAS PARA  
PAVIMENTOS**



**SOSTENIBILIDAD  
DURABILIDAD  
DESEMPEÑO**

## **ADITIVOS**

SÚRFAX AS Promotores de adherencia  
ADISURF Modificadores de asfalto  
SÚRFAX TB Auxiliares de compactación  
SÚRFAX TB2 Mezclas tibias  
SÚRFAX TB3 Mezclas tibias con asfalto modificado con Elvaloy®  
SÚRFAX RF Funcionalizados para reciclados para pavimentos

## **EMULSIFICANTES**

Aniónicos, Catiónicos (Rompiamiento rápido, lento y super estable)

## **POLÍMEROS**

Elvaloy® Terpolímero elastómero reactivo (PG, Jnr y tipo I)  
SURFALFLEX Polímeros líquidos (SBR) para emulsiones  
SÚRFAX CATALIZADORES (Ácido polifosfónico, NHPG y Surfadit Mac)

## **FIBRAS**

VIATOP® PREMIUM Fibra de celulosa para pavimentos SMA

[www.surfax.com.mx](http://www.surfax.com.mx)  
[ventas@surfax.com.mx](mailto:ventas@surfax.com.mx)  
(33) 3684 7304



Distribuidor Autorizado  
**DuPont® Elvaloy® RET**

Distribuidor Autorizado  
**J. RETTENMAIER & SÖHNE**  
GMBH + CO KG



© 2015 Dupont™ y Elvaloy® son marcas registradas o marcas de E. I. du Pont de Nemours and Company o sus aliados. Todos los derechos reservados.  
© 2015 J. RETTENMAIER & SÖHNE GmbH + Co KG. Todos los derechos reservados.



# Evaluación de la reducción del impacto ambiental y consumos de una mezcla asfáltica tibia frente a una mezcla asfáltica caliente convencional

---

Freys Julio Serrano  
Luis Enrique Sanabria Grajales  
Corasfaltos  
freysjulio@corasfaltos.com  
CILA, 2015

## Introducción

Las mezclas asfálticas tibias (WMA, Warm Mix Asphalt) es un tema que está a la vanguardia en la comunidad científica; se comenzó a discutir desde 1950,<sup>[1]</sup> pero solo a mediados de los 90s en Alemania se utilizaron ceras, que reducían sustancialmente las temperaturas de mezclado y compactación de las mezclas, debido al cambio en la viscosidad del asfalto.<sup>[2]</sup> En Estados Unidos se ha impulsado el uso de las mezclas tibias desde 1956, cuando se usaron por primera vez en Iowa.

Más adelante el proceso de WMA se desarrolló en Europa, y fue reportado por Harrison y Christodulaki en el First International Conference of Asphalt Pavements en Sydney, y en Eurobitumen en el año 2000; mostrando resultados de diferentes laboratorios y tramos experimentales.<sup>[3]</sup>

Posterior a la década de los 90s se comenzaron a introducir nuevos materiales como: aditivos orgánicos, zeolitas, entre otras. Actualmente se ha encontrado que la fabricación de las mezclas tibias se ha incrementado en un 416% en Estados Unidos, para el año 2012, aprovechando todas las bondades que trae consigo esta tecnología.<sup>[4]</sup>

En el presente artículo se demuestra a nivel experimental en planta, el impacto ambiental que se produce por una mezcla convencional y cómo se puede reducir usando una mezcla tibia, ratificando así las bondades que tiene este tipo de tecnología, también se analizó la reducción de los consumos de energía en los procesos demostrando así la mejora y mayor eficiencia de los mismos.

## Instrumentos

Para la toma de muestra se utilizó un equipo de muestreo isocinético marca Clean Air Express modelo M-5 Meter, una sonda de la misma marca Clean Air Express de 4 pies de longitud en acero inoxidable.

La muestra de gas para la determinación de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, se realizó con un equipo medidor de gases de combustión Fyrite marca Bacharach.

El análisis de los VOC y HCT se realizó utilizando un cromatógrafo de gases Agilent Technologies series GC 7890B, con detector de ionización en llama (FID), columna CP-Sil8CB, 30 m; 0,53 mm acoplado a un sistema headspace HHSS 7697 series.

## Desarrollo experimental

Inicialmente se realizó la caracterización de la mezcla asfáltica convencional y la mezcla tibia, a través de ensayos de laboratorio a fin de obtener datos relevantes tales como: temperatura de compactación, temperatura de mezclado, porcentaje de asfalto, gravedad específica Bulk, porcentaje de vacíos entre otros.

Para la toma de muestras gaseosas y determinación de la humedad se usaron impactadores y acoples. El tren de impactadores cuenta con un total de 4 unidades; para determinar la humedad (monitoreo preliminar), los dos primeros contienen, cada uno, 100 mililitros de agua destilada, el tercero se encuentra vacío y el último contiene 200 gramos de Silica-gel. Estos impactadores se encuentran sumergidos en hielo el cual, por diferencia de temperaturas, causa condensación. Entre otros accesorios se encuentra el portafiltro que está ubicado en la caja caliente.

El muestreo de VOC y HCT se realizó con tubos especiales para muestras de gases, rellenos de carbón activado de origen vegetal de 8 x 110 mm, con una sección del tubo 200 mg de absorbente, malla 20/40.

## Análisis de resultados

El análisis de los resultados se realizó inicialmente para el proceso de producción con un asfalto convencional.

Una vez realizados los estudios de diseño de mezclas en laboratorio, se establecieron los siguientes parámetros para la producción de mezcla asfáltica convencional, para la planta de producción:

**Tabla 1. Parámetros del diseño de la mezcla con asfalto original**

Propiedad	Valor	Unidad
Temperatura de compactación	134	°C
Temperatura de mezclado	150	°C
Porcentaje de asfalto	5,0	% p/p
Gravedad específica bulk	2,354	g/cm <sup>3</sup>
Porcentaje de agregado	95	% p/p
Porcentaje de aditivo	0	% p/p

Adicional al estudio ambiental, se realizó la toma de datos (Tabla 2) para la realización de los cálculos de balance de masas y energía de la producción de mezcla asfáltica convencional.

**Tabla 2. Datos recolectados de la producción de la mezcla asfáltica convencional**

Variables	Valor	Unidad
Volumen de producción (Total)	147,5	m <sup>3</sup>
Consumo de gas (Total)	6951	m <sup>3</sup>
Consumo de energía eléctrica (Total)	25,34	kwh

También se realizó la evaluación de las emisiones de material particulado, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, expresados como dióxidos de nitrógeno, provenientes del tambor secador durante la preparación de la mezcla asfáltica convencional.

Con la realización de los ensayos y las correcciones de las concentraciones finales de material particulado, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, se muestran en la Tabla 3.

<b>Tabla 3. Resultados del análisis isocinético en la chimenea</b>			
Fuente	Contaminante	Flujo de contaminante (emisión) (Kg/h)	Concentración (mg/m <sup>3</sup> )
Tambor secador	MP	0,84	71,06
	SO <sub>2</sub>	0,03	2,55
	NO <sub>x</sub>	0,65	55,19

Analizando los resultados del análisis isocinético se encontró que el porcentaje de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) fue 5% y oxígeno (O<sub>2</sub>) 15% y el flujo de contaminantes o emisiones, durante la toma de muestra del material particulado, para este tipo de mezcla en condiciones de referencia corregido al 11% de oxígeno fue de 0,84 kg/h.<sup>[4]</sup>

Una vez obtenidos los datos se realizaron los cálculos de cantidad de mezcla y velocidad de producción; en la elaboración del balance de masas y energía se determinó el consumo energético del proceso, en la tabla a continuación se presentan algunos de los resultados.

<b>Tabla 4. Variables calculadas del proceso</b>		
Variables	Cantidad	Unidad
Cantidad de mezcla	347,2	ton
Velocidad de producción	70,62	ton/h
Consumo energía	32,8 x 10 <sup>6</sup>	KJ

Con los datos calculados, se procedió a realizar el diagrama de balance de masas y energía, para la producción de la mezcla asfáltica convencional, el cual se presenta en el siguiente diagrama.

De igual forma como se realizó el estudio para el asfalto convencional se evaluó el asfalto modificado, obteniendo los siguientes resultados del diseño de las mezclas en laboratorio, se establecieron los parámetros para la producción de mezcla con asfalto modificado, el cual se realizó en la planta:

<b>Tabla 5. Parámetros del diseño de la mezcla con asfalto modificado</b>		
Propiedad	Valor	Unidad
Temperatura de compactación	106	°C
Temperatura de mezclado	115	°C
Porcentaje de asfalto	5,2	% p/p
Gravedad específica bulk	2,365	g/cm <sup>3</sup>
Porcentaje de agregado	94,8	% p/p
Porcentaje de aditivo	1	% p/p

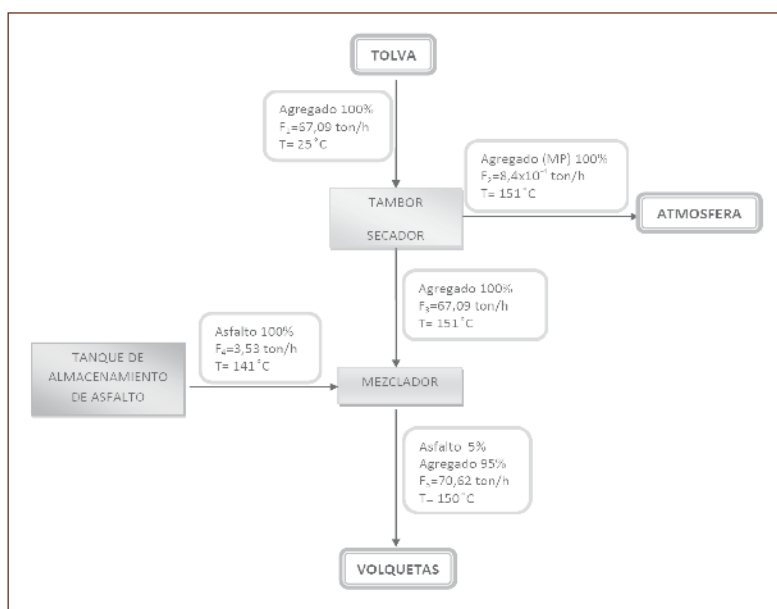


Diagrama 1. Producción de mezcla asfáltica convencional.  
Balance de materia y energía utilizada para el proceso de producción de un asfalto modificado.

Adicional al estudio ambiental, se realizó la toma de datos (Tabla 6) para la realización de los cálculos de balance de masas y energía de la producción de mezcla tibia.

**Tabla 6. Datos recolectados de la producción de mezcla tibia**

Variables	Valor	Unidad
Volumen de producción (Total)	129	m <sup>3</sup>
Consumo de gas (Total)	4632,4	m <sup>3</sup>
Consumo de energía eléctrica (Total)	8,14	kwh

También se realizó una evaluación de las emisiones de material particulado, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, expresados como dióxidos de nitrógeno, provenientes del tambor secador durante la preparación de la mezcla, a fin de determinar si cumple con las disposiciones antes mencionadas en la mezcla asfáltica convencional. Los métodos para la medición de contaminantes fueron los mismos que se emplearon para la medición de la mezcla asfáltica convencional. En la Tabla 7 se presenta el resumen de los resultados obtenidos para este tipo de mezcla.

**Tabla 7. Resultados del análisis isocinético en la chimenea**

Fuente	Contaminante	Flujo de contaminante (emisión) (Kg/h)	Concentración (mg/m <sup>3</sup> )
Tambor secador	MP	0,44	36,36
	SO <sub>2</sub>	0,03	2,69
	NO <sub>x</sub>	0,68	55,72



Analizando los resultados del análisis isocinético respecto a la legislación colombiana vigente, se encontró que la preparación de la mezcla asfáltica tibia, también cumple con los estándares de emisión admisibles para los parámetros de material particulado (MP), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), establecidos en la resolución 909 de 2008, del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en términos de concentración del contaminante (mg/m<sup>3</sup>).

Durante la preparación de la mezcla asfáltica tibia el flujo de contaminantes o emisiones, durante la toma de muestra de material particulado (MP), para la mezcla asfáltica tibia en condiciones de referencia corregido al 11% de oxígeno de 0,44kg/h.<sup>[4]</sup>

Una vez recolectado los datos, se realizaron los cálculos de cantidad de mezcla y velocidad de producción; en la elaboración del balance de masas y energía se determinó el consumo energético del pro-

ceso, en la tabla a continuación se presentan algunos de los resultados.

Tabla 8. Variables calculadas del proceso		
Variables	Valor	Unidad
Cantidad de mezcla (Total)	305,1	ton
Velocidad de producción	80,5	ton
Consumo energía	20,8 x 10 <sup>6</sup>	KJ

En la Tabla 8 encontramos que los valores del consumo energético fueron 20,8 x 10<sup>6</sup> KJ, también se pudo determinar el tiempo exacto de la producción de la mezcla asfáltica tibia el cual fue 3,79 horas, estos datos son relevantes a la hora de evaluar la producción de la planta. Con los datos calculados, se procedió a realizar el diagrama de balance de masas y energía, para la producción de la mezcla asfáltica tibia, la cual se presenta a continuación.

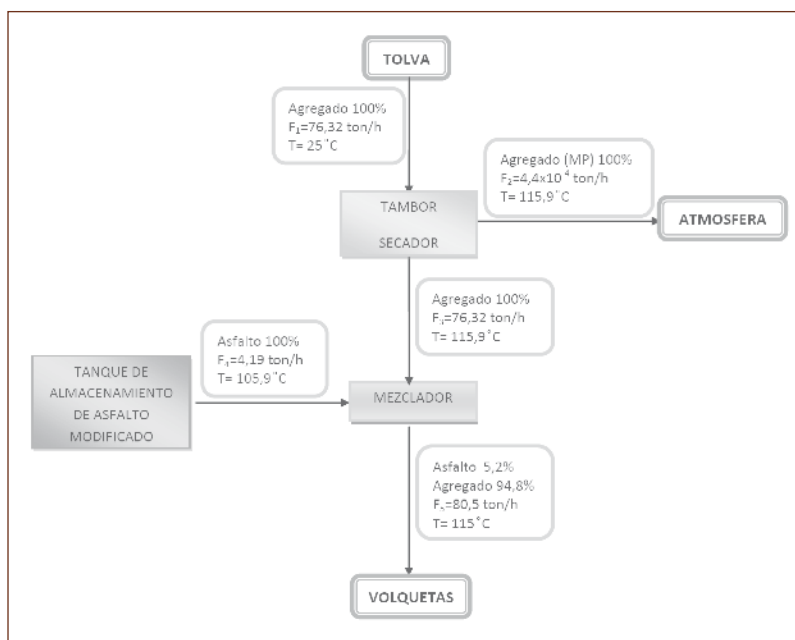


Diagrama 2. Producción de mezcla asfáltica tibia  
Análisis comparativo de los resultados obtenidos de la mezcla convencional caliente y la mezcla tibia.

En el proceso de comparación de resultados se tuvieron en cuenta aspectos tales como, mismo agregado y mismo lote de asfalto a fin de garantizar que la composición química de este no presentara interferencias.

El desarrollo de esta investigación presentó interesantes resultados, entre los que destacan la parte ambiental, el consumo energético, la velocidad de producción y la salud ocupacional; todos estos aspectos fueron analizados en el presente proyecto en

el que se produce una nueva mezcla asfáltica cuyas características en muchos aspectos es superior a una mezcla convencional, aspectos tales como: la adherencia, la susceptibilidad a la humedad TSR (*Tensile Strength Ratio*) la temperatura de mezclado y compactación, entre otros.

A continuación se presenta un cuadro comparativo del proceso de producción de las mezclas (Tabla 9), en ella se presentan de manera detallada los valores de cantidad de producción, velocidad de producción y consumos energéticos entre muchos otros aspectos.

Parámetro	Mezcla convencional	Mezcla tibia
Temperatura de compactación	134 °C	106 °C
Temperatura de mezclado	150 °C	115 °C
Porcentaje de asfalto	5,0% p/p	5,2% p/p
Gravedad específica bulk	2,354 g/cm <sup>3</sup>	2,365 g/cm <sup>3</sup>
Porcentaje de agregado	95% p/p	94,8% p/p
Porcentaje de aditivo	0% p/p	1% p/p
Volumen de producción (Total)	147,5 m <sup>3</sup>	129 m <sup>3</sup>
Consumo de gas (Total)	6951 m <sup>3</sup>	4632,4 m <sup>3</sup>
Consumo de energía eléctrica (Total)	25,34 kw/h	8,14 kw/h
Cantidad de mezcla	347,2 ton	305,1 ton
Velocidad de producción	70,6 ton/h	80,5 ton/h
Consumo energía	32,8 x 10 <sup>6</sup> KJ	20,8 x 10 <sup>6</sup> KJ

Entonces con la producción de la mezcla tibia se redujo significativamente la temperatura de mezcla y compactación del asfalto hasta 28 °C, manteniendo y mejorando las condiciones y propiedades de trabajo que las mezclas asfálticas convencionales, reduciendo de esta forma las demandas de combustible y las emisiones, aminorando así el impacto al medio ambiente.

Esta tecnología está diseñada para mejorar la trabajabilidad, la adherencia y la compactación de las mezclas asfálticas convencionales o modificadas con polímeros, sin necesidad de realizar ninguna alteración en los equipos utilizados.

En los resultados también se aprecia un incremento de la velocidad de producción en un 14% (Velocidad de producción: convencional 70,6 ton/h y mezcla tibia 80,5 ton/h), este valor se puede analizar como el consumo del tiempo de producción, el cual se refleja en consumo de dinero.

Otro aspecto importante es el consumo energético el cual se calculó para la mezcla convencional en 94,470 KJ/ton y la mezcla tibia en 68,174 KJ/ton

encontrándose una disminución del 39% del consumo energético del proceso.

Entonces dentro de las ventajas que se encontraron en el presente proyecto, podemos decir que se obtuvieron:

- Mejoras de compactación.
- Ahorro de energía.
- Apertura al tráfico en menor tiempo.
- Extiende la vida útil del asfalto.
- Menor envejecimiento del asfalto durante la producción de mezcla, extendiendo la durabilidad del pavimento.

Para el aspecto ambiental encontramos que el aporte entregado en el presente proyecto, es de gran utilidad gracias a los resultados encontrados y apreciaciones realizadas en la planta de producción y en la colocación de la mezcla.

En la Tabla 11 se presentan los resultados obtenidos de las emisiones de los hidrocarburos totales (HCT) y los compuestos orgánicos volátiles (VOC),



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

# CALENDARIO DE EVENTOS 2016

## Primer semestre

Cuotas de recuperación  
incluyen impuestos



EVENTO	SEDE	SOCIO	NO SOCIO	ESTUDIANTE	
<b>ENERO</b> 27 - 29	Curso: Laboratoristas en agregados	IMT - Querétaro	14,000.00	17,000.00	N/A
<b>FEBRERO</b> 25 - 26	Seminario: Reciclado de pavimentos (RAP)	Ciudad Juárez	3,000.00	4,500.00	700.00
<b>MARZO</b> 2 - 4	Curso: Protocolo AMAAC de control de calidad	IMT - Querétaro	8,000.00	10,000.00	N/A
<b>MARZO</b> 31 y 1 abril	Curso: Laboratoristas en mezclas asfálticas	IMT - Querétaro	14,000.00	17,000.00	N/A
<b>ABRIL</b> 11 - 13	Curso: Laboratoristas en agregados	IMT - Querétaro	14,000.00	17,000.00	N/A
<b>ABRIL</b> 14 - 15	Curso: Laboratoristas en mezclas asfálticas	IMT - Querétaro	14,000.00	17,000.00	N/A
<b>ABRIL</b> 14 - 15	Seminario: Capas de rodadura	Aguascalientes	3,000.00	4,500.00	700.00
<b>MAYO</b> 24 - 27	Curso: Diseño de mezclas asfálticas	UDLAP-Puebla	8,000.00	10,000.00	N/A
<b>JUNIO</b> 22 - 24	Curso: Protocolo AMAAC de control de calidad	Monterrey	8,000.00	10,000.00	N/A



@AMAAC\_mx

[www.amaac.org.mx](http://www.amaac.org.mx)



/AMAAC.mx



Distribuidores de



[www.quimicaboss.com.mx](http://www.quimicaboss.com.mx)

Tel: 01(33)3684-0505

[asfaltos@quimicaboss.com.mx](mailto:asfaltos@quimicaboss.com.mx)

### POLIMEROS MODIFICADORES DE ASFALTO

TERPOLÍMERO DE ETILENO  
Lotader AX - 8900  
Asfalto Modificado

BUTONAL NX-4190  
BUTONAL NX-1129

APLICACIÓN  
EMULSION  
Modificada y mezcla en caliente

Polímero SBR.

**!Una solución  
Confiable!**

★ ★ ★ **PRÓXIMAMENTE** ★ ★ ★

3.<sup>a</sup> REUNIÓN ACADÉMICO ESTUDIANTIL AMAAC  
**MEXICALI, OCTUBRE 2016**

[tecnico4@amaac.org.mx](mailto:tecnico4@amaac.org.mx) [www.amaac.org.mx](http://www.amaac.org.mx)



/AMAAC.mx



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.



@AMAAC\_mx

estos últimos son compuestos precursores de ozono troposférico y oxidantes, y por otro lado, son compuestos que pueden presentar un alto riesgo a la salud de la población debido a su alta toxicidad. Son irritantes, de olor desagradable, y algunos son neurotóxicos o cancerígenos.<sup>[8-12]</sup>

Al realizar el análisis de los resultados desde la parte ambiental, en la Tabla 10 se observa una disminución sustancial del material particulado que es

uno de los principales causantes de: a) interferencia con la actividad normal de las personas afectadas, b) enfermedad respiratoria episódica, c) enfermedad incapacitante, d) daño respiratorio, y/o e) difusión respiratoria progresiva, entre otras afectaciones; la disminución del flujo de material particulado es del 48%, dato importante en el sector ambiental porque se está disminuyendo, la afectación de los trabajadores, a la mitad.<sup>[8]</sup>

**Tabla 10. Contaminantes emitidos en chimenea durante la producción de las mezclas asfálticas**

Contaminante	Contaminantes mezcla convencional	Flujo contaminantes mezcla convencional	Contaminantes mezcla tibia	Flujo contaminantes mezcla tibia
MP	966,0x10 <sup>-3</sup> Kg/ton	0,84 Kg/h	11,8x10 <sup>-3</sup> Kg/ton	0,44 Kg/h
SO <sub>2</sub>	5,3x10 <sup>-3</sup> Kg/ton	0,03 Kg/h	0,4x10 <sup>-3</sup> Kg/ton	0,03 Kg/h
NO <sub>x</sub>	8,2x10 <sup>-3</sup> Kg/ton	0,65 Kg/h	9,1x10 <sup>-3</sup> Kg/ton	0,68 Kg/h

**Tabla 11. Concentración de contaminantes emitidos durante la producción de las mezclas asfálticas**

Lugar de medición	Contaminante	Contaminantes mezcla convencional	Contaminantes mezcla tibia
Alrededores	VOC	8023 µg/m <sup>3</sup>	2929 µg/m <sup>3</sup>
	HCT	6116 µg/m <sup>3</sup>	825 µg/m <sup>3</sup>

En cuanto a las emisiones de VOC (Tabla 11), se observa que la concentración de estas se reducen en 63%, reduciendo así el impacto ambiental y la afectación en la población.

Es importante aclarar que los HCT (Tabla 11) tienen un impacto negativo en la salud, siendo sustancias altamente mutagénicas y cancerígenas,<sup>[10]</sup> las cuales con el estudio se encontró una disminución importante en la concentración de las emisiones que se redujeron en un 87%, estos resultados son realmente satisfactorios y muestran lo especial y lo importante de aplicar las mezclas tibias en los proyectos de la infraestructura vial.

Con todo lo anterior hemos encontrado que el uso de las mezclas tibias presenta las siguientes ventajas:

- Disminución de emisiones en plantas de material particulado.
- Mayor seguridad durante la colocación (además de hacerlo más confortable al operario gracias a la disminución de temperatura).

- Disminución de olores.
- Reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, y compuestos orgánicos volátiles.
- Menor exposición a humos para los trabajadores.

## Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos del estudio, se concluye que durante la preparación del asfalto convencional y asfalto modificado en el Tambor Secador, cumplió con los estándares de emisión admisibles para los parámetros de material particulado (MP), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), establecidos en la Resolución 909 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en términos de concentración del contaminante en (mg/m<sup>3</sup>) en Colombia.


La producción de la mezcla tibia se compactó 28 °C y se fabricó 35 °C por debajo de la temperatura de mezcla asfáltica convencional, manteniendo las condiciones y propiedades de trabajo que las



mezclas asfálticas convencionales, reduciendo de esta forma las demandas de combustible y las emisiones, reduciendo así el impacto al medio ambiente.

La velocidad de producción de la mezcla asfáltica tibia se incrementó en un 14% frente a los resultados obtenidos de la producción de una mezcla convencional (velocidad de producción: convencional 70,6 ton/h y mezcla tibia 80,5 ton/h), también se determinó que el consumo energético de la mezcla tibia se redujo en un 39%.

La mezcla asfáltica tibia presentó una disminución del material particulado del 48% dato importante en el sector ambiental, se disminuye la afectación de los trabajadores y la comunidad donde se está aplicando.

Las emisiones de VOC, se redujeron en 63% y las de HCT en un 87%; estos resultados fueron satisfactorios y muestran la especial importancia de aplicar las mezclas tibias en los proyectos de la infraestructura vial. 

## ¿Quieres profundizar?

1. Vaitkus, A., Cygas, D., Laurinavicius, A., & Perveneckas, Z. (2009). Analysis and evaluation of possibilities for the use of warm mix asphalt in Lithuania. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 4(2).
2. European Asphalt Pavement Association. The use of warm mix asphalt. EAPA position papere January 2013.
3. Abdullah, M. E., Zamhari, K. A., Buhari, R., Bakar, S. K. A., Kamaruddin, N. H. M., Nayan, N., & Yusoff, N. I. M. (2014). Warm Mix Asphalt Technology: A Review. *Jurnal Teknologi*, 71(3).
4. Hansen, K. R., & Copeland, A. (2013). 2nd Annual Asphalt Pavement Industry Survey on Reclaimed Asphalt Pavement, Reclaimed Asphalt Shingles, and Warm-Mix Asphalt Usage: 2009-2011 (No. Information Series 138).
5. Title 40 Part 60 Appendix A of the Code of Federal Regulations. U.S. Environmental Protection Agency. 2008. Disponible en: [http://www.access.gpo.gov/nara/cfr/waisidx\\_08/40cfr60a\\_08.html](http://www.access.gpo.gov/nara/cfr/waisidx_08/40cfr60a_08.html).
6. Decreto 948 de 1995. Bogotá, Junio 5 de 1995, Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, República de Colombia. 2010.
7. Resolución 610 del 24 de marzo de 2010. Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, República de Colombia. 2010. Disponible en: [http://www.minambiente.gov.co/documentos/res\\_0610\\_240310.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/res_0610_240310.pdf).
8. El ozono troposférico y sus efectos en la vegetación. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Centro de Publicaciones, 2009. PP.7-65.
9. Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica generada por fuentes fijas Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, República de Colombia. Abril 2010 Disponible en: [http://www.minambiente.gov.co/documentos/5365\\_260410\\_protocolo\\_fuentes\\_fijas.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/5365_260410_protocolo_fuentes_fijas.pdf).
10. Serrano Trespalcios, P. I. (1998). Indicadores ambientales de compuestos orgánicos volátiles en el aire ambiente de la Ciudad de México. In *Conserva. Consejo de Estudios para la Restauración y Valoración Ambiental. Tomo II: salud* (pp. 1-10). SMA.
11. Barrios Casas, S., Peña-Cortés, F., & Osses Bustingorry, S. (2004). Efectos de la contaminación atmosférica por material particulado en las enfermedades respiratorias agudas en menores de 5 años. *Ciencia y enfermería*, 10(2), 21-29.
12. Lerner, C., & Esteban, J. (2013). Contaminación ambiental: análisis y mitigación/remoción de material particulado (MP) y compuestos orgánicos volátiles (COVs) y semivolátiles (COSVs) (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Exactas).
13. Adonis, M., & Gil, L. (2002). Toxicogenómica: una nueva disciplina para evaluar el riesgo de la contaminación ambiental. *Revista Ambiente y Desarrollo*, 18(2-3), 49.

# Influencia de los aditivos rejuvenecedores del asfalto en las propiedades reológicas del mismo

Álvaro Gutiérrez Muñiz, Raúl Terán Orozco  
Quimikao, S.A. de C.V.  
agutierrez@quimikao.com.mx  
CILA 2015

## Introducción

La mezcla asfáltica en caliente es un material compuesto por asfalto y un agregado mineral. El asfalto actúa como un agente ligante que aglutina las partículas en una masa cohesiva en forma muy efectiva, por lo que resulta un material muy atractivo para fabricar carpetas de rodadura. El asfalto como todo material presenta limitaciones, siendo una de las principales la oxidación del mismo.

Debido a que el asfalto está constituido por moléculas orgánicas, estas reaccionan con el oxígeno del medio ambiente. Esta reacción se llama oxidación y cambia la estructura y composición de las moléculas del asfalto. El resultado es una estructura más frágil y es la razón del término endurecimiento por oxidación o por envejecimiento.<sup>[1]</sup>

En la siguiente Figura 1 podemos apreciar la variación del módulo del asfalto en función de la temperatura, a temperaturas entre 120 y 150 °C el asfalto nuevo se comporta como un líquido viscoso presentando una viscosidad de décimas de Pascales y a temperaturas entre -30 y 0 °C el asfalto se comporta como un sólido rígido, pero con el transcurso del tiempo el asfalto incrementa su módulo y se comportará como un sólido rígido a temperatura ambiente presentando problemas de fisuración por tener una estructura más frágil.<sup>[2]</sup>

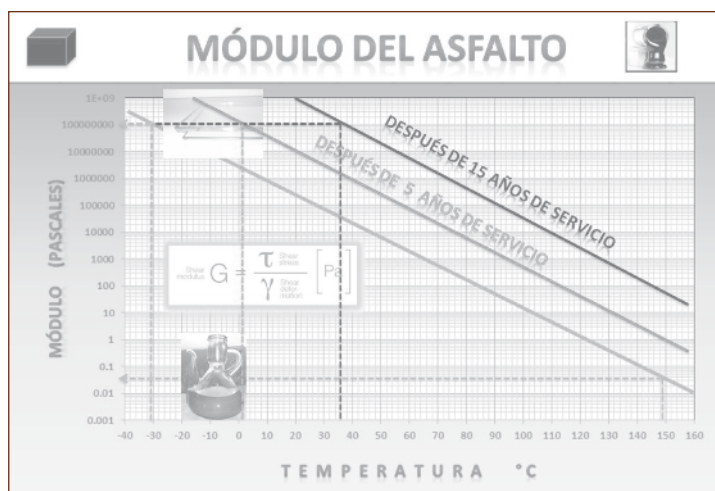


Figura 1. Comportamiento del Módulo del Asfalto en función de la temperatura y de su oxidación.

Este fenómeno de oxidación del asfalto ocurre en el pavimento a una velocidad relativamente baja, si bien es mucho más rápido en un clima cálido que en un clima frío. Así el endurecimiento por oxidación es estacional y es más marcado en verano que en invierno. Debido a este tipo de endurecimiento, los pavimentos viejos son más susceptibles al agrietamiento que los nuevos. Incluso, los pavimentos asfálticos nuevos pueden ser propensos a este fenómeno si no se compactan adecuadamente. En este caso, la falta de compactación origina un alto contenido de vacíos en la mezcla, lo que permite a una mayor cantidad de aire ingresar en la mezcla asfáltica y agravar el endurecimiento por oxidación (problema muy grave y constante en México). Una muy considerable parte del envejecimiento por oxidación ocurre antes de la colocación del asfalto, es decir, durante el mezclado en caliente y durante la etapa de colocación y compactación; en estas etapas se emplea una alta temperatura y el asfalto se encuentra adherido al agregado en forma de una película muy delgada por lo que la reacción de oxidación ocurre a una velocidad mayor, es por ello que en las mezclas asfálticas fabricadas con asfaltos modificados con polímeros el asfalto se oxida más que cuando no contienen polímeros.

Otro tipo de endurecimiento ocurre durante el mezclado en caliente y construcción; se denomina “volatilización”. A altas temperaturas los componentes volátiles del asfalto se evaporan. Estos componentes volátiles (livianos del tipo aceites) ablandarían al asfalto de permanecer dentro de este. Para la evaluación del envejecimiento del asfalto durante el mezclado, colocación y compactación de las mezclas asfálticas además de la volatilización, se utiliza la prueba de la Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO), AASHTO T240, ASTM D2872.<sup>[1]</sup>

Para simular el envejecimiento del asfalto con el transcurso del tiempo, Superpave creó una prueba utilizando la cámara de envejecimiento a presión (PAV) según norma AASHTO R28-06 y ASTM D 6521-05. Este ensayo expone las muestras de asfalto a la acción de calor y presión con el objeto de recrear, en cuestión de horas, años de envejecimiento en servicio del pavimento. Es importante destacar que, por propósitos de especificación, las muestras de asfaltos envejecidas en el PAV fueron previamente envejecidas en el RTFO. Consecuentemente, el residuo del ensa-

yo PAV ha sufrido todas las condiciones a las que son expuestos los asfaltos durante la producción, colocación y servicio.

Para simular la rigidez del asfalto oxidado después de periodo de servicio, la muestra de asfalto oxidado procedente del PAV después del envejecimiento a presión, es analizada en un reómetro de viga de flexión (Bending Beam Rheometer BBR) siguiendo el método de prueba AASHTO T-313 o ASTM D 6648, en este método se prepara una viga de asfalto de dimensiones de 6,25 mm de espesor por 125 mm de largo y 12,5 mm de ancho que se apoya en sus extremos y se le aplica una carga de creep (100 gramos) durante 240 segundos evaluando como cambia su deflexión y rigidez con el transcurso de tiempo y específicamente se reporta la rigidez (stiffness) y el valor absoluto de la pendiente (m) de la curva a los 60 segundos descrita al graficar el logaritmo de la rigidez contra el logaritmo del tiempo; la Figura 2 muestra lo anteriormente mencionado.<sup>[1]</sup>

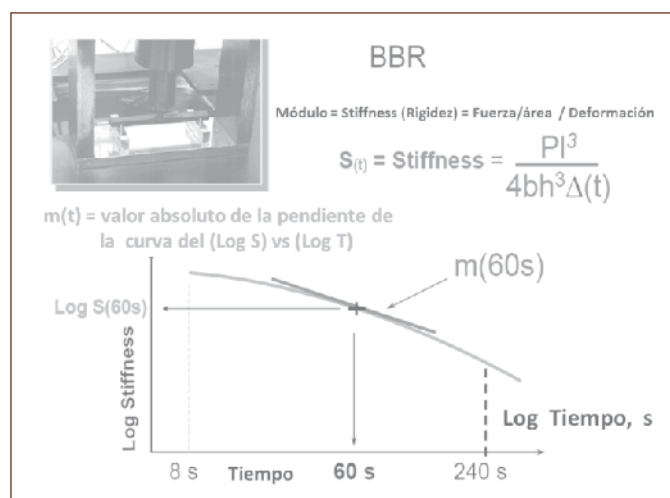


Figura 2. Descripción de la rigidez del asfalto utilizando el método de prueba AASHTO T-313.

Este método de prueba es muy eficiente para evaluar la rigidez del asfalto a bajas temperaturas y después de haber sido oxidado, especificando que el valor de la rigidez (stiffness “S”) debe de ser como máximo 300 MPa y el valor absoluto de la pendiente “m” debe de ser como mínimo 0,300 a la temperatura que se realice la prueba, de tal forma que esta medición de la rigidez y la pendiente se hace a varias temperaturas y en la cual se obtenga

este valor de 0,300 es llamada temperatura crítica de falla “Tc”.<sup>[2]</sup> Cabe mencionar que la temperatura a la cual se hace el ensayo no es la que representa el campo, sino que son 10 grados menos debido a la superposición tiempo-temperatura, es decir, si una muestra de asfalto oxidado presenta un valor de “m” de 0,300 a una temperatura de prueba de -13,4 °C, se reporta como Tc de -23,4 °C. En este estudio el valor de Tc es un criterio muy importante para seleccionar el mejor aditivo rejuvenecedor de asfalto dado que es sabido que estos aditivos reducen la viscosidad del asfalto oxidado hasta lograr una viscosidad semejante a la del asfalto nuevo, pero este asfalto rejuvenecido tendrá que ser resistente a una nueva oxidación y entre más baja sea su Tc será un mejor aditivo. La mayoría de los aditivos rejuvenecedores están compuestos de aceites orgánicos del tipo aromáticos que disminuyen en forma muy eficiente la viscosidad del asfalto pero al someterlos a pruebas de oxidación estos no son resistentes debido a su composición orgánica y en este estudio demostramos como las aminas grasas y derivados reducen la viscosidad del asfalto oxidado y resisten las pruebas de oxidación logrando obtener muy baja temperatura crítica de falla “Tc” para el valor de  $m = 0,300$ .

El método AASHTO T-313 presenta desviaciones estándar en sus resultados realizados por el mismo operador y en este estudio observamos que al evaluar la Tc de un asfalto utilizando diferentes aditivos rejuvenecedores no se observan cambios significativos, pero si se observaron al variar en pequeños rangos la dosis del mismo aditivo. Debido a esto se investigó una nueva forma de evaluar la resistencia a la oxidación del asfalto encontrando que el punto de fusión del asfalto es un parámetro más preciso.

El punto de fusión del asfalto es determinado cuando el ángulo de fase ( $\delta$ ) es igual a 45° determinado en un reómetro de corte dinámico (DSR) y está basado entendiendo que el asfalto es un material visco-elástico, es decir, exhibe un comportamiento viscoso (fluye ante una carga) y un comportamiento elástico (se deforma ante una carga) al mismo tiempo, de tal forma que podríamos representar el módulo de corte complejo ( $G^*$ ) como la resultante de un sistema de vectores formado por una componente elástica ( $G'$ ) y una componente visco-

sa ( $G''$ ); cuando una de las componentes es mayor, el comportamiento que predomina es el de esta, es decir, si la componente elástica es mayor que la viscosa el comportamiento del asfalto será como un sólido visco-elástico (esto ocurre a bajas temperaturas) y cuando la componente viscosa es mayor que la elástica el comportamiento del asfalto será como un líquido visco-elástico (esto ocurre a altas temperaturas).

Cuando la componente elástica y la viscosa son iguales en magnitud, el ángulo de fase es 45° representando el punto de fusión del mismo y si comenzamos a incrementar la temperatura del asfalto por arriba de su punto de fusión, el comportamiento de este comenzará como un líquido-visco-elástico hasta alcanzar el comportamiento de un líquido viscoso, pero si comenzamos a disminuir la temperatura del asfalto por debajo de su punto de fusión, el comportamiento de este comenzará como un sólido-visco-elástico hasta alcanzar el comportamiento de un sólido rígido.<sup>[3,4]</sup> En la Figura 3 se explica en forma gráfica lo anteriormente mencionado.

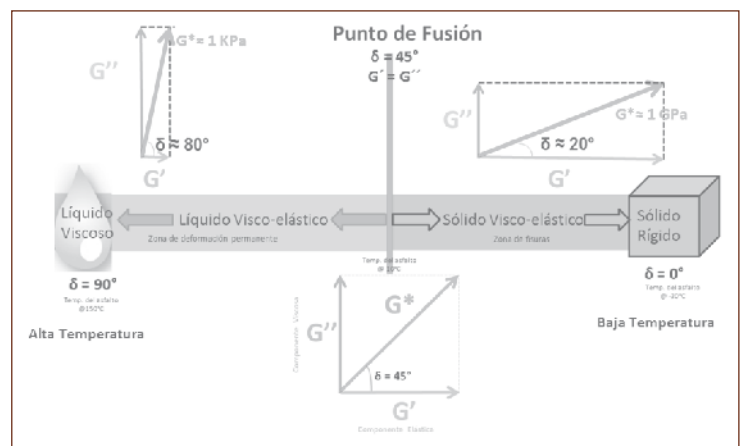


Figura 3. Explicación de la determinación del punto de fusión del asfalto.

El punto de fusión del asfalto determinado por la temperatura a la cual las componentes elástica y viscosa del mismo son iguales en magnitud o donde el ángulo de fase es igual a 45° cambia conforme el asfalto se oxida, es decir, aumenta conforme se oxida debido a que esta reacción tiene como consecuencia que el asfalto sea más rígido,<sup>[3]</sup> la Figura 4 muestra este cambio.



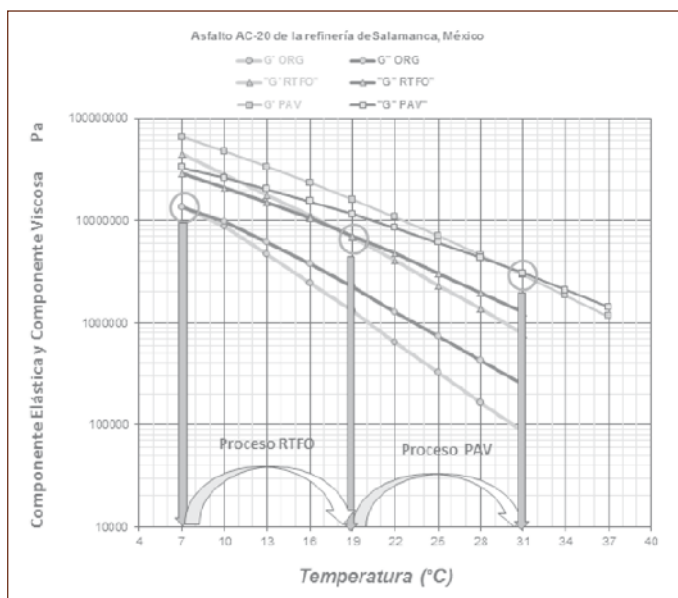


Figura 4. Aumento del punto de fusión del asfalto conforme se oxida.

## Programa experimental

En este estudio, el funcionamiento de diferentes aditivos rejuvenecedores del asfalto fue evaluado midiendo la reducción de la viscosidad del asfalto debida a la adición de los mismos así como la resistencia a la oxidación del mismo y para ello se utilizó un asfalto parcialmente oxidado en todo el estudio denominado como asfalto “Base”.

La medición de la reducción de la viscosidad del asfalto a las temperaturas entre 80 y 150 °C debida a la adición de los aditivos rejuvenecedores fue realizada con el reómetro de corte dinámico utilizando los platos planos de 25 mm con una abertura entre ellos de 1 000 micras, una velocidad angular de 3 rad/s y una rampa de temperatura de 3,5 °C/min.

La medición de la reducción de la viscosidad compleja  $\eta^*$  del asfalto a la temperatura de 64 °C debida a la adición de los aditivos rejuvenecedores fue realizada con el reómetro de corte dinámico utilizando los platos planos de 25 mm y una frecuencia de 10 radianes por segundo.<sup>[2]</sup>

La evaluación de la resistencia a la oxidación del asfalto en la etapa de mezclado y compactación de la mezcla asfáltica, se efectuó mediante la medición del Módulo de Corte Complejo  $G^*$  del asfalto a la temperatura de 52 °C después de haber sido oxidada la

muestra en el horno RTFO utilizando el DSR con los platos planos de 25 mm con una deformación del 10% y una frecuencia de 10 rad/s.<sup>[2]</sup>

La evaluación de la resistencia a la oxidación del asfalto después de un periodo de servicio (aproximadamente entre 6 y 8 años) se realizó con la determinación de la temperatura crítica de falla para el valor de la pendiente “m” igual a 0,300 indicativa del cambio de la rigidez con el tiempo, con la determinación del punto fusión del asfalto y con la medición del ángulo de fase a las temperaturas de 22 y 34 °C utilizando el DSR con los platos de 8 mm y una deformación del 1% y después de haber sido oxidado el asfalto en los hornos RTFO y PAV.<sup>[2]</sup>

En este estudio se emplearon 6 aditivos rejuvenecedores cuya descripción química general es mostrada en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción química general de los aditivos rejuvenecedores utilizados en este estudio

Aditivo rejuvenecedor	Composición química
A	Poliamina grasa
B	Nitrilo graso
C	Aceite mineral
D	Aceite vegetal
E	Amino – Nitrilo graso
F	Mezcla de glicoles de alto peso molecular

Con el objetivo de eliminar variables, en todas las pruebas los aditivos fueron utilizados en la proporción en peso de 100 partes de asfalto por tres partes de aditivo rejuvenecedor.

La comparación de evaluación de comportamiento entre aditivos rejuvenecedores se llevó a cabo por la posición de desempeño, siendo el número 1 el mejor y el número 6 el peor.

## Resultados

### Evaluación de la viscosidad del asfalto “Base” a altas temperaturas utilizando los aditivos rejuvenecedores del asfalto

En la gráfica de la Figura 5 podemos observar que la mayoría de los aditivos rejuvenecedores de asfalto que existen en el mercado reducen la viscosidad del mismo en forma muy similar, esta reducción

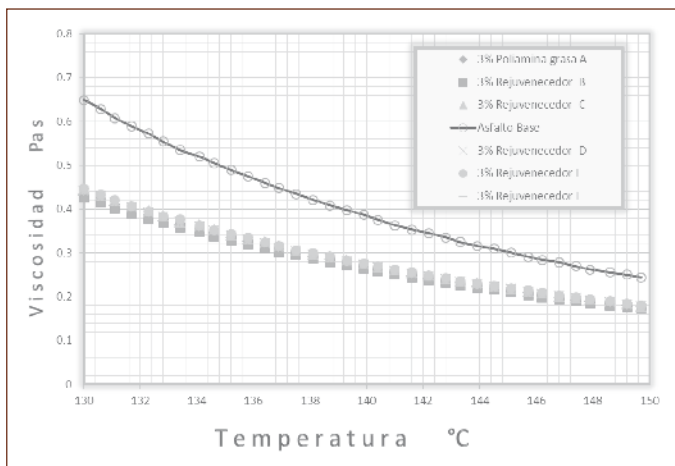


Figura 5. Efecto de la reducción de viscosidad del asfalto debido a la adición de los aditivos rejuvenecedores a las temperaturas entre 130 y 150 °C.

está en función del contenido de rejuvenecedor y en este estudio todos los aditivos están dosificados al 3% respecto al asfalto “Base” parcialmente oxidado.

La siguiente Tabla 2 muestra el valor específico de la viscosidad del asfalto “Base” sin y con aditivos rejuvenecedores a la temperatura de 135 °C, así como de la posición en la evaluación de comportamiento de desempeño de los mismos, podemos observar que los aditivos “E”, “B” y “A” fueron los que más redujeron la viscosidad del asfalto “Base” que estaba ligeramente oxidado y el aditivo “F” fue el que menos redujo la viscosidad de este. Entre más se reduzca la viscosidad en este rango de temperaturas será más fácil el mezclado y la compactación.

Tabla 2. Evaluación de la viscosidad del asfalto a 135 °C con la utilización de los aditivos rejuvenecedores a la dosis de 3% respecto al asfalto “Base”

Aditivo rejuvenecedor (3% respecto al asfalto base)	Viscosidad del asfalto a 135 °C (Pa s)	Posición de desempeño de comportamiento
Base	0,4897	-
A	0,3298	3
B	0,3290	2
C	0,3387	5
D	0,3324	4
E	0,3281	1
F	0,3854	6

### Evaluación de la viscosidad compleja $\eta^*$ del asfalto “Base” utilizando los aditivos rejuvenecedores de asfalto

La siguiente Tabla 3 muestra el valor específico de la viscosidad compleja  $\eta^*$  del asfalto “Base” sin y con aditivos rejuvenecedores a la temperatura de 64 °C, así como la posición de evaluación de comportamiento, podemos observar que el aditivo “A” y el “E” fueron los que más redujeron la viscosidad compleja del asfalto y el aditivo “F” fue el que menos redujo esta viscosidad compleja. Entre mayor sea la viscosidad del asfalto aditivado la probabilidad de deformación permanente (rodera) disminuirá.

Hay que recordar que la viscosidad compleja está definida como la relación del módulo de corte complejo entre la frecuencia angular que en este caso fue de 10 rad/s:

$$\eta^* = G^* / 10 \text{ rad/s}^{[2]}$$

# Forma parte de esta **Asociación**

¡Conócenos!

¡Afílate!

# AILA

¡Únete!



Asociación Ibero Latino  
Americana del Asfalto, A.C.



[/AILA.org](https://www.facebook.com/AILA.org)



[@AILA\\_org](https://twitter.com/AILA_org)

Informes e Inscripciones [www.ailaac.org](http://www.ailaac.org)

[grtegral@ailaac.org](mailto:grtegral@ailaac.org)

[grteadmon@ailaac.org](mailto:grteadmon@ailaac.org)

**Tabla 3. Evaluación de la viscosidad compleja  $\eta^*$  del asfalto a 64 °C sin y con la utilización de los aditivos rejuvenecedores a la dosis de 3% respecto al asfalto**

Aditivo rejuvenecedor (3% respecto al asfalto base)	Viscosidad compleja del asfalto $\eta^*$ a 64 °C (Pa s)	Posición de desempeño de comportamiento
Base	210,7	-
A	84,58	1
B	84,74	3
C	86,75	4
D	98,81	5
E	84,60	2
F	99,87	6

### ***Evaluación de la resistencia a la oxidación del asfalto “Base” formulado con los aditivos rejuvenecedores de asfalto***

#### **Evaluación de la resistencia a la oxidación del asfalto “Base” formulado con los aditivos rejuvenecedores empleando el proceso de oxidación en horno RTFO**

Una vez que el asfalto es mezclado con el aditivo rejuvenecedor, este es oxidado en el horno RTFO según método AASHTO T-240-06 o ASTM D 2872-04, después se determina el módulo de corte complejo  $G^*$  a la temperatura de 52 °C, de tal forma que al comparar los aditivos rejuvenecedores el mejor será aquel que le proporcione al asfalto base el menor módulo de corte complejo  $G^*$  indicativo de que se rigidizó en menor proporción. En la siguiente Tabla 4 podemos observar que el aditivo “A” y el “E” fueron los que presentaron el menor módulo  $G^*$  y el aditivo “F” fue el que presentó el mayor módulo.

**Tabla 4. Evaluación del módulo de corte complejo  $G^*$  del asfalto a 52 °C sin y con la utilización de los aditivos rejuvenecedores a la dosis de 3% respecto al asfalto “Base” parcialmente oxidado después de la prueba de RTFO**

Aditivo rejuvenecedor (3% respecto al asfalto base)	Viscosidad de corte complejo del asfalto $G^*$ a 52 °C después de RTFO (Pa s)	Posición de desempeño de comportamiento
Base	35,020	-
A	12,280	1
B	13,760	3
C	15,800	4
D	16,270	5
E	13,050	2
F	25,670	6



### Evaluación de la resistencia a la oxidación del asfalto “Base” formulado con los aditivos rejuvenecedores empleando el proceso de oxidación en el horno PAV

Una vez que el asfalto es aditivado con el rejuvenecedor, oxidado en el horno RTFO y después oxidado en el horno PAV según método AASHTO R28-06 o ASTM D 6521-05, se evalúa el ángulo de fase a temperaturas de 22 y 34 °C en el DSR utilizando los platos de 8 mm separados 2000 micras y con una deformación del 1% y una frecuencia angular de 10

rad/s para conocer cual asfalto con el aditivo rejuvenecedor es el más resistente a la oxidación y este será aquel que presente el ángulo de fase más alto indicativo de un comportamiento menos rígido, ya que un sólido rígido presenta un ángulo de fase de 0 y un líquido viscoso presenta un ángulo de fase de 90°.

En la siguiente Tabla 5 podemos observar que el aditivo “A” fue el que mostró un mayor ángulo de fase y el aditivo “F” fue el que presentó el menor ángulo de fase tanto a 22 °C como a 34 °C.

**Tabla 5. Evaluación del ángulo de fase del asfalto a las temperaturas de 22 y 34 °C sin y con la utilización de los aditivos rejuvenecedores a la dosis de 3% respecto al asfalto “Base” oxidado después de la prueba de PAV**

Aditivo rejuvenecedor (3% respecto al asfalto base)	Ángulo de fase a 22 °C después de PAV (°)	Posición de desempeño de comportamiento	Ángulo de fase a 34 °C después de PAV (°)	Posición de desempeño de comportamiento
Base	36,02	-	44,37	-
A	44,30	1	54,26	1
B	42,98	3	51,89	3
C	42,29	4	51,52	4
D	41,01	5	49,84	5
E	44,22	2	54,12	2
F	37,12	6	43,17	6

### Evaluación de la resistencia a la oxidación del asfalto “Base” a bajas temperaturas formulado con los aditivos rejuvenecedores empleando el método AASHTO T-313

El método AASHTO T-313 o ASTM D 6648 consiste en la determinación de la rigidez de una pequeña viga de asfalto simplemente apoyada bajo carga de creep utilizando un reómetro de viga de flexión BBR (Bending Beam Rheometer), esta rigidez está en función del tiempo cuando esta viga es cargada con 100 gramos durante 240 segundos, de manera que graficamos el logaritmo de la rigidez de la viga vs el logaritmo del tiempo de carga y a los 60 segundos determinamos el valor de la pendiente “m” indicativa del cambio de la rigidez con el tiempo y este valor es limitado a un valor absoluto de 0,300, es decir, a medida que disminuimos la temperatura del asfalto este comienza a incrementar su rigidez hasta llegar a una temperatura que su rigidez no cambia

con el tiempo (pendiente con valor 0) comportándose como un sólido rígido que ocasionará problemas de fisuración en la carpeta asfáltica, entonces cada asfalto después de haber sido oxidado en las pruebas de RTFO y PAV presentará un cambio de rigidez de 0,300 a una específica temperatura (llamada temperatura crítica de falla Tc) y entre menor sea esta mayor será su resistencia a la fisuración por fatiga. En la siguiente Tabla 6 podemos observar el valor de la pendiente “m” a -22 y -28 °C y la temperatura crítica de falla “Tc” del asfalto EKBE sin y con la adición de diferentes aditivos rejuvenecedores y podemos apreciar que los aditivos A, B y C fueron los que proporcionaron una menor “Tc” (alrededor de los -27 °C) indicativo de ser aditivos que incrementan la resistencia a la oxidación y el aditivo rejuvenecedor “F” basado en glicoles fue el que proporcionó al asfalto la menor resistencia a la oxidación ya que su Tc fue alta.

**Tabla 6. Evaluación de la pendiente “m” a -22 y -28 °C, así como la “Tc” sin y con la utilización de los aditivos rejuvenecedores a la dosis de 3% respecto al asfalto “Base” parcialmente oxidado después de la prueba de PAV**

Aditivo rejuvenecedor (3% respecto al asfalto base)	Tc a la cual m=0,300 (°C)		Valor “m” a -22 °C		Valor “m” a -28 °C	
Base	-20,3	-	0,2880	-	0,331 a -16 °C	-
A	-27,2	4	0,3450	3	0,2935	4
B	-27,6	3	0,3475	1	0,2970	3
C	-27,8	2	0,3230	4	0,2990	2
D	-26,5	5	0,3295	5	0,2900	5
E	-29,3	1	0,3460	2	0,3080	1
F	-20,0	6	0,2850	6	0,330 a -16 °C	6

### Evaluación de la resistencia a la oxidación del asfalto “Base” formulado con los aditivos rejuvenecedores empleando el método del punto de fusión

El punto de fusión del asfalto es calculado a la temperatura donde el ángulo de fase es igual a 45° que es donde la componente elástica y viscosa del asfalto son iguales. Este punto de fusión fue determinado colocando la muestra de asfalto sin y con aditivos rejuvenecedores después de haber sido oxidada en los hornos RTFO y PAV en el DSR utilizando los platos de 8 mm separados 2000 micras y con una deformación del 1% y una frecuencia de carga de 10 rad/s para conocer cual aditivo rejuvenecedor es el más resistente a la oxidación y este será aquel que presente el punto de fusión más bajo indicativo de un comportamiento menos rígido. En la siguiente Tabla 7 po-

demostramos observar que el aditivo “A” fue el que mostró el menor punto de fusión y el aditivo “F” fue el que presentó el mayor.

### Evaluación comparativa del asfalto “Base” con los aditivos rejuvenecedores utilizando todas las pruebas que determinan el comportamiento reológico de estos

La siguiente Figura 6 muestra la comparación del asfalto “Base” con los aditivos rejuvenecedores utilizando todas las pruebas que determinan el desempeño de comportamiento de estos utilizados a la dosis del 3% respecto a este asfalto “Base”. La posición 1 indica el mejor aditivo y la posición 6 el peor aditivo, por lo que el aditivo que este más en el centro del polígono será el seleccionado.

**Tabla 7. Evaluación del punto de fusión del asfalto sin y con la utilización de los aditivos rejuvenecedores a la dosis de 3% respecto al asfalto “Base” parcialmente oxidado después de la prueba de RTFO y PAV**

Aditivo rejuvenecedor (3% respecto al asfalto base)	Punto de fusión del asfalto después de RTFO y PAV (°C)	Posición de desempeño de comportamiento
Base	34,89	-
A	22,79	1
B	24,68	3
C	25,62	4
D	27,36	5
E	22,90	2
F	34,58	6

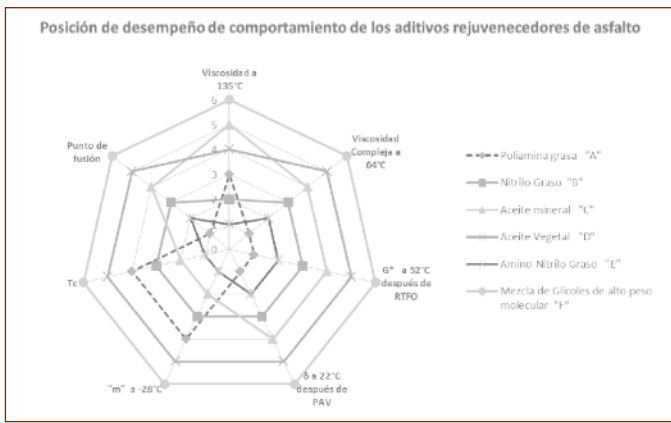


Figura 6. Evaluación comparativa del asfalto "Base" con aditivos rejuvenecedores y las pruebas que determinan el comportamiento de estos aditivos con este asfalto.

## Conclusiones

La evaluación del comportamiento de desempeño de un aditivo rejuvenecedor de asfalto debe de hacerse estudiando las propiedades reológicas del asfalto aditivado utilizando todas las pruebas propuestas en este estudio y con la gráfica de la Figura 6 seleccionar el que este más dentro de la figura geométrica; limitarnos solamente a seleccionar un aditivo rejuvenecedor únicamente con la reducción de viscosidad del asfalto oxidado sería un error.

En este estudio, el comportamiento de desempeño de los aditivos rejuvenecedores "A", "B", "C" y "D" resultó similar en algunas pruebas pero por medio de la gráfica de la Figura 6 (que involucra las pruebas de viscosidad a 135 °C, viscosidad compleja del asfalto a 64 °C, módulo de corte complejo  $G^*$  del asfalto a 52 °C después de RTFO, ángulo de fase del asfalto a las temperaturas de 22 y 34 °C después de PAV, punto de fusión después de PAV, pendiente y temperatura crítica después de PAV) que determina la calificación de comportamiento de desempeño de cada uno de los aditivos rejuvenecedores en cada una de las pruebas se concluyó que el aditivo "E" fue el que presentó el mejor desempeño y el aditivo "F" fue el que presentó el peor desempeño.

En las pruebas de viscosidad compleja del asfalto a 64 °C, módulo de corte complejo  $G^*$  del asfalto

a 52 °C, ángulo de fase del asfalto a las temperaturas de 22 y 34 °C y punto de fusión la posición de comportamiento de desempeño de cada uno de los aditivos rejuvenecedores fue la misma (mismo ranking) y además en la misma prueba la diferencia de resultados entre aditivos es notoria (especialmente en el punto de fusión y el  $G^*$  después de PAV), esto es debido a que los resultados fueron obtenidos utilizando el reómetro de corte dinámico el cual es muy preciso en sus mediciones, el único cuidado que se debe de tener es en el momento de hacer el corte en los platos para que el diámetro de la muestra permanezca constante.

En las pruebas de determinación de la temperatura crítica y la pendiente "m" a las temperaturas de -22 y -28 °C se observa (ver Tabla 5) que solamente se tiene la misma posición de comportamiento de desempeño de cada uno de los aditivos rejuvenecedores en la prueba de la pendiente a -28 °C y la temperatura crítica pero esta posición cambia con la pendiente a -22 °C, además la diferencia entre estos valores de desempeño es muy pequeña y susceptible a que cambie, esto es debido a que estos valores son obtenidos utilizando el reómetro de viga de flexión (BBR) el cual no es tan preciso cuando se trata de evaluar aditivos que presentan un comportamiento muy parecido, además de que la elaboración de las vigas requiere de varios pasos que involucran a personal calificado ya que se requiere que muchas variables se mantengan constantes en la elaboración de la viga de muestra a ser evaluada.

## ¿Quieres profundizar?

- [1] Asphalt Institute. "Antecedentes del Diseño y Análisis de Mezclas Asfálticas de Superpave".
- [2] Asphalt Institute. "Asphalt Binder Testing". Third Edition.
- [3] Leiva-Villacorta. "Effect of aging on rheological, chemical and thermodynamic properties of the asphalt components". TRB 2014.
- [4] Shih-Hsien Yang. "Comparison of Field Aging Characteristic of Warm Mix Asphalt". TRB 2014.

# Preservación del pavimento: ¿que, por qué y cómo?

Magdy Mikhail  
Texas Asphalt Magazine  
Otoño, 2015

## ¿Cuál es la preservación del pavimento?

La preservación del pavimento incluye todas las actividades para proporcionar y mantener los caminos en servicio incluyendo el mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, y la rehabilitación de menor importancia. Mantenimiento preventivo incluye mantenimiento planificado, el mantenimiento que retarda el deterioro futuro, y las acciones que mantengan o mejoren la condición funcional de un pavimento. Mantenimiento correctivo describe las acciones que no pueden ser planeadas, ya que se realizan en respuesta a eventos inesperados o debido a la falta de financiación. El mantenimiento correctivo incluye también mantenimiento reactivo y de emergencia y utiliza tratamientos para los ahuellamientos, bacheo y reemplazos de losa.

Rehabilitaciones menores se componen principalmente de mejoras no estructurales para hacer frente a la falla superficial, principalmente relacionadas con el envejecimiento y los efectos ambientales. Además, se restauran características funcionales y se protege la integridad estructural. La capacidad estructural no va a mejorar de manera significativa, pero se espera mejorar la calidad de conducción.

La filosofía de conservación del pavimento es aplicar el tratamiento adecuado para el pavimento adecuado en el momento adecuado. La Administración Federal de Carreteras (FHWA) define la preservación del pavimento como un programa que emplea un nivel de red, la estrategia a largo plazo que mejora el rendimiento del pavimento mediante el uso de un conjunto integrado y rentable de las prácticas que se aplican durante la vida del pavimento, mejoran la seguridad, y cumplen con las expectativas del automovilista. La Figura 1 muestra el concepto de conservación del pavimento.

## ¿Por qué la preservación del pavimento?

La preservación del pavimento protege la inversión de la red de transporte, mejora el nivel de servicio y aumenta la vida útil del pavimento.

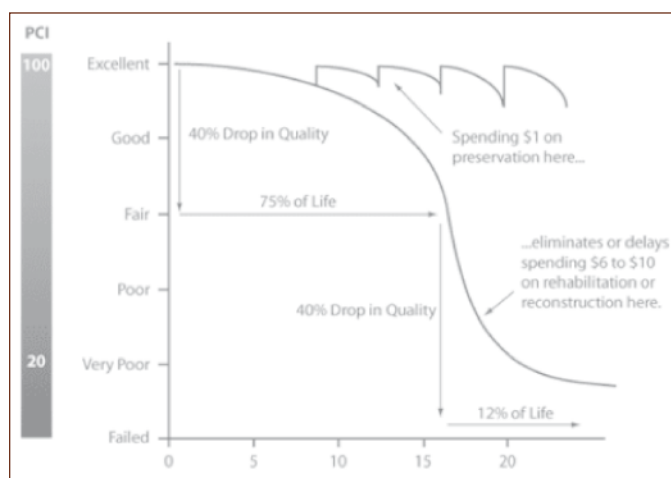


Figura 1. Concepto de la preservación de pavimentos.



Además, la preservación del pavimento reduce el ciclo de vida.

La mayor parte de las actividades de preservación de pavimento mejoran la calidad de conducción, por lo que la conducción se vuelve una experiencia más cómoda y agradable. Además, las operaciones de mantenimiento preventivo suelen minimizar la interrupción del tráfico en comparación con los trabajos principales de rehabilitación o reconstrucción completa.

### ¿Cómo hacer la preservación del pavimento?

Programas de mantenimiento preventivo requieren la asignación de fondos adecuados y un marco sugerido o directrices para la selección del tratamiento. Los típicos tratamientos de conservación de pavimento para pavimentos flexibles incluyen:

#### **Superposiciones delgadas de HMA**

Las superposiciones delgadas se utilizan para no estructurar los tipos de mantenimiento preventivo de las actividades y se colocan normalmente en capas delgadas de aproximadamente una pulgada de espesor o menos. Las superposiciones delgadas de HMA se utilizan para preservar al pavimento de fallas como desprendimientos, envejecimiento, sangrado, agrietamiento menor, desprendimiento menor, pérdida de textura, deslizamientos por la pérdida de resistencia, etc. La figura 2 muestra una superposición delgada de HMA utilizada para cubrir el sangrado en la capa de sellado.

#### **Riego de sello**

El Departamento de Transporte de Texas (TxDOT) mantiene los caminos rurales con este método más que cualquier otro Departamento de Transporte del país. El programa de riego de sello en Texas es el más grande de la nación. Aproximadamente 19 000 millas de carriles se sellan cada año.

En general, las capas de sellado proporcionan a la superficie en cualquier estación durabilidad contra la intrusión de agua; enriquece la superficie seca o desgranada existente; detiene el deterioro de una superficie que muestra signos de falla; proporciona una superficie resistente al deslizamiento; y propor-



Figura 2. Mezcla de capa delgada para cubrir el sangrado como tratamiento superficial.

ciona la textura de la superficie deseada. La Figura 3 muestra un proyecto de recubrimiento de sellado.

#### **Micro-superficies / morteros**

El micro-pavimento es una mezcla diseñada de asfalto modificado con polímeros emulsionados en el laboratorio, con agregados, finos minerales, agua y otros aditivos, proporcionando precisión de la mezcla que se extiende uniformemente sobre una superficie preparada previamente. El micro-pavimento y



Figura 3. Colocación del riego de sello.

los morteros pueden sellar la superficie y protegen las capas subyacentes; restauran la textura de la superficie; mejoran la fricción; rellenan grietas y huecos menores de la superficie; corrigen los desniveles moderados y el sangrado, y pueden llenar baches. La Figura 4 muestra el micro-pavimento que se coloca sobre un pavimento existente.



Figura 4. Colocación de micro-superficies.

### **Reciclaje en caliente en el lugar**

El reciclaje en caliente en el lugar es una técnica de rehabilitación utilizada para abordar las cuestiones de auxilio de los pavimentos asfálticos y su textura no causadas por insuficiencia estructural, como desprendimiento, grietas, ahuellamiento superficial y amorrillamiento. Tres diferentes tipos de reciclado en caliente en el lugar son las que más se usan: el reciclaje superficie, la repavimentación y el remezclado.

El reciclaje superficial es un proceso de rehabilitación que restaura grietas, fragilidad del pavimento y desniveles menores debidos por un pavimento agotado. La repavimentación es un método de reciclaje superficial combinado con una superposición simultánea de mezcla asfáltica en caliente nueva (HMA) para formar una unión térmica entre la capa nueva y la capa reciclada. La remezcla es un proceso que consiste en mezclar el material del lugar con agregados vírgenes, agentes de reciclaje y asfalto nuevo HMA. A continuación, la mezcla reciclada se coloca como una sola mezcla homogénea para restaurar la superficie del pavimento.

### **Sellos de grietas**

La reparación regular de grietas en el pavimento es uno de los principales métodos de mantenimiento preventivo, la falta de reparación de grietas en el momento oportuno puede llevar a un acelerado deterioro del pavimento. TxDOT emplea el sellado ampliamente como una técnica rentable en el mantenimiento preventivo de grietas. El sellado de grietas no agregará capacidad estructural al pavimento. Las fallas menores son candidatos ideales para el sellado de grietas y tienen suficiente capacidad estructural. Las grietas transversales y longitudinales son buenos candidatos para el sellado de grietas. La Figura 5 muestra un ejemplo de sellado de grietas.



Figura 5. Sellos de grietas.

### **Resumen**

La preservación del pavimento ayudará a los administradores en varios aspectos:

- Proteger la inversión de la red del transporte.
- Otorgar una conducción a la satisfacción del cliente.
- Mejorar la condición del pavimento.
- Reducir el costo del ciclo de vida.
- Mejorar la seguridad de las carreteras.







**UDLAP** | Consultores

---

# LABORATORIO MEZCLAS ASFÁLTICAS LMA

## LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS:

Laboratorio certificado y especializado en pavimentos, equipado con tecnología de punta, para responder a las necesidades de infraestructura del país.

Como laboratorio en agregados pétreos y mezclas asfálticas; contamos con el reconocimiento IMT-AMAAC, cumpliendo con el nivel II, III y IV del protocolo AMAAC.

## Nuestros servicios:

- Evaluación de calidad en agregados pétreos
- Evaluación de desempeño de mezclas asfálticas
- Diseño de pavimentos
- Diseño de mezclas Asfálticas en caliente:
  - a. Protocolo AMAAC (Nivel 4)



Informes: [udlap.consultores@udlap.mx](mailto:udlap.consultores@udlap.mx) · [www.udlap.mx/consultores/](http://www.udlap.mx/consultores/) · Tel.: (222) 229 27 11 · 229 22 56  
[f /udlapconsultores](#) · [@UDLAPConsult](#) · [LinkedIn/udlapconsultores/](#)

**UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS PUEBLA**

# La paradoja resiliente de la mezcla aún compactable

---

Asphaltnews, SABITA

## El entorno del proyecto

La superficie de asfalto severamente deformado en un pueblo de Mpumalanga en la Ruta Nacional N17 tuvo que ser sustituido a finales de 2014 con un revestimiento resistente a la deformación. La ruta que utiliza ESKON para sus operaciones de transporte local de carbón atraviesa la ciudad cruzando ocho calles en su pasada. Esto hizo que las acciones de frenado y el par dinámico de los neumáticos de los vehículos pesados continuos en las intersecciones hicieran colapsar la superficie.

La carga de tráfico previsto para fines de diseño fue de 35 millones de ejes equivalentes estándar. Debido a la gran cantidad de cargas por eje y la ubicación particular del proyecto, en cuanto a transporte y suministro, se decidió desarrollar una superficie de asfalto que abordara estos dos requisitos mediante el uso de la tecnología de mezcla de asfalto caliente.

Proporcionar una solución viable de mezcla compactable, esto en sí mismo era una paradoja. Sin embargo, como consecuencia de la extensión de la ventana de compactación disponible, una de las principales ventajas en la aplicación de la tecnología de mezcla en caliente está proporcionando a los contratistas un periodo de trabajabilidad extendida.

## El diseño de la mezcla de asfalto y las temperaturas

El diseño se produjo en el marco de la actual tecnología de mezcla asfáltica en caliente, los criterios de diseño de asfalto específicas del proyecto y los métodos de prueba pertinentes que estaban disponibles en la industria sudafricana en su momento. Se decidió utilizar un ligante modificado A-P1. Una mezcla de asfalto de agregado grueso graduada de forma continua, con un porcentaje acumulado para la masa que pasa el tamiz 13,2 mm de entre 96% y 100%, especificado. Una clasificación de agregado grueso particular fue la consecuencia considerada con el objetivo de lograr el contacto de piedra con piedra, con partículas de arena llenando los espacios vacíos entre las partículas de agregado grueso. Aparte del aglutinante A-P1, la granulometría y la capa adecuada de los agregados darían como resultado una mezcla muy rígida y resistente a la deformación.



Para fines de producción se recomendó producir mezclas con 4,6% de ligante modificado A-P1 para este proyecto. La mezcla asfáltica en caliente se mezcló a temperaturas ligeramente más bajas que las temperaturas normales de HMA de mezcla (pero no tan bajas como el estándar de 30 °C) a fin de ampliar la ventana de la temperatura de trabajabilidad de la mezcla. El asfalto estaba cubierto con mantas térmicas durante el transporte. Las temperaturas de las mezclas fueron recibidas entre 145 °C y 155 °C. Las temperaturas de asfalto a la llegada indicaron una disminución promedio de aproximadamente 7 °C de las temperaturas cuando se cargó el asfalto. Las temperaturas de la mezcla en la regla de la pavimentadora eran generalmente entre 120 °C y 145 °C.

## Las técnicas de compactación y densidades relativas

Los siguientes rodillos fueron proporcionados por el contratista para la construcción de la superficie asfáltica:

- a) Rodillo tambor liso de 3 puntos;
- b) Rodillo tambor liso tándem vibratorio de tambor liso y el rodillo de oscilación;
- c) Rodillos neumáticos de 18 a 24 t.

Normalmente, una mezcla espumada, del grupo de las tecnologías a base de agua, tiene una alta afinidad con el agua libre, así como la mezcla asfáltica se torna sensible debajo de la rueda durante la rodadura cuando la cantidad de agua utilizada para prevenir salpicadura se hace excesiva. La siguiente metodología de densificación era aplicable, teniendo en cuenta que el enfoque de la temperatura de la mezcla caliente se requiere para optimizar la densificación con el equipo estándar para la mezcla gruesa:

- a) Desglose de rodadura (100 °C-130 °C rango): La mayor parte de la compactación se logró durante esta etapa, por ejemplo, un aumento en la densidad de alrededor de 85% de la densidad máxima teórica relativa (MTRD) detrás de la regla, aproximadamente el 92% de MTRD. Esto se logró por medio de 8 pasadas con el rodillo tambor liso de 3 puntos.

- b) La rodadura intermedia (120 °C-90 °C rango): Esta etapa seguida directamente después de 2 a 3 pasadas con el rodillo tambor liso de 3 puntos que se había completado, mientras que la capa era todavía muy plástica y a una temperatura que permitía compactación adicional. La compactación continuó hasta 6 pasadas para su terminación y se logró la compactación requerida. En esta etapa la densidad aumentó entre un 92% y 96% de MTRD y la superficie queda a punto. Esto se logró por medio del rodillo de tambor liso tándem, sin vibración y oscilación, ya que las densidades disminuyen cuando se utilizan vibración y oscilación durante la laminación.
- c) La rodadura de terminación (65 °C-50 °C rango): Durante esta última etapa las irregularidades en la superficie fueron suavizadas más por los rodillos neumáticos eliminando las marcas de los rodillos, con un aumento limitado de la densidad relativa de la capa, y el amasado final se logró en la superficie. Se encontró que las densidades disminuyeron durante el compactado cuando las temperaturas eran hacia el extremo superior de la gama.

Aunque las expectativas iniciales fueron que sería difícil compactar la mezcla de asfalto grueso, las densidades relativas oscilaron entre el 91,2% y el 95,6% en las primeras pasadas (media 93,7%), lo que indica que el método de compactación que se siguió fue un éxito. Las densidades relativas durante el período de construcción oscilaron entre 89,8% y 97,4% (con promedio de 94,3%), de los 89 resultados de la prueba principal que se recibieron. Se ha especificado una densidad relativa mínima de 93% y se sugirió una densidad relativa máxima del 96%.

## Los resultados de la prueba

Los resultados del ensayo Marshall obtenidos a partir de las muestras correspondían estrechamente con los resultados del objetivo de diseño de la A-P1 (WMA) de mezcla gruesa. El aglutinante modificado A-P1 también cumplió con las especificaciones del proyecto. Los resultados de la prueba especializada que se completaron durante enero 2015 fueron:

- a) El módulo de fluencia dinámica (MPa) promedio: 43,8
- b) La permeabilidad al aire @ 7% de vacíos ( $\times 10^{-8}$  xcm<sup>2</sup>): 0,630
- c) Lottman modificado (TSR): 0,925 (ITS = 1 200/1 297 kPa)
- d) Vacíos después de aplicar 300 giros (%): 2,1
- e) MMLS3 (1 800 repeticiones, 750 kPa, @ 50 °C): 1,10 (vacíos promedio 5,1%)

Los resultados de las pruebas correspondían con los resultados de las pruebas iniciales, lo que indica que era una mezcla de asfalto altamente resistente a la rodera y duradera, en las pruebas en sitio del MMLS3 que se realizó (por cortesía de SANRAL Región Norte) a 50 °C, así como a 60 °C, para establecer la influencia de las altas temperaturas de la carretera sobre la resistencia de falla del asfalto.

El ensayo se realizó con una sección de 50 mm de espesor, densificada adecuadamente al 95%, y los resultados de la prueba fueron los siguientes (rueda cargada con 2.9kN, presión de los neumáticos 750 kPa, 1800 repeticiones de carga por hora, probado en seco):

- a) A 60 °C  $\pm$  2 °C, ahuellamiento promedio @ 100,000 ejes: 1,49 (0,62-1,83)
- b) A 50 °C  $\pm$  2 °C, ahuellamiento promedio @ 100,000 ejes: 1,29 (1,13-1,46)

Los resultados de la prueba MMLS3 estuvieron por debajo del valor máximo especificado de 1,8 mm, con los resultados de las pruebas en el sitio la falla se presentó ligeramente mayor que el de las muestras fabricadas en laboratorio. Esta tendencia corresponde con los resultados de las pruebas que se obtuvieron previamente en otros proyectos de la industria.

## Las no conformidades y la investigación pública

A finales de 2014 se supo que la construcción nueva de la superficie de 50 mm con asfalto A-P1 estaba mostrando signos de empujones y densificación, en el carril lento con destino hacia el Este y en algunas de las intersecciones, lo cual no correspondía con los resultados de las pruebas de rendimiento que se recibieron durante la construcción. Al parecer, esto se estaba produciendo por el periodo de calor de diciembre 2014, cuando se produjo también un aumento notable en el número de vehículos pesados y camiones de carbón, en particular, a la entrada y durante la conducción por la ciudad.

Se realizó una investigación pública sobre las causas en marzo de 2015. A partir de las observaciones y resultados de las pruebas que se obtuvieron, se podía concluir que las mezclas asfálticas que se suministraron cumplieron con los requisitos de diseño, y que la superficie densificada en general, en las huellas de las ruedas (carril lento) tenían del orden de 3 mm. En teoría, no era posible para la mezcla de asfalto gruesa, roderas en exceso de 2 mm debido al empaque del agregado que se logra (aparte del agitado). Los 3 mm de falla en las huellas de las ruedas después de la carga inicial, así como la falla menor que abarca más de 2,9 m de ancho del carril que indica la falla de pavimento.

La falla más severa (8 mm a 13 mm del recorrido de las ruedas) se produjo en el carril lento en unas pocas intersecciones, fue como resultado del colapso de las capas de soporte.

### **Las causas de las fallas profundas y el rendimiento de la superficie a largo plazo**

- a) Imprevistos y extremadamente alta carga (inicial) durante el verano, en conjunto con acciones dinámicas del frenado y el par de los neumáticos de los vehículos pesados de más en la intersección, indujo inaceptablemente los surcos en el pavimento y el asfalto recién colocado densificado y con roderas. Un tramo de carretera con SMA previamente afectada también se deformó durante el mismo período debido al aumento de la carga de tránsito.
- b) Las no conformidades respecto a las capas de soporte (en zonas aisladas) que se produjeron durante la construcción y contratos anteriores.

Las acciones correctivas se realizaron durante 2015 en las áreas falladas (también en el tramo de carretera que afectó la SMA) utilizando la misma mezcla y la tecnología de mezcla de asfalto en caliente.

Se espera que la pavimentación de 50 mm cumpla con su vida de diseño. A continuación se enumeran los logros durante el proceso con esta mezcla de asfalto:

- a) Se proporcionaron mezclas transportables y viables para la superficie de la construcción en condiciones difíciles, mediante el uso de un enfoque WMA.
- b) Se proporcionó una mezcla compactable, mediante el uso de un enfoque de la temperatura de mezcla en caliente.
- c) Se proporcionó una superficie resistente al fallo, al asegurar una capa empaçada adecuadamente para el agregado.
- d) Se proporcionó un revestimiento resistente a la fatiga, al asegurar un espesor suficiente de película.

El autor de este artículo, el Sr. J P Louw, citó estos resultados señalando que “se puede concluir diciendo que se cumplieron todos los objetivos y expectativas, a través de este asfalto espumado, que consiste en una mezcla calificada burdamente como ligante modificado A-P1”.

**Síguenos en redes sociales**  
con las actividades que tenemos para ti.

 **/AMAAC.mx**

A la vanguardia en pavimentos que generan **VALOR**



**@AMAAC\_mx**



**AMAAC mx**

# Equilibrando trabajo y familia

María Luisa Pimentel Zamudio  
Revista *Amedirh*

*Cada vez es más frecuente encontrar ejecutivos profesionalmente exitosos, pero con fracasos en su vida familiar y personal. También vemos a muchos mexicanos adictos al trabajo, que padecen estrés, desgaste físico o psicológico, depresión o irritabilidad.*

En una encuesta realizada a 3000 personas por Trabajando.com, se encontró que el 30% dedica de 50 a 55 horas por semana al trabajo, 29% labora de 45 a 50 horas, 26% reporta más de 55 horas y sólo el 15% dedica menos de 45 horas al trabajo. En la actualidad, el tiempo que se dedica a la familia es menor al deseado por los trabajadores encuestados: 42% dijo que sacrifica tiempo de estar con la familia o amigos, el 32% refiere no ver a los hijos ni compartir tiempo con ellos y el 26% señala problemas con la familia causados por la adicción al trabajo. Ante esta realidad, hay que preguntarse cómo lograr un equilibrio entre el trabajo y la familia, sin llegar demasiado tarde a descubrir lo que es importante en nuestra vida.

La causa principal del conflicto trabajo-familia, es el modo de afrontar esa realidad y de no poner prioridades.

Hay que empezar definiendo una misión clara por la que vivir, para tener un motor interno que nos impulse y nos ayude a ser felices. La misión ilusiona porque da un sentido profundo a la vida y hay conciencia de que vamos a un lugar concreto. Cuando una persona conoce su misión, puede tomar las riendas de su

vida con fuerza y se compromete con los valores que le ayudarán a lograrla.

Peter Drucker, gurú de la ciencia del management, dedicó toda su vida a enseñar a los directivos a dirigir personas en las empresas. En los últimos años de su vida afirmaba: "hoy enseño, antes que nada, cómo gestionarse a sí mismo".

Eso incluye el autoconocimiento, para ver cómo funcionamos como personas y así alinear nuestras emociones y sentimientos a lo que pensamos. De ahí surge el autocontrol y el autoliderazgo, para lograr los retos y compromisos planteados. Después hay que analizar lo que nos mueve en la vida. Podemos agrupar los principales motivos que nos impulsan a la acción en tres categorías:

- **Intrínsecos (externos):** son los que nos vienen de fuera, del entorno: dinero, fama, reconocimiento, etc.
- **Intrínsecos (internos):** el aprendizaje, el reto o el placer que se obtiene de la misma acción.
- **Trascendentes:** su origen también está en el interior de la persona, pero su destinatario está fuera; nuestras acciones repercuten positivamente en ellos: un colega de trabajo, los



hijos, el marido. La persona que se mueve por motivos trascendentes tiene una forma mucho más completa de entender la vida.

Estos tres motivos pueden darse simultáneamente, por ejemplo, puedes levantarte a trabajar: para ganar dinero (intrínseco), porque te gusta tu profesión y la ves como un reto (intrínseco) y porque quieres hacer algo útil por otros (trascendente). Sin embargo, en cada persona el peso de estos motivos es diferente, depende de sus prioridades en la vida y de su misión personal. Hay que preguntarnos cuáles son los motivos que impulsan nuestras decisiones para conocernos más y poder definir nuestras prioridades en lo personal, familiar y laboral.

Actualmente, parece como si el trabajo y la familia fueran dos aspectos opuestos entre sí, no obstante, podemos decir que son complementarios, porque

uno enriquece al otro y unidos correctamente ayudan a integrar la propia vida. El gran reto es poder desconectarse al salir del trabajo y en el camino a casa empezar a pensar en nuestro rol como padres, esposos, hijo, etcétera. También hay que estar conscientes de que hay roles insustituibles, sólo yo soy la madre de mis hijos, la esposa de mi marido, la hija de mis padres, la hermana de mis hermanos. En cambio, amiga de mis amigas y profesionales en mi empresa puede haber muchas más. De esta forma es como puedo poner prioridades acertadamente, al estar consciente de dónde soy insustituible y dónde no.

Otro factor esencial es el horario, hay que ser valiente para salir de la oficina a tiempo, pero habiendo aprovechado "horas de 60 minutos" para dejar resueltos nuestros deberes y responsabilidades sin sentirnos culpables.

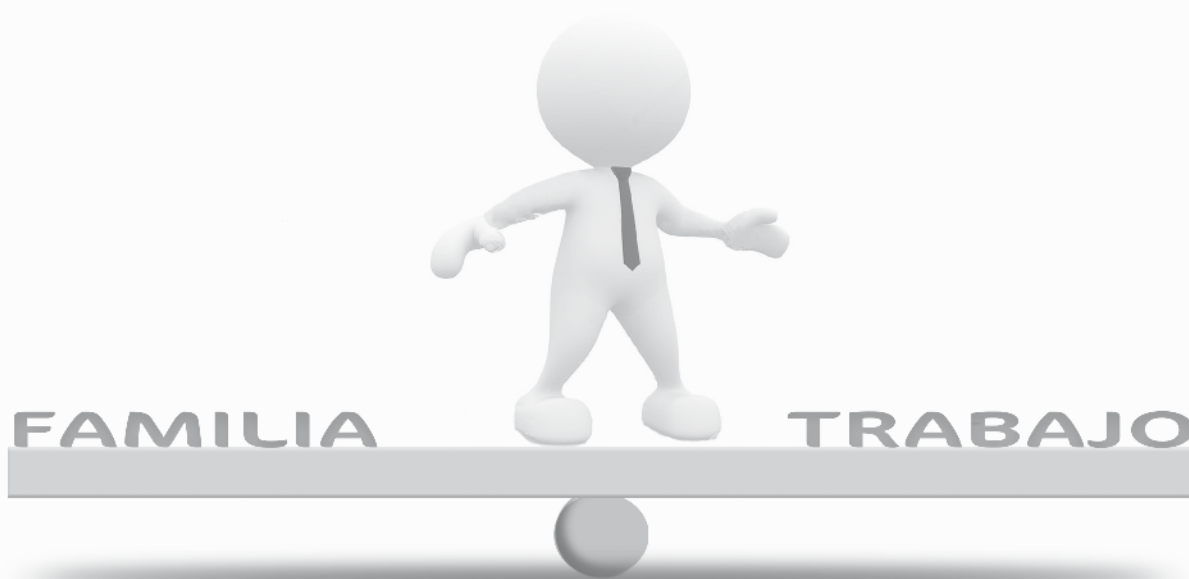
La clave para lograr el equilibrio familia-trabajo está en no perder nunca de vista la misión personal y las prioridades. Cuando estamos en los problemas del día a día hay que preguntarse: ¿qué pesa más en mi balanza?, ¿qué absorbe más mi tiempo, cabeza y corazón?

Con frecuencia le damos mayor importancia al trabajo porque nuestro puesto depende de eso, el problema es que acabamos saturados y cuando llegamos a casa ya no nos quedan fuerzas para hablar y menos para escuchar.

Con el pretexto de "trabajo por mi familia" acabamos destruyéndola, y al final resulta que no lo hacemos por ella sino por nosotros, por nuestro éxito profesional y nuestro egoísmo. Pero si vamos tomando decisiones con base en nuestra misión y nuestras prioridades, lograremos un equilibrio en nuestra vida y seremos más felices.



*El 62% de los mexicanos son adictos al trabajo. Laboran más de ocho horas al día, no comen adecuadamente y viven con niveles de estrés excesivos, de acuerdo con los resultados de una encuesta elaborada por el portal de empleo Trabajando.com*



# *¡Ya es una realidad!*

## CIT<sup>AMAAAC</sup>

Centro de Innovación Tecnológica



### Principales objetivos

1. Tener programas innovadores de formación a nivel posgrado en materia de pavimentos flexibles.
2. Incrementar el número de certificaciones a laboratoristas y profesionales.
3. Fomentar el desarrollo de proyectos para la validación de productos y tecnologías en los diferentes usos del asfalto.
4. Fomentar que el asfalto continúe siendo el producto más utilizado en la construcción y conservación de carreteras en México.



### Servicios

1. Certificación de procesos.
2. Asesoría técnica.
3. Validación de productos.
4. Certificación de personal.
5. Investigaciones personalizadas.
6. Validación de equipos.
7. Posgrados.

**Forma parte  
de este gran proyecto**



@CIT\_AMAAC



/CIT.AMAAC

[www.cit-amaac.org.mx](http://www.cit-amaac.org.mx)





# TRA SENDA INGENIERÍA, S A DE CV

proyecto + construcción + supervisión



## ...en el camino

[www.trasenda.com.mx](http://www.trasenda.com.mx)

[ingenieria@trasenda.com.mx](mailto:ingenieria@trasenda.com.mx)

Avenida Guadalupe 5197, Jardines de Guadalupe, C.P. 45030

Zapopan, Jalisco, México Tel. (33) 3620-8226



# Excelencia en Equipos para Pavimentos

CONTROLS S.R.L.  
está certificada en:  
ISO 9001:2008

Conforme a:  
Normas AASHTO  
Protocolo AMAAC

**4 Puntos Autónomo**



**Prensa Dinámica**

**Rueda de Hamburgo**

**Compactador  
Giratorio**



# GMC

GRUPO MULTISERVICIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN

# BÚSCANOS Y PROBLEMA RESUELTO

ASFALTOS  
EMULSIONES  
MODIFICADOS  
COMBUSTIBLES  
LABORATORIO  
RENTA DE EQUIPOS  
TRANSPORTE  
PINTURAS  
RECUBRIMIENTOS

Trabajamos con la convicción de mejorar a nuestro México,  
**creemos en hacer las cosas diferentes.**

La forma en que mejoramos nuestro país es aportando soluciones  
**con el mejor costo-beneficio**  
mediante productos y servicios de alta calidad.

**CAT 018007171800**

[www.gmarca.com](http://www.gmarca.com)

Corporativo: Faja de Oro 1002, Colonia Obrera C.P. 36750, Salamanca, Guanajuato.

Teléfonos: 01 (464) 6474858 y 01 (464) 641 5462

**SOLUCIONES  
ASFÁLTICA**  
GLOBAL MARKETING CORPORATION

**HELLO**  
GLOBAL MARKETING CORPORATION

**PRO  
TECH**

**petrien**

**OMNI  
TRACTO**

**SMEDT**

**VIAL**  
Un trayecto seguro

**DOCTER  
BACH**

**VENTANA  
MEXICANA  
ASFALTICA**

DISTRIBUIDOR AUTORIZADO POR  
**PEMEX**

Authorized Distributor  
**ErgonArmor**  
TOTAL CONCRETE SOLUTIONS

**SEAL FLEX**  
DISTRIBUIDOR AUTORIZADO

**IMPULSORA  
DE ASFALTOS**