

# ASFÁLTICA

REVISTA TÉCNICA



- ☞ **Análisis comparativo de mezclas asfálticas modificadas y adicionadas con fibra sintética...**
- ☞ **Particularidades del ensayo de película delgada en horno rotatorio usando asfaltos convencionales y modificado con SBS**



*La gran noticia se confirma,  
**SemMaterials**  
se transforma en:*

 **Ergon<sup>®</sup> Asfaltos  
México**

*Carretera Federal Puebla - Atlixco Km 8.5, San Andrés Cholula, Pue.  
Tel. 222 284 19 30 / [www.ergon.com](http://www.ergon.com)*

# VANGUARDIA TECNOLÓGICA. Es tiempo de algo mejor.



PRENSA TSR (NIVEL I), MARSHALL,  
SCB, CBR, TRIAXIAL



PRENSA SERVO-HIDRÁULICA 30 KN,  
MÓDULO DINÁMICO (NIVEL III)



4PB AUTÓNOMO SERVO-NEUMÁTICO,  
FATIGA (NIVEL IV)

NUESTRAS MARCAS

**MATEST**  
**PAVETEST**



Certificadas en ISO 9001  
Estricta conformidad  
Protocolo AMAAC,  
Normas AASHTO y ASTM

MATECH OF AMERICAS CORP.,  
S. DE R.L. DE C.V.

Lago Chapala Oriente #9,  
Col. Manantiales, San Pedro Cholula,  
C.P. 72760, Puebla, MEXICO

Tels. (+52) 22 25 03 46 53 / 54

Mail. info@matech.mx

www.matech.mx | www.matest.com

www.pavetest.com | www.instrotek.com



RUEDA DE HAMBURGO,  
(NIVEL II)



Hamburg Wheel  
Tracker in USA



COMPACTADOR GIRATORIO,  
(NIVEL I)

# Sumario

---

## Presidente

Raymundo Benítez López

## Vicepresidente de construcción

Luis Guillermo Limón Garduño

## Vicepresidente técnico

Francisco Javier Moreno Fierros

## Vicepresidente de distribución

Juan Adrián Ramírez Aldaco

## Secretario

Javier Gutiérrez Cisneros

## Tesorero

J. Jesús Martín del Campo Limón

## Vocales

Diana Berenice López Valdés

Gabriel Hernández Zamora

Horacio Delgado Alamilla

Jorge Alarcón Ibarra

Luis Eduardo Payns Borrego

Martín Serrano García

Rafael Martínez Castillo

## Comisión de honor

Roberto Garza Cabello

Ignacio Cremades Ibáñez

José Jorge López Urtusuástegui

## Comisión de vigilancia

Fernando Martín del Campo Aviña

Israel Sandoval Navarro

Hugo Bandala Vázquez

## Director General

Jorge E. Cárdenas García

dirgral@amaac.org.mx

www.amaac.org.mx

## Diseño y formación

Lizbeth de Lucio



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A.C.

- 5** Análisis comparativo de mezclas asfálticas modificadas y adicionadas con fibra sintética para observar su comportamiento de energía de fractura por tracción indirecta
- 13** Análisis del efecto de daño por humedad en mezclas asfálticas mediante el módulo dinámico
- 22** Amor, paz y... asfalto
- 23** Particularidades del ensayo de película delgada en horno rotatorio usando asfaltos convencionales y modificado con SBS
- 32** Caracterización integral de fatiga en mezclas asfálticas, un enfoque mecanicista
- 43** Material plástico y vegetal para una vida más larga
- 47** Sacar partido de la información

# Editorial

---

Nuevamente en el país estamos ante el cierre de un ciclo y esperando que el nuevo venga con más oportunidades de trabajo para todos nuestros asociados. Transcurrido medio año de este 2018 se siente un ambiente de incertidumbre en nuestro medio, lo que quizá mantiene en espera algunas inversiones que deberían reactivar la economía nacional, percibiéndose esto más en algunas regiones del país.

A medida que disminuya la incertidumbre política relacionada con las renegociaciones del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), las cuales no han tenido hasta ahora una conclusión que permita certeza y seguridad en la economía interna, y con el ciclo político electoral en diferentes niveles de gobierno a nivel nacional, se espera que el crecimiento de la inversión se acelere a finales de 2018 en adelante.

Esto debería apoyar un repunte en el crecimiento económico durante el período de pronóstico hacia su tasa de potencial a largo plazo y dentro de esta expectativa el FMI espera que 2019 sea un mejor año, esperando un crecimiento del 3% para el país. La implementación de la reforma energética ha tenido éxito en atraer participación privada al sector y se espera que se revierta la tendencia a la baja en inversión y producción en el sector petrolero, en la exploración y explotación.

Para este 2018 se licitarán siete áreas que en conjunto cubren una superficie total de aproximadamente 4,580.8 km<sup>2</sup> con un volumen de reservas aproximadamente de 405.1 mmbpce, impulsando el crecimiento potencial de la producción.

Aún con todo esto, el sentir en su mayoría es que no habrá efectos negativos en el país, cualquiera que sea el resultado de los pendientes por resolverse (TLCAN y elecciones). La volatilidad cambiaría también se ha hecho sentir en este medio año.

Sigo invitando a que mantengamos la unidad y la participación como gremio apoyándonos mutuamente para lograr pasar este periodo de incertidumbre.

**Raymundo Benítez López**  
*Presidente*  
*Décimo Consejo Directivo*



Avenida

*Jean Paul Cezanne (1839-1906)*

“Una obra de arte que no empieza en una emoción no es arte”.

La mayor parte de la obra conocida de este pintor francés pertenece al impresionismo y post-impresionismo, sin embargo, pocos saben que su trabajo también cimentó las bases para la transición del siglo XIX al XX al ser uno de los vanguardistas del cubismo.

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

# Una nueva era en plantas de asfalto móviles

## CIBER iNOVA SERIES



iNOVA 2000 (200 t/h)



iNOVA 1502 (150 t/h)



iNOVA 1500 (150 t/h)



iNOVA 1000 (100 t/h)

## Incomparable en movilidad y productividad.



Alta capacidad de producción en menos movilidades



Mejor eficiencia en el consumo de combustible



Alto rendimiento en mezclas especiales



Exclusivo y fácil sistema de control · Easy Control®



Robustez, durabilidad y bajo costo de mantenimiento

[www.ciber.com.br](http://www.ciber.com.br)  [ciberoficial](#)

### LA INNOVACIÓN ES LA MEJOR DEFINICIÓN PARA LAS PLANTAS DE ASFALTO CIBER SERIE iNOVA.

Las plantas de asfalto se adaptaban a las características de los materiales y proyectos, pero con productividad variable y proporcional a los mismos. Con las nuevas tecnologías aplicadas en la línea de plantas CIBER Serie iNOVA, la productividad máxima es una constante, independiente de los materiales y proyectos; la calidad se alcanza de acuerdo con los parámetros establecidos en cada operación. Esta ruptura de paradigma abre un gama de oportunidades para que se produzca más, con mayor calidad, menor impacto ambiental y menor costo.

# Análisis comparativo de mezclas asfálticas modificadas y adicionadas con fibra sintética para observar su comportamiento de energía de fractura por tracción indirecta

---

Dr. Pedro Limón Covarrubias  
Universidad de Guadalajara  
ingenieria\_limon@hotmail.com  
Ing. Beder Noé Ramirez Rendón  
Universidad Veracruzana  
Dr. Saúl Castillo Aguilar  
Universidad Veracruzana  
Dr. David Ávalos Cueva  
Universidad de Guadalajara

## Introducción

Las carreteras son un factor muy importante en la economía y desarrollo de un país, ya que esta infraestructura funge como una vía de comunicación directa entre dos puntos que permite satisfacer las necesidades y exigencias de las ciudades modernas.

Como consecuencia del crecimiento en la popularidad del automóvil, la demanda de más y mejores carreteras llevaron al surgimiento de innovaciones tanto en la producción de asfalto, como también en la mecanización del proceso de aplicación, las mezclas asfálticas han tenido una demanda creciente en los últimos años y se pretende de ellas un mejor desempeño cada vez.

El empleo de asfaltos modificados con polímeros tiene un costo adicional sobre la mezcla asfáltica, pero a su vez reduce los costos de mantenimiento debido a que se modifican las propiedades mecánicas, químicas y reológicas de las mezclas asfálticas. El uso de esta tecnología es también frecuente cuando es necesario que la capa asfáltica posea una vida útil más larga de lo normal, o aplicaciones especializadas en donde, el uso de asfaltos modificados permitan espesores más delgados de capas asfálticas de lo que normalmente se requiere.

El uso de fibras como adición de mezclas asfálticas es una alternativa que promueve un progreso tecnológico, planteando otro uso con un comportamiento positivo para disminuir las deformaciones y daños de los pavimentos con el consecuente beneficio al obtener periodos de diseño muchos mayores de los pavimentos convencionales.

El objetivo de este trabajo es proponer y comparar nuevas mezclas asfálticas que mediante el empleo de fibras, sean tenaces y flexibles, capaces de desarrollar una alta energía de fractura para utilizarse como capa de rodamiento y que presenten un buen comportamiento frente a los deterioros como las deformaciones plásticas permanentes reflejadas por la aparición de roderas y agrietamientos por fatiga.

## Diseño de la mezcla asfáltica

Las mezclas asfálticas fueron diseñadas mediante el Protocolo AMAAC PA-MA-01/2013 para una mezcla asfáltica de granulometría densa de alto desempeño, con

un nivel de tránsito medio de 1,000,000 a 10,000,000 de ejes equivalentes y con un tamaño nominal de agregado de 19 mm (3/4”).

Los agregados pétreos que se utilizaron en esta investigación son materiales triturados de origen basáltico, los cuales fueron seleccionados y proporcionados por la empresa LASFALTO, provenientes del banco de “Asfaltos Guadalajara”, en el municipio de Tonalá.

La caracterización del material pétreo utilizado se llevó a cabo conforme las normas especificadas en el Protocolo AMAAC PA-MA-01/2008 (Tablas 1 y 2).

**Tabla 1. Resultados de caracterización de agregado grueso**

Característica	Norma	Valor obtenido	Especificación
Desgaste Los Ángeles, %	ASTM C131	10%	30% máx.
Desgaste Micro-Deval, %	AASHTO TP 58-99	7%	18% máx.
Interperismo acelerado, %	AASHTO T 104	1,12%	15% máx.
Caras fracturadas, % (2 caras o más)	ASTM D 5821	98%	90% mín.
Partículas alargadas, %	ASTM D 4791	1,6%	5 a 1, 10% máx.
Partículas lajeadas, %	ASTM D 4791	0,34%	5 a 1, 10% máx.
Adherencia con el asfalto, % de cubrimiento	Recomendación AMAAC RA- 08/2010	96%	90% mín.

**Tabla 2. Resultados de caracterización de agregado fino**

Característica	Norma	Valor obtenido	Especificación
Equivalente de arena, %	ASTM D 2419	70%	50% mín.
Angularidad, %	AASHTO T 304	40,72%	40% mín.
Azul de metileno, mg/ g	Recomendación AMAAC RA-05/2008	11 ml/gr	15 ml/gr máx.

Para esta investigación se utilizaron dos tipos de asfalto. El primero es un asfalto virgen AC-20 con grado de desempeño PG 64-22, proveniente de la refinería de Salamanca, Guanajuato, el cual se utilizó para elaborar la mezcla en caliente y el segundo es un asfalto modificado con polímero.

Existen tres etapas de pruebas a los asfaltos:

**1er Etapa.** Representa las pruebas realizadas en el asfalto original: Transportación, almacenamiento y manejo (Tabla 3).

**2da Etapa.** Representa el asfalto durante la producción, mezcla y construcción; es simulada por las especificaciones mediante el envejecimiento del asfalto en el Horno Rotatorio de Película Delgada (RTFO) (Tabla 4).

**3ra Etapa.** Ocurre cuando se envejece el asfalto desde que se coloca en la mezcla asfáltica hasta el fin de su vida de diseño para la cual fue planeado. Esta etapa se simula en la vasija de envejecimiento a presión (PAV) (Tabla 5).



**Tabla 3. Resultados del análisis del asfalto original**

Tipo de prueba	Norma	Asfalto virgen	Asfalto modificado
Penetración 25 °C 100gr * 5 seg (mm)	M-MMP-4-05-006/00	69	43
Punto de reblandecimiento 5 °C/min (°C)	M-MMP-4-05-009/00	51	60
Punto de inflamación Cleveland (°C)	M-MMP-4-05-007/00	>300	298
Viscosidad Brookfiel a 135 °C SC4-27 12 rpm (Pa-s)	M-MMP-4-05-005/02	403,5	1437
Ductilidad a 5 °C, 5 cm/min, (cm)	M-MMP-4-05-011/00	6	-
Temperatura de falla (G*/sen $\delta$ = 1 kPa)	M-MMP-4-05-025/02	66,25	78,36
Módulo reológico de corte dinámico (G*/sen $\delta$ ) (kPa)	M-MMP-4-05-025/02	1,335	1,094
Angulo de fase ( $\delta$ ) a PG (°)	M-MMP-4-05-025/02	83,51	65,36

**Tabla 4. Resultados del análisis del asfalto del residuo de película delgada (RTFO)**

Tipo de prueba	Norma	Asfalto virgen	Asfalto modificado
Pérdida de masa por calentamiento (%)	M-MMP-4-05-010/02	0,45	0,30
Penetración 25 °C 100gr * 5 seg (mm)	M-MMP-4-05-006/00	37	22
Ductilidad a 25 °C 5 cm/min (cm)	M-MMP-4-05-011/00	38	-
Viscosidad Brookfiel a 135 °C SC4-27 12 rpm (Pa-s)	M-MMP-4-05-005/00	624,0	3520
Temperatura de falla (G*/sen $\delta$ = 1 kPa)	M-MMP-4-05-025/02	67,97	79,95
Módulo reológico de corte dinámico (G*/sen $\delta$ ) (kPa)	M-MMP-4-05-025/02	3,670	2,901
Ángulo de fase ( $\delta$ ) a PG (°)	M-MMP-4-05-025/02	77,35	57,86

**Tabla 5. Resultado del análisis del asfalto envejecido a presión (PAV)**

Prueba	Norma	Asfalto virgen	Asfalto modificado
Módulo reológico de corte dinámico (G*/sen $\delta$ ) (kPa)	ASTM D 7175	2558	1139
Rigidez en CREEP a -12 °C, 60s S(t), (MPa)	ASTM D 6648	112,69	102,86
Reometro en viga de flexion a -12 °C, 60 seg	ASTM D 6648	0,293	0,3

**Tabla 6.- Rango de temperaturas de mezclado y compactado**

Asfalto	Compactado		Mezclado	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Asfalto virgen PG 64-22	138,50	142,00	149,50	154,00
Asfalto modificado PG 76-22	158,00	161,00	169,00	173,00

En la Tabla 7 se muestra el contenido óptimo de asfalto para el diseño de las mezclas en estudio.

**Tabla 7. Propiedades de la mezcla con el óptimo de asfalto**

Propiedades de la mezcla	Resultado	Especificación
Contenido asfáltico	5,5	-
Gmm	2,4833	-
% Vacíos de aire	4%	4 %
% VAM	14,39%	13% mínimo
% VFA	72%	65% - 75%

### Adición de la fibra

La fibra que se utilizó fue la fibra DURAKAL, producida por la empresa Kaltex. Es una fibra acrílica sintética producida de polímeros acrílicos modificados, desarrollada con el apoyo de instituciones como la Universidad Iberoamericana, el CONACYT, el Instituto Mexicano del Transporte de la SCT, entre otras, especialmente para utilizarse como aditivo en mezcla asfáltica de alta especificación bajo el principio de lograr “Pavimentos reforzados con fibras acrílicas”.

Para la adición de la fibra sintética a la mezcla primeramente se sometió a la aplicación de aire comprimido para separar lo más posible la fibra, de manera que no queden grumos y que al momento de incorporarla a la mezcla, las partículas de fibra tengan una mejor adherencia con el material pétreo y el asfalto (Figura 1).



Figura 1. Adición de la fibra.

## Energía de fractura por tracción indirecta

Uno de los aportes de la mecánica clásica de fractura es el concepto de energía de fractura, el cual se entiende como un parámetro propio del material y fundamental para analizar el comportamiento de un sólido durante el proceso de fractura o fisuración.

En la curva carga desplazamiento, ilustrada en la Figura 2, se observa un estado de equilibrio cuando no existen esfuerzos aplicados al material. Sin embargo, una vez que se aplica una carga cuasi es-

tática y monótonica, la tensión incrementa hasta llegar a un límite superior conocido como resistencia máxima teórica a tracción del material, y seguidamente la carga comienza a decrecer hasta llegar a cero. En este contexto, durante la aplicación de la fuerza se realiza un trabajo, que se almacena en forma de energía de deformación hasta la separación de las partes, momento en el cual esa energía de deformación se transforma en energía de fractura, relajándose cada una de las partes de las tensiones soportadas.

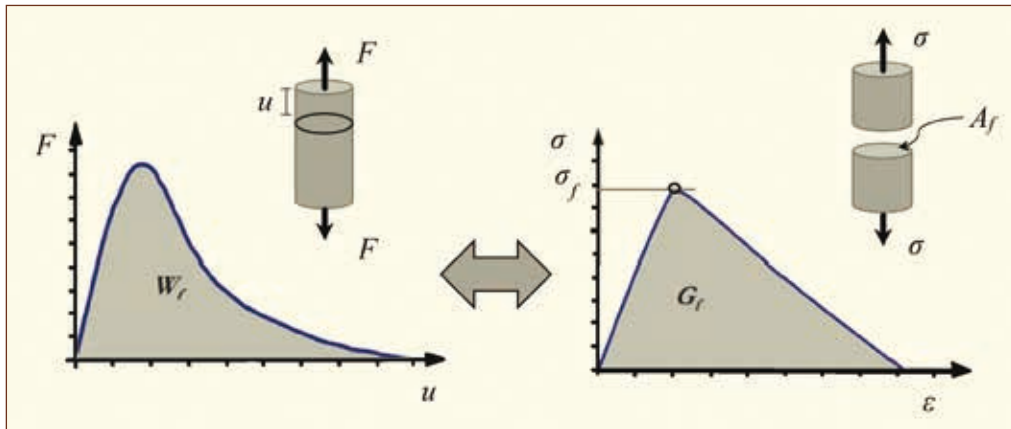


Figura 2. Forma esquemática de la obtención de energía de fractura.

Se trata de uno de los ensayos más comunes en la caracterización del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas. Desde su desarrollo en la universidad de Nottingham en el año 1989, se ha convertido en uno de los ensayos más extendidos en el estudio de fatiga y fisuración de mezclas asfálti-

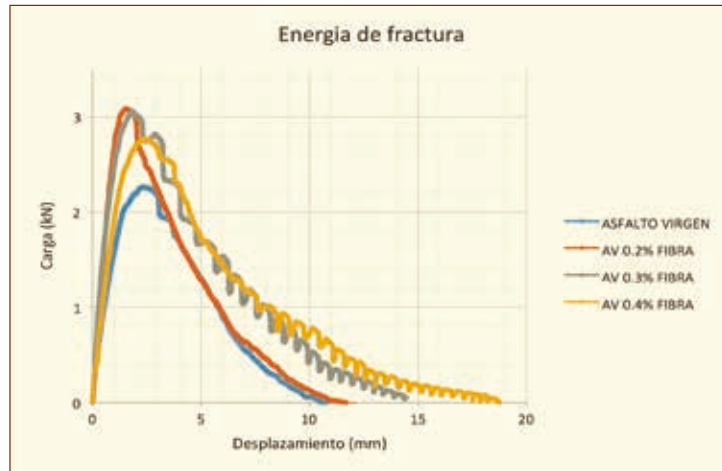
cas, llegando a normalizarse según la serie UNE-EN 12697-24. El ensayo consiste en someter una probeta cilíndrica a pulsos de carga cíclicos de tracción indirecta, midiéndose las deformaciones producidas, de manera que se determina la evolución del módulo de rigidez de esta (Figura 3).



Figura 3. Ensayo de energía de fractura por tracción indirecta.

Mediante este ensayo se puede evaluar la energía de fractura de las mezclas en estudio, además de conocer su energía de trabajo, su carga máxima y su desplazamiento de aplicación de carga.

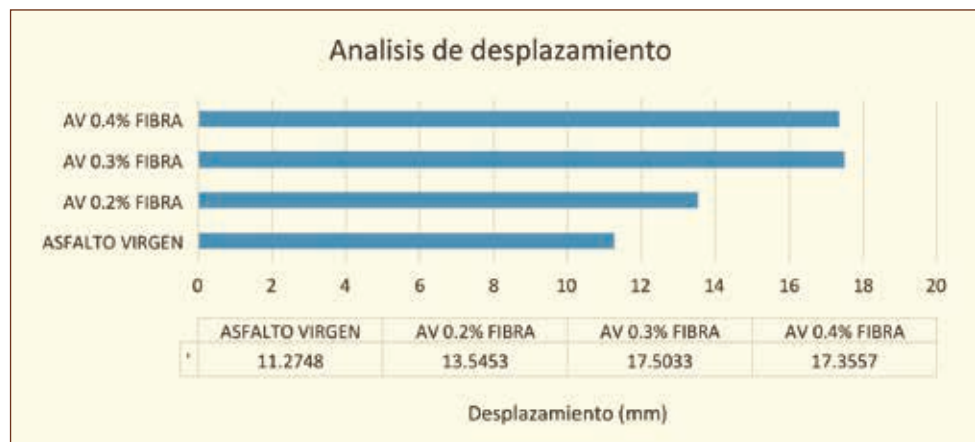
El primer parámetro a analizar será la energía de fractura, esta se obtiene mediante la energía de trabajo generada por la aplicación de la carga y el desplazamiento total obtenido, siendo esta energía de trabajo obtenida de la curva generada, como se muestra en la Gráfica 1.



Gráfica 1. Curvas de energía de fractura.

En este gráfico se puede apreciar las diferentes curvas obtenidas de cada mezcla con los diferentes porcentajes de asfalto, en la que se observa como las mezclas fueron favorecidas por la fibra, tanto en su aumento de resistencia como en su desplazamiento, lo que significa que se tienen mezclas más resistentes a la carga y lo suficientemente flexibles para prolongar su desplazamiento antes de su falla.

Las mezclas con fibra tuvieron una deformación mayor a la elaborada con asfalto virgen, lo cual es favorable debido a que las mezclas asfálticas que toleran bajas deformaciones antes de la falla son más propensas a presentar agrietamiento a bajas temperaturas.



Gráfica 2. Análisis de desplazamiento durante la prueba de energía de fractura.

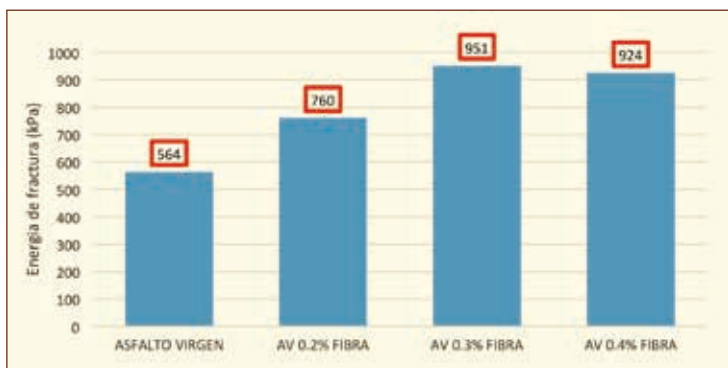
Este incremento en el desplazamiento de las mezclas ensayadas y sumado al incremento en su resistencia logra que la energía de trabajo se eleve debido a que estos parámetros son directamente proporcionales. Una vez obtenidos estos valores y caracterizadas las probetas ensayadas, se analizan los resultados de la energía de fractura de cada mezcla, como se muestra en la Gráfica 3.

zamiento fue mucho menor, esto complementa los resultados obtenidos en la propagación de fisura, demostrando que la mezcla con asfalto modificado y fibra es más susceptible a la fisuración debido a la pérdida de cohesión.

Se comprobó que el porcentaje óptimo de fibra fue del 0,3%, pero también se obtienen buenos resultados con el 0,2%.



## ¿Quieres profundizar?



Gráfica 3. Resultados de energía de fractura.

## Conclusiones

En el ensayo de energía de fractura se observó que las mezclas con asfalto virgen fueron favorecidas por la fibra, ya que además de aumentar su resistencia a la tensión indirecta, incrementa también el desplazamiento que se genera durante la aplicación de la carga hasta la falla del espécimen, logrando con esto una mayor energía necesaria para la fractura.

En el caso de las mezclas con asfalto modificado, aunque se incrementó la resistencia, el despla-

- Rondón-Quintana, H. A., Molano-Mora, Y., & Tenjo-Lancheros, A. M. (2012). Influencia de la Temperatura de Compactación Sobre la Resistencia Bajo Carga Monotónica de Mezclas Asfálticas Modificadas con Grano de Caucho Reciclado de Llantas. *Tecno Lógicas*, 13-31.
- Oller, S. (2001). *Fractura Mecánica: Un enfoque global*. Ediciones UPC.
- Brown R., K. P. (2001). *Performance Testing for Hot*. National Center for Asphalt Technology.
- Fonseca Rodríguez, C. (1995). Estudio de capas antifisuras para retardar el inicio y propagación de grietas en pavimentos flexibles y semirrígidos.
- Limón, P., Gaxiola, J., Landeros, F., & Pérez, L. El ensayo 8TD para la determinación de energía de fractura en mezclas asfálticas. *X Congreso Mexicano del Asfalto*. Cancún, México.
- Pérez Jiménez, F. M. (1992). Mejoras obtenidas en el comportamiento de las Mezclas Porosas Mediante la Incorporación de Fibras Acrílicas. *I Congreso Nacional de Firmes*. Valladolid, España.
- Reyes Ortiz, O. J., Fuentes Pumarejo, L. G., & Moreno-Torres, O. H. (2013). Comportamiento de mezclas asfálticas fabricadas con asfaltos modificados con ceras. *Ingeniería y Desarrollo*, 161-178.
- Valdéz G., P.-J. F. (2012). Effect of temperature and asphalt mixture type on the fatigue behaviour of flexible pavements. *Revista de la Construcción*, 101.

amaac.org.mx





# Seminario Internacional del Asfalto

Retos en la preservación de pavimentos asfálticos



Asociación Mexicana del Asfalto, A.C.

## Programa técnico Tijuana, B.C., del 4 al 6 de octubre 2018

Programa		Jueves 4 de octubre
08:00 - 10:20	Registro	
10:30 - 11:00	Ceremonia de Inauguración	
11:00 - 11:40	Corte de listón y Recorrido por la Expo	
11:40 - 12:40	<b>Genoveva Hernández</b> / Instituto de Ingeniería de la UNAM / México / 20 años de investigaciones sobre asfaltos modificados en el CFATA-UNAM	
12:40 - 13:40	<b>Guillermo Thenoux</b> / Chile / 40 años de investigación en asfalto retos logrados, pendientes y futuros	
13:40 - 14:40	Comida	
14:40 - 15:40	<b>Ricardo Solorio</b> / Instituto Mexicano del Transporte / México / Preservación de pavimentos asfálticos en el contexto de la gestión de activos	
15:40 - 16:40	<b>Ángel Mateos</b> / Universidad de California en Berkeley / USA / Optimización del diseño de mezclas bituminosas sobre la base de ensayos de comportamiento mecánico	
16:40 - 17:40	<b>Gabriel Hernández</b> / Dynasol / México / "Innovación en la mejora de módulos de reforzamiento de ligantes asfálticos mediante el uso de elastómeros SB"	
18:00 - 19:30	ASAMBLEA AMAAC	
20:00 - 22:00	COCTEL DE BIENVENIDA	



**Idioma oficial Español**

Habrá traducción simultánea  
Español-inglés-español

Programa		Viernes 5 de octubre
08:00 - 09:00	Registro	
09:00 - 09:50	<b>Ricardo Buzo</b> / Surfax / México / Mastic Asphalt. La solución sustentable para prolongar la vida de los pavimentos asfálticos	
09:50 - 10:50	<b>Delmar Salomon</b> / USA / Uso de infrarrojo portátil para evaluar pavimentos asfálticos: Herramienta para la gestión de conservación vial	
10:50 - 11:20	Receso	
11:20 - 12:10	<b>Horacio Delgado</b> / Instituto Mexicano del Transporte / México / Lineamientos para el diseño y control de calidad de mezclas asfálticas de alto desempeño	
12:10 - 13:10	<b>Andree Molenaar</b> / Tecnológico de Delf / Holanda / Combining practice and theory for preservation of pavement networks	
13:10 - 14:10	Comida	
14:10 - 15:10	<b>Félix Edmundo Pérez</b> / Universidad Politécnica de Cataluña / España / El ensayo Fénix y su aplicación al diseño y control de ejecución de mezclas bituminosas	
15:10 - 16:10	<b>Gonzalo Oroz</b> / CFF GmbH & Co. KG / Alemania / Conservación de pavimentos con mezclas asfálticas de baja emisión sonora; vistazo a la experiencia europea	
16:10 - 16:30	Receso	
16:30 - 17:10	<b>Luca Pirozzolo</b> / Universidad de Granada / Optimización del subbalasto bituminoso en infraestructura ferroviaria bajo criterios de sostenibilidad	
17:10 - 18:10	<b>Adriana Vargas-Nordbeck</b> / Universidad de Auburn / Evaluación y estado del arte en tecnologías de pavimentos	
18:10 - 18:45	CLAUSURA	
19:00 - 21:00	VINO DE HONOR	

**Programa** Sábado 6 de octubre

08:00 - 10:00 VISITA TÉCNICA — **Previo registro**  
10:00 - 15:00 RUTA DEL VINO

# Análisis del efecto de daño por humedad en mezclas asfálticas mediante el módulo dinámico

---

Rey Omar Adame Hernández

Pedro Limón

Israel Sandoval

Ignacio Cremades

Lasfalto S. de R. L. Zapopan Jalisco México,

omar.adame@lasfalto.com.mx

## Introducción

En México el ciclo de lluvias que se presenta año tras año es cada vez de mayor intensidad debido al cambio climático, las lluvias intensas además de generar daños materiales e inundaciones en zonas urbanas generan un daño importante sobre los pavimentos flexibles, urbanos y autopistas. Sin embargo, no se sabe de manera precisa como afecta a las mezclas asfálticas la humedad generada por las lluvias. En México, de acuerdo a los últimos informes presentados por la CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), en la temporada de ciclones tropicales durante el 2016 se tuvieron 8 más que el promedio, para un total de 36 registrados durante ese año, de los cuales 18 llegaron a categoría de Huracán. Además, Se tuvo el impacto directo de 6 ciclones en el territorio nacional, tres por el Océano Pacífico y tres por el Atlántico. Mientras que la temporada de lluvias 2016 se comportó conforme al promedio histórico, precipitó 744 milímetros en todo el territorio nacional.

El daño por humedad está estrechamente relacionado con el enlace por cohesión al cual se involucra la fuerza de cohesión del asfalto además se le involucra con el enlace por adhesión, es decir con la fuerza que interaccionan el agregado y el asfalto entre sí (Cheng, 2002).<sup>[4]</sup>

Existen algunos estudios que señalan razones como las fuentes del fenómeno que se da entre la interface del mástico y la superficie del agregado pétreo llamada “falla por adhesión” y en la estructura interna del mástico o asfalto llamada “falla por cohesión”. Esto se define de acuerdo con las propiedades con las que cuentan los componentes (agregado y asfalto). Sin embargo, hay algunos factores adicionales que modifican estas fallas como lo son: la adición de un modificante al asfalto y el uso de agentes líquidos anti-desprendimientos (*anti-stripping*) o cal hidratada (Howson *et al.*, 2007). Además, se ha observado que incrementando el pH del agua presente en la interface entre el mástico y el agregado se debilita de manera importante el enlace por adhesión entre los dos materiales (Scott, 1982).<sup>[4]</sup>

Al menos seis mecanismos de fallas son los que se asocian con los daños por humedad y los desprendimientos de agregado, pudiendo estos presentarse en forma individual o simultánea. Estos mecanismos son: separación, desplazamiento, emulsificación espontánea, presión de poro, socavación hidráulica y efectos ambientales. La separación se distingue del desplazamiento en que el agua que penetra en el agregado es debido a una discontinuidad en la película de asfalto que recubre al mismo, la cual puede ser debido a un recubrimiento parcial o de una

ruptura en la película asfáltica. La emulsificación espontánea ocurre cuando el asfalto y el agua son combinadas para formar una emulsión, un fenómeno que se maximiza con la presencia de emulsificantes como arcillas minerales. La presión de poro puede también generar un daño por humedad en mezclas asfálticas con altos contenidos de vacíos, como es el caso de las mezclas abiertas (*open graded friction course*), en las que el agua puede circular entre los poros interconectados. Por último, la socavación hidráulica ocurre únicamente en la superficie del pavimento y ocurre a partir del efecto de los neumáticos de los vehículos sobre un pavimento mojado, sobre los cuales se generan altas presiones delante del neumático y succión detrás del mismo (Fromm, 1974; Scott, 1982).<sup>[4]</sup>



Figura 1. Daño por humedad en vías mexicanas.

Todos los mecanismos antes mencionados son el resultado de que la energía superficial libre del agua es inferior a la del asfalto, es decir, el agua presenta mayor capacidad de humectar el agregado que el asfalto (Majidzadra et al., 1968).<sup>[4]</sup>

## Metodología

En este trabajo se hace uso de las metodologías de diseño de mezclas densas propuestas por el protocolo AMAAC (PA-MA 01/2013),<sup>[3]</sup> metodología vigente en México. Después, se utilizó la prueba de módulo dinámico como parámetro de calidad de las mezclas asfálticas analizadas para las que se construyó su respectiva curva maestra con temperaturas desde los 0 hasta los 40 °C con frecuencias desde 0,1 hasta 10 Hz. Posteriormente los especímenes se acondicionaron en agua a una temperatura de 60 °C durante 24 y 72 horas respectivamente.

## Análisis y resultados

### Caracterización del agregado y asfalto

Respecto al agregado, se hizo uso de un agregado proveniente del estado de Jalisco, del cual se tienen los siguientes resultados y que cumple con todas las especificaciones requeridas por dicha metodología. Tabla 1.



# ¡Últimos dos periodos de inscripción 2018!

- del 3 al 14 de septiembre
- del 24 de octubre al 6 de noviembre

Más información:  
tecnico3@amaac.org.mx  
01(55) 5606 7962



**Tabla 1. Caracterización del agregado**

Tipo de prueba	Basalto	Valor de Normativa
Partículas alargadas	1,60%	15% máx.
Partículas Lajeadas	0,34%	15% máx.
Densidad	2,66	N/A
Desgaste de los Ángeles	10%	
Absorción	1,28%	N/A
Tipo de prueba	Resultados Basalto	Normativa
Equivalente de arena	70%	50% mín.
Densidad	2,6	N/A
Absorción	2,04%	N/A
Azul de metileno	11 ml/g	15 ml/g máx.
Angularidad	40,72	40 mín.

**Tabla 2. Caracterización del asfalto**

Tipo de prueba	Resultado asfalto modificado	Resultado asfalto convencional	Especificación particular	Método de prueba
Recuperación elástica por torsión a 25 °C (%)	49	--	40 mín.	M-MMP-4-05-024/02 SCT
Punto de reblandecimiento, 5 °C/min. (°C)	64	--	55 mín.	M-MMP-4-05-009/00 SCT
Punto de inflamación Cleveland (°C)	>300	>300	230 mín.	ASTM D 92
Viscosidad Brookfield a 135 °C (cP)	1747	404	3000 máx.	ASTM D 4402
Módulo reológico de corte dinámico a [ $G^*$ /sen $\delta$ ] (kPa)	1,395 (76 °C)	1,335 (64 °C)	1 mín.	ASTM D 7175
Ángulo de fase ( $\delta$ ) (°)	68,85 (76 °C)	83,51 (64 °C)	----	ASTM D 7175
<b>Análisis del residuo de la prueba de la película delgada RTFO ASTM D 2872</b>				
Pérdida de masa por calentamiento a 163 °C, (%)	0,21	0,45	1 máx.	ASTM D 2872
Módulo reológico de corte dinámico a [ $G^*$ /sen $\delta$ ] (kPa)	3,579 (76 °C)	3,67 (64 °C)	2,2 mín.	ASTM D 7175
Ángulo de fase ( $\delta$ ) (°)	58,48 (76 °C)	77,35 (64 °C)	----	ASTM D 7175
<b>Análisis del residuo de la prueba de envejecimiento a presión PAV ASTM D 6521</b>				
Módulo reológico de corte dinámico A 25 °C [ $G^*$ sen $\delta$ ] (KPa)	1248	2558	5000 máx.	ASTM D 7175
Rigidez en creep A -12 °C, 60s S(t), (MPa)	71,94	112,69	300 máx.	ASTM D 6648
Valor m(t) A -12 °C, 60s S(t), (adimensional)	0,313	0,293	0,3 mín.	ASTM D 6648
<b>Determinación de índice de tráfico Jnr (RTFO)</b>				
Respuesta elástica a 100 Pa, (%)	72,25 (76 °C)		14,08 (64 °C)	AASHTO T-350
Respuesta elástica a 3200 Pa (%)	66,87		3,26	AASHTO T-350
Diferencia en respuesta elástica (%)	7,54 (76 °C)		76,87	AASHTO T-350
Creep compliance Jnr100 a 64 °C	0,386 (76 °C)		2,003 (64 °C)	AASHTO T-350
Creep compliance Jnr3200 a 64 °C	0,377 (76 °C)		2,546 (64 °C)	AASHTO T-350
Diferencia creep compliance Jnr a 64 °C, (%)	-2,26		27,07	AASHTO T-350
Asfalto convencional grado PG 64-16 Asfalto modificado grado PG 76-22 E				

Para el asfalto se usó como base el asfalto Ekbé-Salamanca clasificado con un grado PG 64-16, a continuación, se presentan las pruebas básicas del asfalto así como las pruebas para grado PG (Tabla 2). Como modificador se usó un Terpolímero RET con el cual se obtuvo un asfalto modificado PG 76-22 y con una capacidad para soportar un nivel “extremo” (E) de acuerdo con el parámetro Jnr.

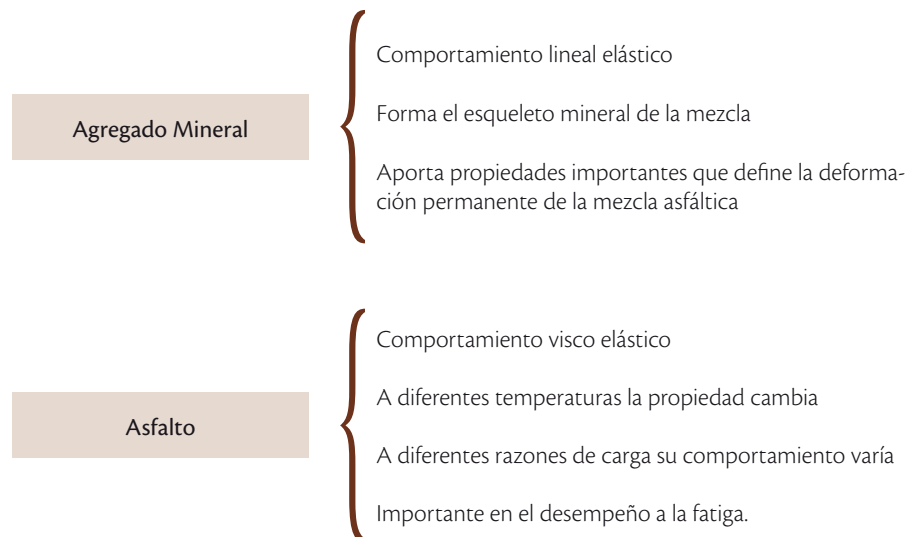
### Parámetros volumétricos de la mezcla

Con el uso de estos componentes base (asfalto Ekbé y basalto) se procedió a fabricar especímenes por triplicado para la realización de la prueba de módulo dinámico, para los cuales se obtuvieron las combinaciones y propiedades por cada tipo de mezcla, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Propiedades por cada tipo de mezcla			
Variable	% Contenido de asfalto	% Contenido de asfalto en el RAP	% Vacíos
Asfalto Ekbé + Basalto	5,5	N/A	6,84
Asfalto Ekbé + Basalto + Terpolímero RET	5,5	N/A	5,98
Asfalto Ekbé + Basalto + 15% de RAP	5,1	0,7	9,16
Asfalto Ekbé + Basalto + 30% de RAP	4,0	1,53	7,17
Asfalto Ekbé + Basalto + 45% de RAP	3,1	2,29%	7,55

### Módulo dinámico

En una mezcla asfáltica existen dos componentes fundamentales: agregado pétreo y asfalto, las cuales aportan diferentes propiedades en la mezcla y le dan un comportamiento visco-elástico a la mezcla.



Un material como una mezcla asfáltica en el que sus propiedades como el módulo de rigidez dependen de las temperaturas de ensayo y de las razones de carga (velocidad de aplicación en campo o frecuencia en laboratorio), es importante saber que las propiedades no son constantes con respecto al tiempo como se han asumido en los diseños clásicos, esto comprobado a través de varios estudios en los que se le da importancia y que se asume principalmente que el pavimento cambia sus propiedades y envejece debido a:

- La edad del pavimento
- El clima
- El periodo de oxidación con el que cambia el módulo en el tiempo
- Propiedades volumétricas

Es por eso que en este trabajo se decidió estudiar la variación del módulo dinámico provocada por el daño por humedad. Esto a través de un acondicionamiento en baño maría a 60 °C en el que se simula el efecto de la humedad con respecto al tiempo.

Inicialmente se fabricaron probetas después de determinar su contenido óptimo y se mezclaron a una temperatura de 165 °C para la mezcla con Terpolímero RET, mientras que para las mezclas con asfalto convencional y RAP se mezcló a una temperatura de 155 °C. Es importante mencionar que el RAP fue manejado por separado a una temperatura de 40 °C con el objeto de no afectar su estado y propiedades iniciales. Posteriormente la compactación se realizó a una temperatura de 155 °C para el asfalto modificado con Terpolímero RET mientras que para las restantes se compactó a 145 °C, en todas las probetas se empleó

el compactador giratorio Superpave con un número de giros de entre 30 y 40, esto para garantizar el porcentaje de vacíos de alrededor del 7% para que el agua pueda ingresar en mayor cantidad y generar un daño significativo en la mezcla asfáltica.

Después se realizaron las curvas maestras para cada una de las variables fabricando para esto 3 especímenes por cada tipo de mezcla, posteriormente se ensayaron a diferentes temperaturas y diferentes frecuencias como se indica en la Tabla 4.

Tabla 4. Frecuencias y temperaturas de ensayo para curvas maestras	
Frecuencias de ensayo (Hz)	Temperaturas de ensayo (°C)
0,1	0, 10, 20, 30 y 40
0,5	
1,0	
5,0	
10,0	
10,0	

Para la construcción de las curvas maestras se utilizó el principio de superposición de tiempo-temperatura. Se aplica un factor o una constante de cambio con respecto al logaritmo del tiempo para obtener una curva suavizada. Esto con el objetivo de observar gráficamente la rigidez y la elasticidad de cada tipo de mezcla.

La curva maestra realizada para un asfalto convencional Ekbé y basalto presenta una buena curvatura lo cual indica que tiene un buen comportamiento elástico a diferentes temperaturas y frecuencias de ensayo, aunque presenta valores relativamente bajos, Figura 2.

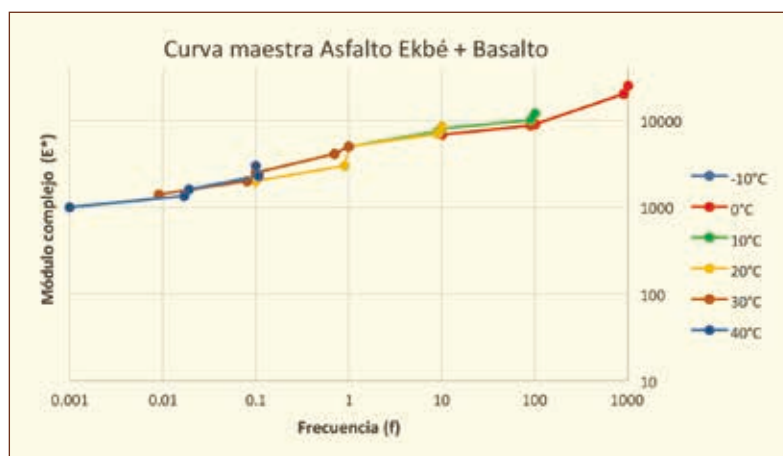


Figura 2. Curva maestra asfalto Ekbé + basalto

El uso de Terpolímeros RET promueve mezclas más elásticas como se muestra en la curva maestra de la Figura 3. En la que se observa una curvatura tenue y valores favorables de módulo dinámico a altas, bajas y medianas temperaturas además de una menor susceptibilidad en el valor de módulo con diferentes velocidades o frecuencias de aplicación de carga.

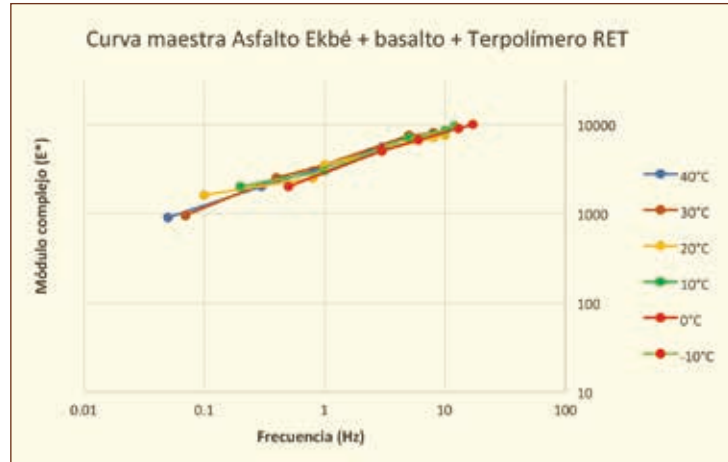


Figura 3. Curva maestra asfalto Ekbé+ Basalto + Terpolímero RET.

Con el uso de 15% de material de RAP para una mezcla de granulometría densa, la curva maestra muestra un ligero aumento de rigidez en los valores, además de una pérdida de curvatura y valores altos de módulo en comparación a una mezcla con asfalto convencional. Figura 4.

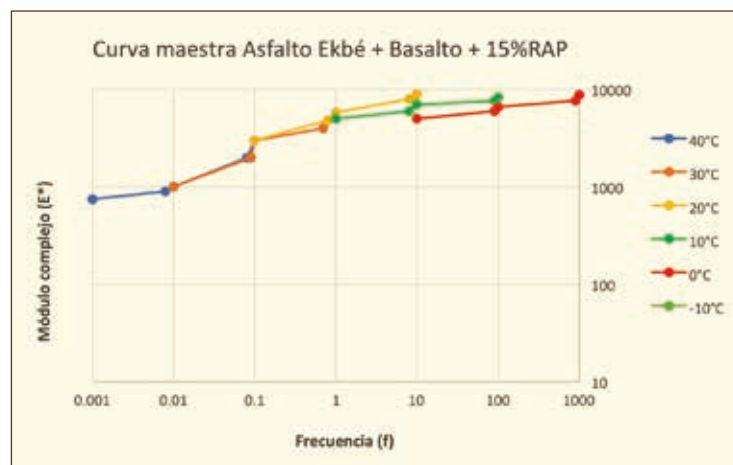


Figura 4. Curva maestra asfalto Ekbé + basalto + 15% RAP.

Para la mezcla con 30% de RAP el comportamiento tiende a ser lineal con la superposición de tiempo-temperatura además de un aumento en los valores de módulo y por lo tanto en la rigidez de la mezcla, aumentando también la susceptibilidad al agrietamiento por fatiga. Figura 5.

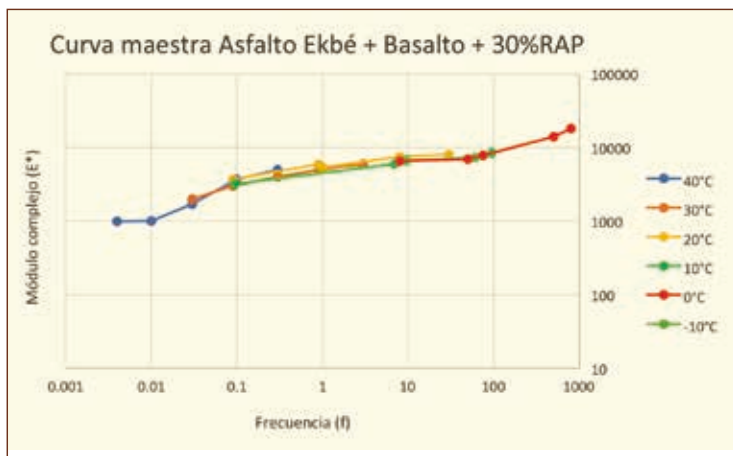


Figura 5. Curva maestra asfalto Ekbé + basalto + 30% RAP.

Finalmente, para mezclas con 45% de RAP la rigidez se ve aumentada casi en un doble con respecto a una mezcla con asfalto convencional, por lo que no precisamente el presentar valores de módulo altos garantizará un buen desempeño ante los mecanismos de falla de las mezclas asfálticas. Figura 6.

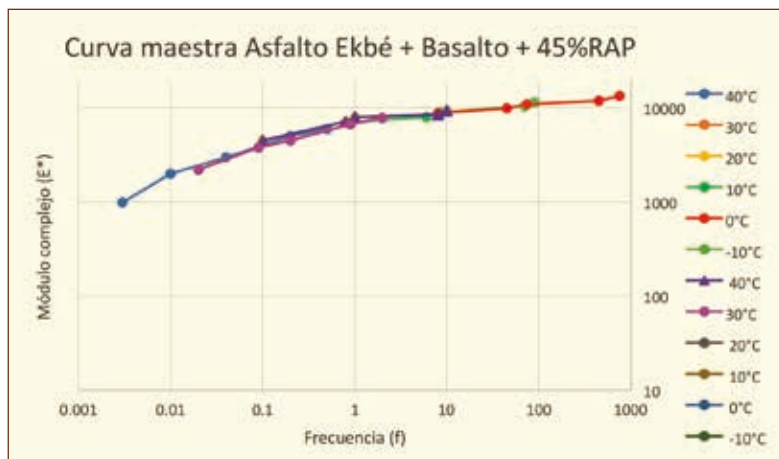


Figura 6. Curva maestra asfalto Ekbé + basalto + 45% RAP.

De acuerdo con las curvas maestras obtenidas se observó que la curva que presenta un mejor comportamiento es la fabricada con asfalto modificado con Terpolímero RET + basalto. Aunque las muestras de asfalto convencional, así como la mezcla con 15% de RAP también presentaron comportamientos aceptables, mientras que las mezclas con 30 y 45% de RAP presentan una tendencia a la rigidez en medida en la que aumenta el contenido de RAP.

Después de determinadas las curvas maestras, los especímenes fueron acondicionados y sumergidos en un baño María a una temperatura de 60 °C con el propósito de generar un daño por humedad que modifique el valor de módulo, además de determinar que mezclas presentan mayor daño.

De acuerdo con lo observado en la Figura 7. Con respecto a las mezclas con asfalto convencional Ekbé + basalto el daño importante se genera en las primeras

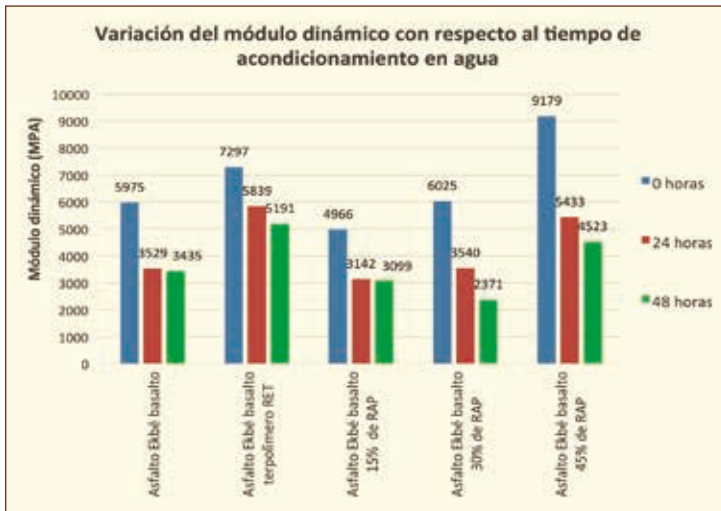


Figura 7. Variación del módulo dinámico con respecto al tiempo de acondicionamiento en agua.

24 horas de acondicionamiento, periodo en el que los especímenes perdieron el 40% en promedio, esto tomando como referencia el valor inicial.

Para el asfalto modificado con Terpolímero RET + basalto el daño generado en los especímenes es de casi el 20% con respecto al valor inicial, mientras que en las siguientes 48 horas apenas perdió el 8%, manteniendo además valores altos con respecto a las demás mezclas asfálticas.

En cuanto a las mezclas con RAP iniciando con las mezclas que tienen el 15% de RAP, el porcentaje de pérdida de valor de modulo después de 72 horas es del 38%, muy similar al daño generado en una mezcla con asfalto convencional.

Para las mezclas con 30% de RAP el daño por humedad después de las 72 horas de acondicionamiento es mayor con respecto a la mezcla que contiene 15% de material recuperado, alcanzando el 60% de pérdida con respecto al valor inicial.

Finalmente, para las mezclas con 45% de RAP el porcentaje de pérdida supera el 50% de pérdida con respecto al valor inicial, aunque es importante mencionar que los valores se mantienen altos con respecto a las demás variables analizadas en este estudio.

## Conclusiones

En cuanto al efecto de la humedad es más que claro que genera un daño en mezclas asfálticas, sobre todo en la edad temprana del pavimento, etapa en la que pueden llegar a perder hasta el 50% de su módulo inicial para mezclas convencionales y en las que es muy probable que se generen deformaciones permanentes.

En general hay evidencia de que el efecto de la humedad depende de la calidad del tipo de asfalto que se aplique en la mezcla asfáltica. El asfalto modificado en este estudio presentó un desempeño superior ante el efecto de la humedad.

El porcentaje de RAP en la mezcla también es un factor importante en el comportamiento elástico de una mezcla, para este caso el 15% de RAP utilizado en la mezcla resulta ser el porcentaje óptimo, mientras que para el 30 y 45% de RAP puede resultar en contra de un buen desempeño de la mezcla ante los efectos del agua y de un comportamiento elástico en la mezcla.

También es evidente que la mezcla hecha con Terpolímero RET es la que presenta un mejor desempeño, caso en el que apenas se llegó a un 20% de pérdida del módulo en la etapa inicial.

## ¿Quieres profundizar?

- [1] Charles E. Dougan, E\* –Dynamic Modulus Test Protocol– Problems and Solutions. University of Connecticut. April 2003.
- [2] W. Witzak. Development of a Master Curve (E\*) Database For Lime Modified Asphaltic Mixtures. Arizona State University, July 2004.
- [3] PA-MA 01 (2013). Diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño (AMAAC).
- [4] J. Aguiar. Caracterización del daño por humedad en mezclas asfálticas. Universidad de Costa Rica, Marzo 2014.
- [5] F. Leiva. Módulo dinámico en mezclas asfálticas. Universidad de Costa Rica, Marzo 2004.

Síguenos en redes sociales:



#EligeAsfalto

# MADISA<sup>®</sup>

# CAT<sup>®</sup>

# CONSTRUYENDO JUNTOS A TRAVÉS DE LA HISTORIA

## NUEVA GENERACIÓN DE PERFILADORAS

- Excelencia Rediseñada.
- Sistema de nivelación de corte automático.
- Cilindros con sensores de posición.
- Reducción de emisiones contaminantes al medio ambiente.
- Mejora en el rendimiento de combustible.



CORTE DE PRECISIÓN

CONTÁCTANOS

**01 800 26 30146**

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





## Historia de la palabra chapopote

Luís Íñigo-Madrigal

La primera definición que de 'chapapote' se hace en un texto español es la que trae fray Bernardino de Sahagún (1500-1590) en su *Historia general de las cosas de Nueva España*:

"El *chapopotli* es un betún que sale de la mar, y es como pez de Castilla, que fácilmente se deshace y el mar lo echa de sí, con las ondas, y esto ciertos y señalados días, conforme al creciente de la luna; viene ancha y gorda a manera de manta, y ándanla a coger a la orilla los que moran junto al mar. Este *chapopotli* es oloroso y preciado entre las mujeres, y cuando se echa en el fuego su olor se derrama lejos".

Dice más Fray Bernardino: Hay dos maneras de este betún; el uno es el conque se mezcla la masa o la resina olorosa, que se mete en los cañutos con que dan buen y trascendente olor. El otro es de la pez que mascan las mujeres, llamada *txictli*, y para que la puedan mascar, mézclan con el *axin*, con el cual se ablanda, de otra manera no lo mascan, antes se deshace: la mayor parte de las que lo mascan son las muchachas y mozas que ya son adultas y mujeres; pero no lo mascan todas en público, sino las solteras y doncellas, porque las casadas y viudas, dado caso que lo masquen, no lo hacen en público sino en sus casas; y las que son públicas mujeres, sin vergüenza alguna, lo andan mascando en todas partes: en las calles, en el tianguis, sonando las dentelladas como castañetas; las otras mujeres que no son públicas, si lo mismo hacen, no dejan de ser notadas de malas y ruines por aquello. La causa porque las mujeres mascan el *txictli* es para echar "la reuma", y también porque no les hieda la boca o porque el mal hedor que ya tienen no se sienta, y por aquello sean deshechadas. Los hombres también mascan el *txictli* para echar "la reuma", y para limpiar los dientes; empero hácenlo en secreto. Los que son notados de vicio nefando, sin vergüenza lo mascan, y tienenlo por costumbre andarlo mascando en público; los demás hombres, si lo mismo hacen, nótanlos de sométicos.

Entre el 'chapopotli' de que habla Sahagún y el 'chapapote' que en estos días empuerca las costas de Galicia (por más que ambos salgan de la mar) hay, no sólo casi cinco siglos de distancia, sino otras diferencias. Aquél, el de los indios de la Nueva España, estaba mucho más cerca del actual 'chicle' (vocablo que proviene, precisamente, de ese *txictli* mencionado en el texto) que del petróleo poco refinado y malo-liente de que tanto se habla en estos días. Éste no lo mastica ya nadie, ni las públicas mujeres ni los sométicos, por más que las dentelladas que produce sigan sonando como castañetas.





# Particularidades del ensayo de película delgada en horno rotatorio usando asfaltos convencionales y modificado con SBS

Gabriel Hernández Zamora,  
Rodolfo Mauricio López Delgado  
Jesús Salomón Martínez Hernández  
Grupo Dynasol

## Introducción

El ensayo de película delgada en horno rotatorio comúnmente expresada en la literatura especializada como RTFO o RTFOT (del inglés *Rolling Thin Film Oven* o *Rolling Thin Film Oven Test*), sigue los métodos de referencia AASHTO T240 y ASTM D 2872.

Este ensayo fue desarrollado por el Departamento de Carreteras de California para simular envejecimiento que ocurre en el ligante asfáltico en las plantas de mezcla en caliente durante la elaboración de mezclas de concreto asfáltico en caliente y el envejecimiento que sufre dicho ligante durante el tendido y compactación del pavimento asfáltico.

Este método de prueba expone de forma continua al ligante asfáltico a calor y flujo de aire, permitiendo tener un método que ofrece repetibilidad en diferentes muestras utilizadas en el mismo equipo, con la ventaja de que el ensayo dura 85 minutos. La Figura 1 presenta el interior de un equipo para RTFO.

Algunos aspectos importantes que se pueden observar en este ensayo en información que se puede obtener son los siguientes:

- Producir un asfalto oxidado que puede emplearse para ensayos adicionales (DSR y material base para PAV).
- Determinar la cantidad de volátiles que pierde el asfalto durante el ensayo. Esta cantidad de volátiles perdidos indica el envejecimiento que puede ocurrir durante el proceso de mezclado, tendido y compactado del ligante asfáltico.
- Algunos asfaltos pueden ganar peso durante el RTFO debido a productos de oxidación que se forman durante el ensayo.
- En algunos asfaltos modificados con aditivos rejuvenecedores o copolímeros de estireno-etileno-butileno-estireno (SEBS), el nivel de rigidez que se alcanza puede ser mínimo debido a que estos materiales brindan estabilidad térmica al asfalto.



Figura 1. Horno de película rotatoria delgada (RTFO).

Este artículo presenta las condiciones de operación del ensayo de RTFO y datos típicos de asfalto convencional y modificado con SBS.

### Principales características del ensayo RTFO

Uno de los objetivos esenciales de las especificaciones Superpave es el poder contar con ensayos que simulen las etapas críticas a las que se ve expuesto el ligante asfáltico. Las tres etapas más críticas son:

- Durante el transporte, almacenamiento y manipulación.

- Durante la elaboración de la mezcla en caliente y construcción del pavimento.
- Después de largos períodos en servicio.

Es en la segunda etapa de elaboración de la mezcla en caliente y construcción del pavimento donde tiene su función el RTFO, simulando precisamente estas etapas. Para ello, este ensayo expone una delgada película del ligante a calor y aire; a condiciones muy parecidas a la que se expone el asfalto a dichas variables durante el mezclado en caliente y manipulación.

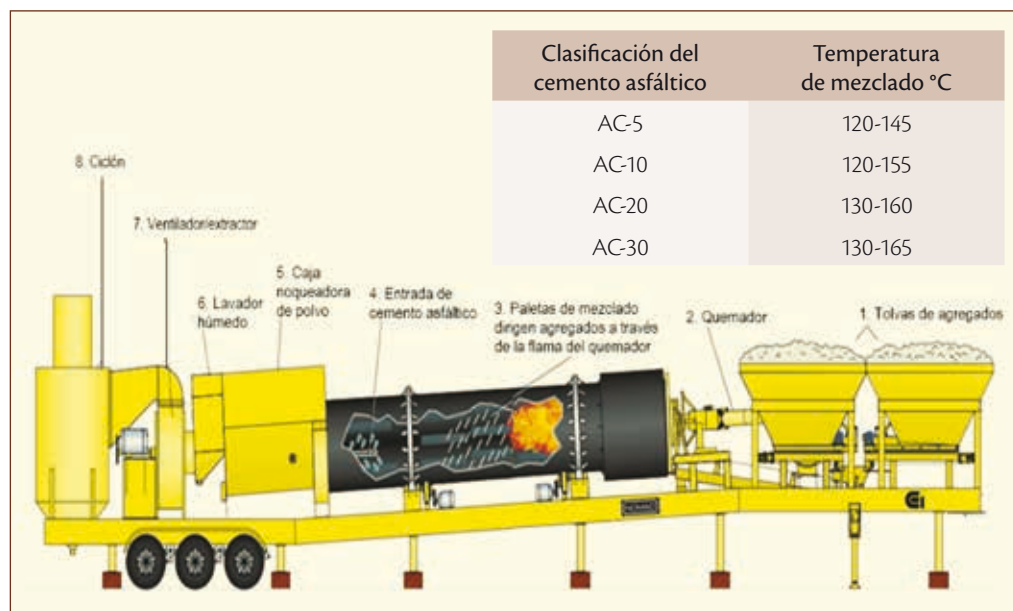


Figura 2. Temperaturas típicas de elaboración de mezcla en caliente con diferentes tipos de asfalto.

Para el ensayo en RTFO, se calienta la muestra de ligante asfáltico hasta que sea lo suficientemente fluida para ser vertida en los recipientes de vidrio. En ningún caso deberán sobrepasarse los 150 °C. En cada frasco de vidrio especial para RTFO se vierten 35 ± 0,5 g. de ligante (Figura 3). El horno de RTFO da cabida a 8 frascos.

El ensayo RTFO requiere un horno de convección calentado eléctricamente. El horno contiene un disco giratorio, en cuyos orificios se ubican los frascos con las muestras. Un motor hace girar el disco alrededor de su centro. Contiene una boquilla que sopla aire en cada botella, en la posición inferior de la trayectoria circular.



Figura 3. Frascos de RTFO en las diferentes etapas del ensayo.

El horno RTFO debe precalentarse a la temperatura de envejecimiento 163 °C ± 0,5 °C hasta que se establezca la temperatura deseada. Luego de colocados los frascos con las muestras, la temperatura del horno debe regresar a 163 °C en un lapso no mayor de 10 minutos.

Si los frascos con muestras son menos de ocho, se completa el número con frascos vacíos. Una vez colocados los frascos, se enciende el carrusel, que debe rotar a una velocidad de 15 ± 0,2 RPM. El flujo de aire debe de ser 4 000 ± 200 ml/minuto. El ensayo se realiza en 85 minutos.

Para determinar la pérdida de masa, estos dos frascos deben enfriarse y luego pesarse con una precisión de 0,001 g. Posteriormente, los residuos RTFO de los ocho frascos se vierten en un recipiente único y se agitan para asegurar homogeneidad. El residuo RTFO debe verterse directamente de la botella, sin raspar la superficie de los frascos. Este material puede utilizarse para el ensayo DSR o puede ser transferido a las bandejas de PAV para envejecimiento adicional.

La pérdida de masa se reporta como el promedio de los resultados de dos frascos y se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdida de masa, \%} = \frac{(\text{Peso original} - \text{Peso Muestra Envejecida})}{(\text{Peso original})} * 100\%$$

Las especificaciones Superpave fijan un máximo de 1% de pérdida para todos los grados de ligantes asfálticos.

Para llevar a cabo los protocolos de calibración, la temperatura del horno se mide con un sensor térmico de resistencia o con un termómetro calibrado. El flujo de aire se verifica con un medidor de flujo calibrado. La velocidad de rotación del carrusel se verifica con un cronómetro que mide el lapso para el cual aquel ejecuta un cierto número de revoluciones.

### Especificaciones Superpave para ligantes asfálticos

El ensayo de RTFO complementa la estimación de desempeño del ligante asfáltico junto con el reómetro de corte dinámico (DSR o reómetro de platos paralelos) para definir la tendencia de deformación permanente por formación de roderas en el pavimento a alta temperatura, el parámetro que se utiliza para dicha estimación se le conoce como “rutting factor” (del inglés que se traduce como factor de ahue llamiento), o también módulo de corte reológico.

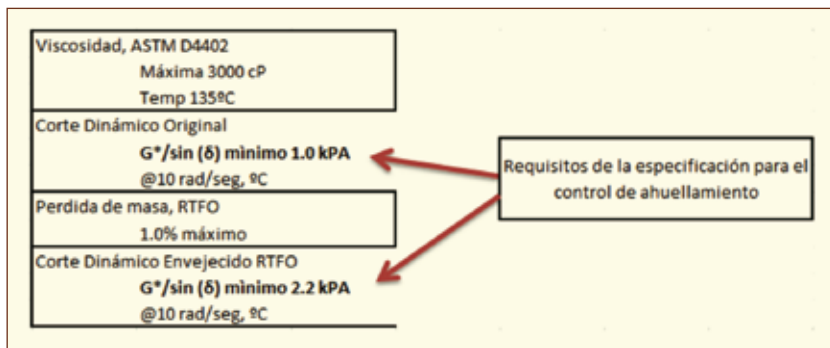


Figura 4. Especificación Superpave.



# EL MUNDO QUE IMAGINAS





# ¡Inscríbete!



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A.C.

## Seminario Internacional del Asfalto

### Retos en la preservación de pavimentos asfálticos

## Tijuana, B.C., del 4 al 6 de octubre 2018

#### Invitación

La Asociación Mexicana del Asfalto (AMAAC), extiende la más cordial invitación a participar en el Seminario Internacional del Asfalto sobre **Retos en la preservación de los pavimentos asfálticos**, que se llevará a cabo del 4 al 6 de octubre en el hotel Real Inn de Tijuana, Baja California.

AMAAC, efectúa un esfuerzo para que se conozcan, difundan y apliquen en las prácticas de la ingeniería mexicana del asfalto las tecnologías de punta, para lograr proyectos sostenibles y sustentables, que se desarrollen en el corto plazo.

Este Seminario Internacional está dirigido a los funcionarios de organismos gubernamentales y a los directivos de operadores privados responsables de la conservación y desarrollo de las carreteras, al personal técnico involucrado en la planeación, programación, ejecución y supervisión de obras viales, a profesores universitarios, investigadores y estudiantes de ingeniería interesados en profundizar en el tema de la tecnología actual sustentable y sostenible del reciclado, así como de ensayos acelerados que los proyectos en la industria del asfalto requieren.

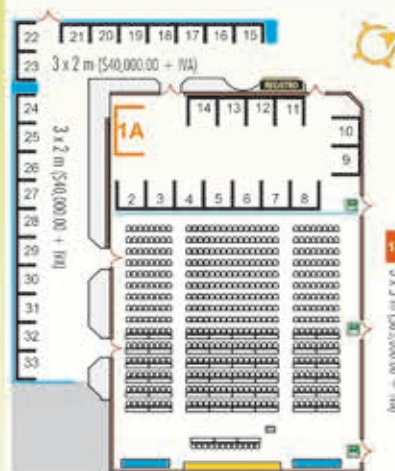
Para ello en este seminario se tendrá la intervención de ponentes reconocidos internacionalmente, que nos obsequiarán conferencias magistrales del tema, para permitirnos conceptuar y desarrollar mejor los proyectos actuales en el orden de la preservación de los pavimentos asfálticos.

#### Stands

3 x 2m	\$40,000.00
3 x 3m	\$50,000.00
3 x 5 m	\$85,000.00

cuotas + IVA

#### Salón de conferencias y **CLUB ASFALTO**



Hotel Real Inn Tijuana

Tel.: 01 664 633 4000

Código de reservación:

Seminario de Asfalto 2018



#### Inscripciones

	al 25 de septiembre	en el evento
SOCIOS	\$5,700.00	\$6,500.00
NO SOCIOS	\$6,700.00	\$7,500.00
ACOMPANANTES	\$2,000.00	\$2,000.00
ESTUDIANTES (licenciatura)	\$2,000.00	\$2,500.00

cuotas + IVA

#### Datos para depósito

Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.  
Citibanamex Suc. 0541  
No. de cuenta 8612497  
CLABE 002180054186124978  
admon@amaac.org.mx

#### Informes e inscripciones

Asociación Mexicana del Asfalto, A. C.  
Camino a Santa Teresa 187  
Col. Parque del Pedregal  
Ciudad de México, 14010  
+52 (55) 5606-7962  
seminariointernacional@amaac.org.mx

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

[seminariointernacional@amaac.org.mx](mailto:seminariointernacional@amaac.org.mx)

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

Este parámetro se calcula dividiendo el módulo complejo ( $G^*$ ) dividido por el seno del ángulo de fase ( $\delta$ ). Los valores de especificación para este módulo de corte reológico deben ser como mínimo 1,0 kPa para el ligante asfáltico en su estado original (sin envejecer) y 2,2 kPa como mínimo para el ligante asfáltico envejecido por RTFO (Figura 4).

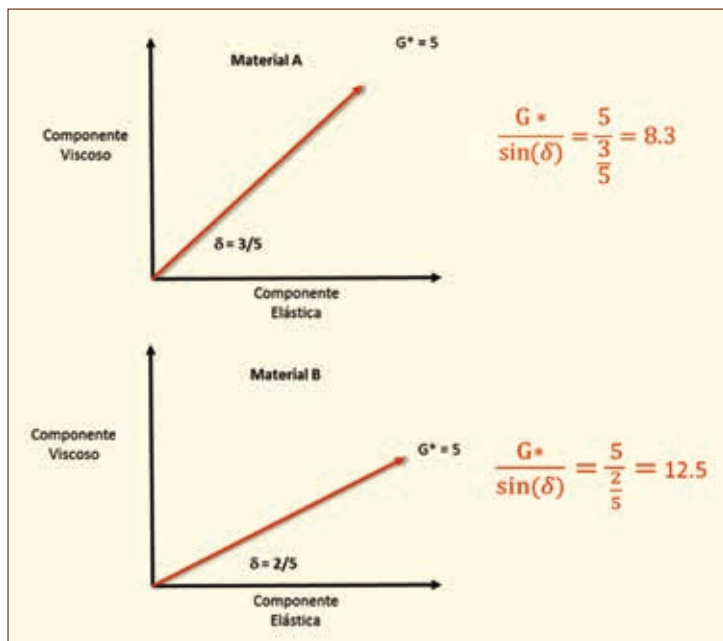


Figura 5. Datos ilustrativos que ejemplifiquen el comportamiento reológico de dos materiales asfálticos con el mismo módulo complejo pero diferente nivel de deformación.

Cuando se compara el módulo de corte reológico de diferentes materiales, por ejemplo tomando como base la figura 5, los materiales A y B presentan diferente valor de su módulo de corte reológico, debido a la variación en su nivel de deformación (ángulo de fase “d”), aun cuando presentan el mismo valor de módulo complejo ( $G^*$ ). Un valor mayor de módulo de corte reológico indica que el material se acerca más a un sólido elástico.

El material A tiene una componente viscosa mayor que el material B, lo cual implica que este material A es más susceptible a formar roderas más rápido que el material B. Esto nos enseña que mientras más grande es la componente elástica de los materiales más resistente es a deformarse y por ende más resistente a la formación de roderas.

## Resultados experimentales

La Tabla 1 presenta resultados reológicos obtenidos de un asfalto mexicano EKBE PG 64-16 convencional (sin modificar).

En estos resultados se ve que el ángulo de fase del asfalto envejecido por RTFO disminuye, ya que el asfalto endurece acercándose más al estado de sólido viscoelástico. Adicionalmente, en la tabla anterior se observa como aumenta el módulo de corte reológico para el valor medido a 64 °C, pasando de 1,27 kPa y cumpliendo con la especificación de 1 kPa mínimo en su estado original, a 6,29

Tabla 1. Resultado de Reología de un asfalto virgen

Muestra	Estado	Temperatura de prueba (°C)	Módulo complejo (kPa)	$[G^*]/\sin \delta$ (kPa)	Nivel de deformación (%)	Ángulo de fase (Grado)	Temperatura de falla reológica (°C)
Ekbé (Virgen)	Original	58	2,69	2,70	12	80,4	66,0
		64	1,28	1,27	12	83,7	
		70	0,62	0,63	12	87,1	
	RTFO	64	5,97	6,29	10	71,7	72,8
		70	2,98	3,08	10	75,4	
		76	1,49	1,52	10	79,2	

kPa, cumpliendo también con el valor de 2,2 kPa mínimo en su estado envejecido por RTFO.

Por otro lado, la Tabla 2 presenta los resultados reológicos obtenidos en este mismo asfalto modificado con 2% peso/peso de elastómero SBS radial que presenta las características descritas en la Figura 6.

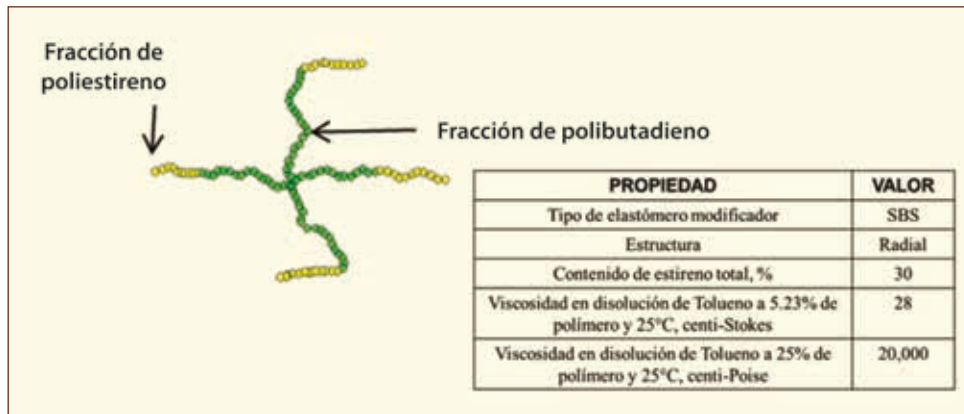


Figura 6. SBS radial que se usó para modificar el asfalto.

Tabla 2. Resultados DSR en asfalto modificado con SBS radial							
Muestra	Estado	Temperatura de prueba (°C)	Módulo complejo (kPa)	$[G^*]/\sin \delta$ (kPa)	Nivel de deformación (%)	Ángulo de fase (Grado)	Temperatura de falla reológica (°C)
Asfalto modificado con SBS a 2,3%	Original	70	2,99	3,16	12	71,9	80,4
		76	1,56	1,60	12	77,0	
		82	0,83	0,84	12	80,7	
	RTFO	82	3,74	4,15	10	64,4	88,1
		88	2,21	2,21	10	69,4	
		94	1,17	1,22	10	73,5	

Como se puede observar en la Tabla 2 del asfalto modificado, su grado de desempeño sube hasta PG 76 viniendo del asfalto virgen que presentó un grado PG 64.

Los ángulos de fase tienen la misma tendencia de ser mayores en estados originales debido a que al envejecer el material por RTFO se endurece la base asfáltica, por lo que el nivel de deformación una vez envejecida disminuye.

Construyendo un poco más sobre estos datos y comparando tanto los resultados obtenidos en las Tablas 1 y 2, los ángulos de fase del asfalto modificado con SBS son menores a los del asfalto virgen, indicando que el material se deforma menos no solo en su estado envejecido por RTFO sino incluso desde el estado original como se puede observar en la figura 7.

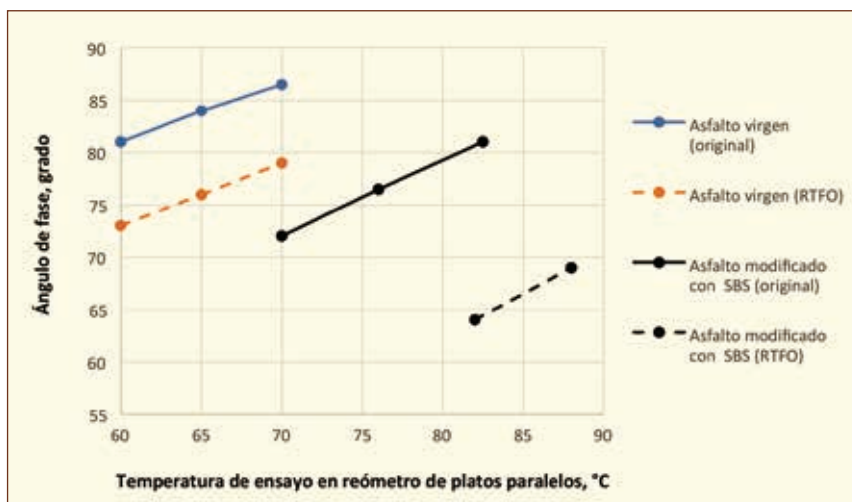


Figura 7. Ángulos de fase en diferentes asfaltos en su estado original y envejecido por RTFO.

## Conclusiones

Dentro de los métodos de envejecimiento conocidos a nivel internacional se encuentra el horno rotatorio de película delgada o RTFO. Su preferencia se ha dado como parte integral del diseño de ligantes asfálticos Superpave para confirmar el grado PG positivo que está relacionado con la resistencia a la formación de roderas.

Sin embargo, la base de diseño del método pretende simular el envejecimiento que sufre dicho ligante cuando se aplica en la elaboración de la mezcla en caliente y durante los procesos de tendido y compactado de dicha mezcla, incorporando elementos adicionales al calor y el tiempo, la circulación de aire y la rotación del material para formar una película delgada que tenga un tratamiento uniforme.

Los resultados que se obtienen permiten explorar la evolución de propiedades reológicas de los asfaltos con objeto de ver sus propiedades como pérdida de masa, rigidez, capacidad de deformación, dureza y flujo; permitiendo ver si el material asfáltico mejora su desempeño una vez envejecido o por el contrario de degrada prematuramente perdiendo niveles considerables de peso.

Este artículo pretende ser un elemento de estudio del técnico en asfaltos que inicia en el uso del equipo RTFO para que no sólo vea las condiciones de operación del equipo sino la relación con su aplicación en experiencias con los procesos reales en la fabricación de pavimentos asfálticos. 🍷

## ¿Quieres profundizar?

- I. ASTM D 2872-12, "Standard test method for effect of heat and air on a moving film of asphalt (Rolling thin-film oven test)", United States.
- II. SP-1 Superpave Performance Graded Asphalt Binder Specification and testing, Asphalt Institute, December 2003.
- III. Yener A. y Hınıslioglu S., "Effects of exposure time and temperature in aging test on asphalt binder properties", International Journal for computational civil and structural engineering, 5 (2), Noviembre 2014. Pag. 112-124.
- IV. Norma N.CMT.4.05.003/02. "Característica de los materiales. Calidad de materiales asfálticos para carreteras". SCT. Diciembre 2002.



# ¿Sabías que...

## ...el asfalto protege el medioambiente de materiales peligrosos?



El asfalto no sólo se emplea por sus propiedades adhesivas e impermeabilizantes, también se usa habitualmente para proteger el entorno de materiales peligrosos. Los vertederos necesitan evitar la filtración de lixiviados (agua con materiales peligrosos disueltos) que puede contaminar las aguas subterráneas. El asfalto es un material impermeabilizante excelente, bien conocido en ingeniería hidráulica desde hace décadas. Gracias a sus propiedades únicas el asfalto se usa rutinariamente para revestir vertederos.

El uso de revestimientos asfálticos es común en muchos países europeos.

Mientras que el diseño del asfalto para carreteras se centra en la durabilidad, la estabilidad y la calidad superficial, el objetivo principal en ingeniería hidráulica es la impermeabilidad. Existen estudios fundamentales de la permeabilidad del asfalto bajo condiciones variables de presión hidráulica y en función del contenido en huecos. El asfalto con un contenido en huecos menor al 3% en volumen es impermeable incluso bajo grandes presiones hidrostáticas. Por esta razón, se usa a menudo en vertederos para prevenir la filtración de lixiviados peligrosos a las aguas subterráneas.

Fuente: [asphaltadvantages.com](http://asphaltadvantages.com)



# Caracterización integral de fatiga en mezclas asfálticas, un enfoque mecanicista

José de Jesús Espinosa,  
Alfonso Díaz  
Ergon® Asfaltos México,  
josedejesus.espinosa@ergon.com

## Introducción

### *Antecedentes y planteamiento del problema*

El agrietamiento por fatiga ha sido una de las dos principales causas de deterioro estructural más estudiadas en mezclas asfálticas alrededor del mundo. Diversos métodos y ensayos de evaluación han sido desarrollados a lo largo del tiempo para poder caracterizar este deterioro con el objetivo de reducir su aparición en los pavimentos asfálticos.

Algunos de los ensayos de laboratorio que existen para evaluar la susceptibilidad al agrietamiento en mezclas asfálticas son la viga a flexión en cuatro puntos (4PBT), viga semi-circular (SCB) en compresión diametral, ensayo de fatiga uniaxial (tensión-compresión y tensión directa, prueba S-VECD), energía de fractura en tensión mediante la geometría en forma de disco DC(T), ensayo fénix

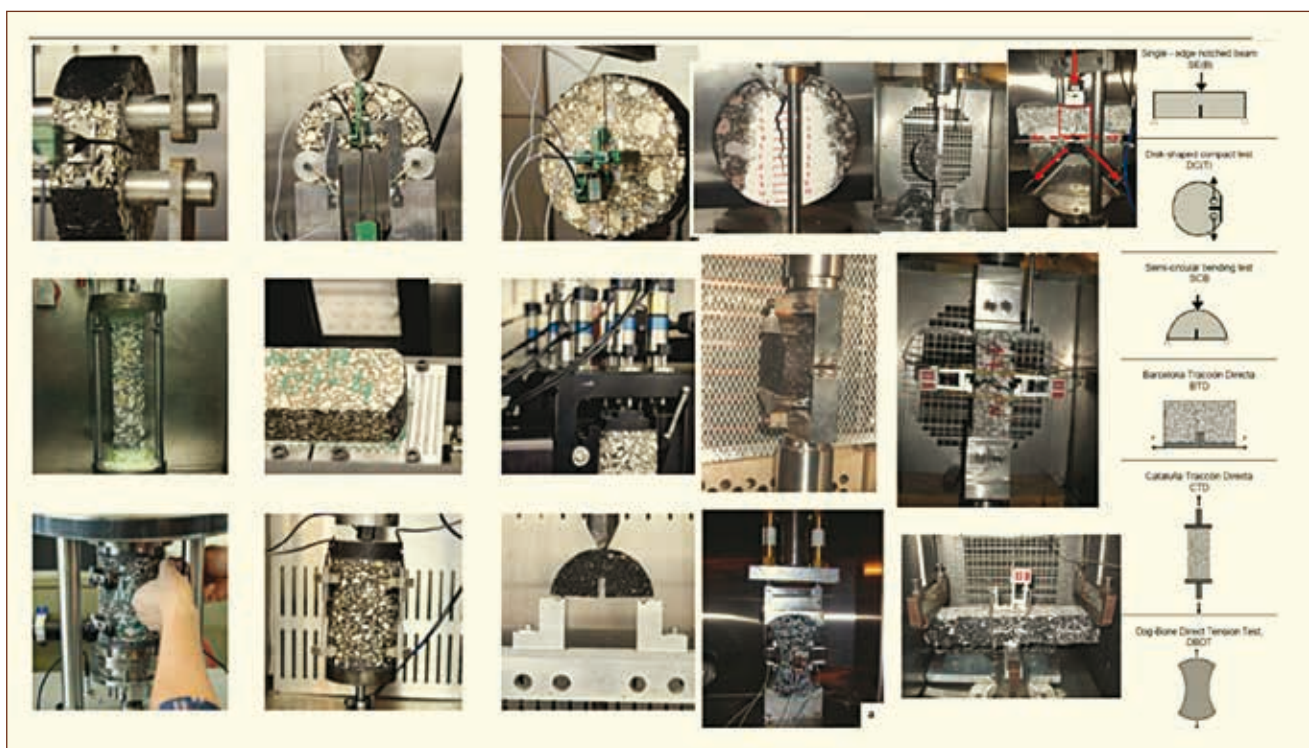


Figura 1. Distintos ensayos de susceptibilidad al agrietamiento (Fatiga, térmico, reflectivo).<sup>[1] [2]</sup>

en tensión directa, ensayo cíclico de barrido de deformaciones (EBADE) en tensión-compresión a deformación controlada, ensayo de tensión directa texas overlay tester, tensión indirecta, viga trapezoidal, ensayo UGR-FACT para la evaluación del comportamiento a fisuración, entre muchos otros (Figura 1). Estos se dividen en dos grandes grupos: uno que caracteriza el comportamiento a fatiga y otro que caracteriza el comportamiento a la fractura (mecánica de fractura), relacionado con las bajas temperaturas y con el agrietamiento reflectivo. En México actualmente se realiza la caracterización de la vida a fatiga en mezclas asfálticas mediante la prueba de flexión en cuatro puntos, en la cual se tienen tiempos de ensaye que van desde algunos días hasta semanas para poder obtener una ley de fatiga a una temperatura y una frecuencia de aplicación de carga.

Una de las características que tienen los diferentes ensayos es que representan de diferente manera las condiciones de sollicitación de esfuerzo y deformación que se presentan en campo. Muchos de estos ensayos tienen fundamentos teóricos más simples que otros. Debido a esa simplicidad en algunos métodos no es posible obtener información mecanicista que ayude a comprender de mejor manera el proceso de fatiga; se vuelve difícil obtener leyes de comportamiento del material bajo distintos niveles de sollicitación.

Por otro lado, debido a la naturaleza de cada ensayo se tienen distintos niveles de variabilidad así como resultados y tendencias distintas. En 2004, Benedetto *et al.*,<sup>[3]</sup> presentaron un estudio de fatiga llevado a cabo mediante distintas pruebas (Figura 2), en el cual se aprecia la diferencia en magnitudes y nivel de variabilidad con respecto a un mismo parámetro, el  $\epsilon_s$ , que es el nivel de deformación en el que el espécimen alcanza un millón de repeticiones, para cada prueba. Por lo anterior surge la pregunta de por qué existe gran variación bajo un mismo criterio de análisis. La respuesta se puede encontrar en las características intrínsecas de cada una de las pruebas inherentes al modo de aplicación de carga; si es a compresión, a tensión directa, a tensión indirecta, a tensión por flexión, así como la configuración misma del espécimen, la frecuencia de aplicación de las cargas, la duración de los pulsos de carga, si es un ensayo homogéneo o no homogéneo, etc. Sin embargo, a lo largo del tiempo se ha comprobado que los en-

sayes homogéneos son los que tienen una menor variación en los resultados al tener una configuración de prueba con esfuerzos y deformaciones distribuidos uniformemente, como lo es el ensayo de tensión uniaxial. Zeiada *et al.*,<sup>[4]</sup> concluyen que los resultados de las pruebas de fatiga utilizando el enfoque fenomenológico son considerablemente influenciados por el tipo de prueba y el modo de carga usado (esfuerzo o deformación).

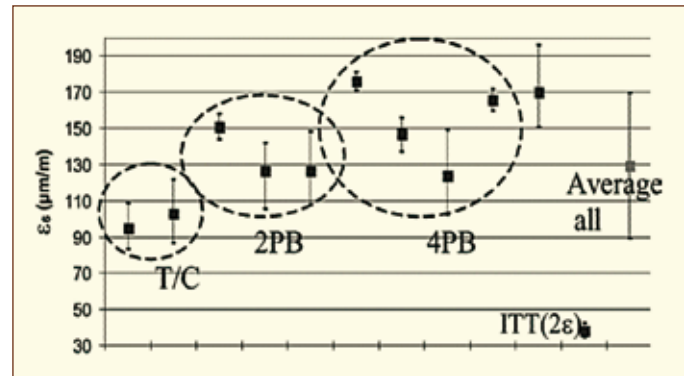


Figura 2. Amplitudes de deformación dada la falla a  $1E + 06$  ciclos en distintos ensayos a fatiga.

## Objetivos

Este estudio tiene como objetivo principal caracterizar el comportamiento de susceptibilidad al agrietamiento por fatiga de distintas mezclas asfálticas, mediante la implementación de la prueba de tensión uniaxial con el enfoque del modelo simplificado de daño continuo visco-elástico (S-VECD) bajo el protocolo de prueba AASHTO TP-107.<sup>[5]</sup> Así como también determinar el comportamiento a fatiga mediante la viga a flexión en cuatro puntos (4PBT), descrito en la norma AASHTO T-321.<sup>[6]</sup>

Complementariamente se evalúan las propiedades visco-elásticas de cada una de las mezclas analizadas mediante la determinación de la curva maestra del módulo dinámico, ensayando todo el rango de frecuencias y temperaturas descritas en el procedimiento de la norma AASHTO T-342,<sup>[7]</sup> con el fin de predecir mediante el modelo S-VECD el comportamiento de las mezclas asfálticas a distintas temperaturas, así como comparar los resultados de fatiga obtenidos mediante la prueba S-VECD y los obtenidos con la prueba 4PBT.

## Metodología experimental

El presente estudio consistió en la evaluación de la susceptibilidad al agrietamiento por fatiga mediante la implementación de la prueba de tensión uniaxial S-VECD, de cuatro diferentes mezclas asfálticas pertenecientes a distintos proyectos llamados para este trabajo proyecto 1 y proyecto 2. Para las mezclas del proyecto 1 se utilizó una combinación 70% de agregado calizo y 30% granito y se usaron 2 ligantes convencionales AC-20 (PG 64-22) de diferente procedencia.

En las mezclas del proyecto 2 se utilizó 100% de agregado virgen del banco “Xometla” con asfalto modificado con polímero SBS (PG 76-22) para una de ellas y una combinación de agregado virgen del banco “Xometla” y 45% de material producto de recuperación de mezcla asfáltica (RAP) con asfalto AC-20 (PG 64-22) para la otra. El RAP fue obtenido del almacenamiento en obra ubicada en la carretera México-Pachuca, el cual fue resultado del fresado y recuperación de un pavimento asfáltico deteriorado. El diseño de las mezclas asfálticas se realizó bajo la metodología de protocolo AMAAC de mezclas densas en caliente que tiene su fundamento en la metodología Superpave. La Tabla 1 recoge las características principales de las mezclas analizadas.

**Tabla 1. Características de las mezclas evaluadas**

Núm. proyecto	ID Mezcla	Agregado TMN = 19 mm	PG	Polímero	% RAP	% Pb (Opt.)	Gmm	%Va (s-VECD)	%Va (E*)	%Va (4PBT)	TSR (%)	HWT Núm. pasadas a la falla (10 mm)
1	PG64-22 ACO012-14	Granito-Calizo	64-22	NO	0	3,5	2,545	4,92	5,34	3,64	75	5,160
	PG64-22 ACO016-14	Granito-Calizo	64-22	NO	0	3,5	2,543	5,15	5,40	3,75	90	6,120
2	PG76-22	Basalto	76-22	SBS	0	6,0	2,591	4,48	5,21	5,2	N/D	N/D
	PG64-22 + 45% RAP	Basalto	64-22	NO	45	3,3 Virgen + RAP (6,0)	2,568	4,06	4,63	6,1	N/D	N/D

### Fabricación de especímenes

El diseño y elaboración de las mezclas se realizó bajo las especificaciones de protocolo AMAAC “Diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño”.<sup>[8]</sup> Se fabricaron primeramente especímenes cilíndricos de 150 mm (6”) de diámetro con el compactador giratorio (100 giros) para calcular los parámetros volumétricos de las mezclas. La gravedad específica compacta fue calculada con base en el procedimiento de volúmenes y pesos de acuerdo con la norma ASTM D 2726/D2726M-14.<sup>[9]</sup> La gravedad específica teórica máxima fue obtenida mediante el método de prueba D2041/D2041M-11.<sup>[10]</sup> La composición granulométrica de

las mezclas del proyecto 1 y proyecto 2, cumplen con los límites de mezclas densas de alto desempeño bajo el protocolo AMAAC.

Para la fabricación de los especímenes de prueba el asfalto y el material pétreo se calentaron por dos horas hasta alcanzar la temperatura de mezclado de acuerdo con las cartas de viscosidad-temperatura específica para cada uno de los asfaltos en estudio.

Las temperaturas de mezclado y compactación del asfalto directo de refinería (PG64-22) fueron  $155 \pm 5$  °C y  $140 \pm 5$  °C, respectivamente mientras que las del asfalto modificado con polímero PG76-22 fueron  $175 \pm 5$  °C y  $160 \pm 5$  °C en el mismo orden. Para la mezcla del proyecto 2 que tiene inclusión de RAP, este se calentó a 110 °C para facilitar su manejo e incorporación a la mezcla.

Para la evaluación de módulo dinámico y de tensión uniaxial (S-VECD) se fabricaron 3 especímenes cilíndricos de 150 mm de diámetro y 175 mm de altura de cada una de las mezclas, para lo cual primeramente se extrajeron núcleos de 100 mm de diámetro por 150 mm de altura y se determinó la curva maestra del módulo dinámico con una longitud de galga ( $L_G$ ) de 101,6 mm. Para el ensayo de tensión uniaxial se realizó el corte de los especímenes a 130 mm de altura con una  $L_G$  de 76 mm.

Las vigas para evaluar fatiga mediante la prueba 4PBT se elaboraron mediante el compactador lineal. Se fabricaron pequeñas losas de 450 mm x 152 mm x 70 mm, de los cuales se realizó el corte para obtener vigas con medidas aproximadas de 380 mm x 63 mm x 50 mm.

### Equipo utilizado y procedimientos de prueba

Se realizaron las pruebas de fatiga 4PBT en un dispositivo servo-neumático de la marca IPC. El equipo utilizado para la evaluación de la prueba de tensión uniaxial S-VECD fue una prensa dinámica UTM-100 de la misma marca, que consta de un sistema de control servo hidráulico y la interacción PC-sistema hidráulico mediante un IMACS (Integrated Multi-Axis Control System). Las curvas maestras de módulo dinámico se realizaron con el equipo UTM-100 James Cox & Sons (Figura 3).

Las curvas maestras del módulo dinámico y del ángulo de fase se determinaron de acuerdo con el procedimiento de prueba descrito en la norma AASHTO T-342, evaluando 3 especímenes por grupo a temperaturas de -10, 4, 20, 37 y 54 °C y frecuencias de aplicación de carga de 25, 10, 5, 1, 0,5 y 0,1 Hz.

Para obtener la ley de fatiga de cada una de las mezclas se evaluaron al menos 6 vigas a diferentes niveles de deformación (ensaye en control de deformación) mediante el procedimiento de prueba AASTHO T-321, el criterio de falla utilizado fue el criterio clásico (50% de reducción de la rigidez inicial). El tipo de onda usada fue de tipo sinusoidal simétrica. En el caso necesario de extrapolación de resultados de la prueba 4PBT, se realizó mediante el ajuste de una función de supervivencia de weibull de tres etapas como se indica en el procedimiento descrito por Prowell *et al.*<sup>[11]</sup>

La prueba de fatiga uniaxial fue ejecutada en modo tensión-compresión con control de deformación, conocido como ensayo COS (*controlled on-specimen*)

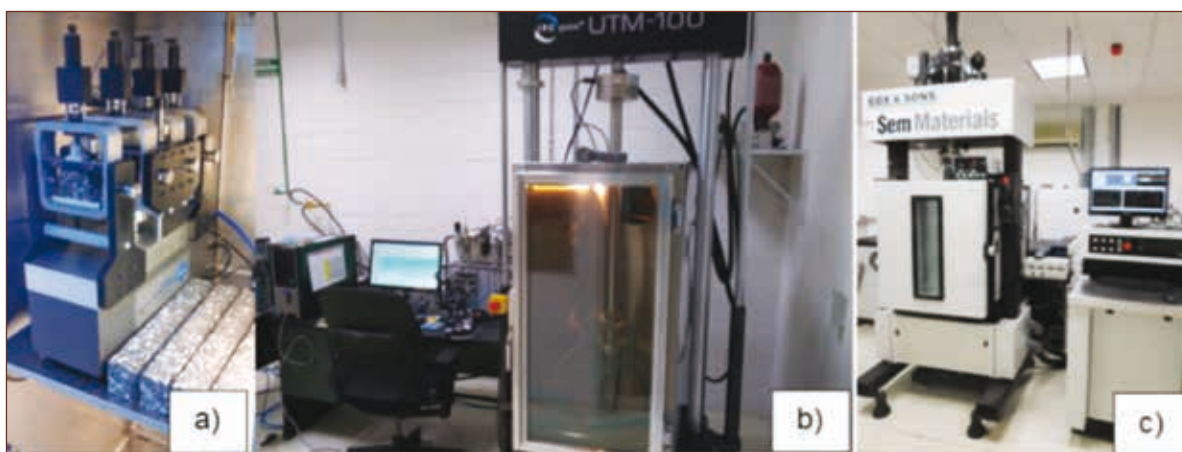


Figura 3. Equipos utilizados: a) Dispositivo 4PBB IPC, b) UTM-100 IPC, c) UTM-100 James Cox & Sons.

usando la prensa UTM-100 a una temperatura de 18 °C y 10 Hz de frecuencia de carga (Figura 6). Los niveles de deformación utilizados fueron elegidos con base a la recomendación de Kim *et al.*,<sup>[12]</sup> en base a la rigidez de cada mezcla asfáltica. Se llevó a cabo el análisis de los resultados usando el enfoque S-VECD.

## Análisis y discusión de resultados

### Curvas maestras del módulo dinámico

El ajuste de las curvas maestras se hizo mediante una función polinomial de segundo orden (Ecuación 3), a una temperatura de referencia de 20 °C.

$$\log(a_T) = a(T_{ref}^2) + b(T_{ref}) + c \quad (1)$$

En donde  $a_T$  es el factor de cambio como función de la temperatura,  $T_{ref}$  es la temperatura de referencia,  $a$ ,  $b$  y  $c$  son coeficientes de segundo orden polinomial.

En la Figura 4 se muestran las curvas maestras de módulo dinámico y ángulo de fase, de las cuales se puede observar que el comportamiento del módulo de rigidez visco-elástico de las mezclas asfálticas es muy similar a temperaturas bajas y/o frecuencias altas así como en el rango de temperaturas intermedias excepto para la mezcla asfáltica PG 76-22. Por otro lado a temperaturas altas y/o frecuencias bajas, las mezclas asfálticas del proyecto 1 (ACO012-14 y ACO016-14) tienen la capacidad de retener mayormente el módulo dinámico. De las curvas maestras del ángulo de fase se puede observar que a frecuencias intermedias a altas, la mezcla con el contenido de RAP presenta valores de ángulo de fase inferiores, sin embargo a temperaturas mayores y/o frecuencias bajas la influencia de los agregados granito-calizo toma mayor relevancia en las mezclas del proyecto 1 al presentar un ángulo de fase menor.

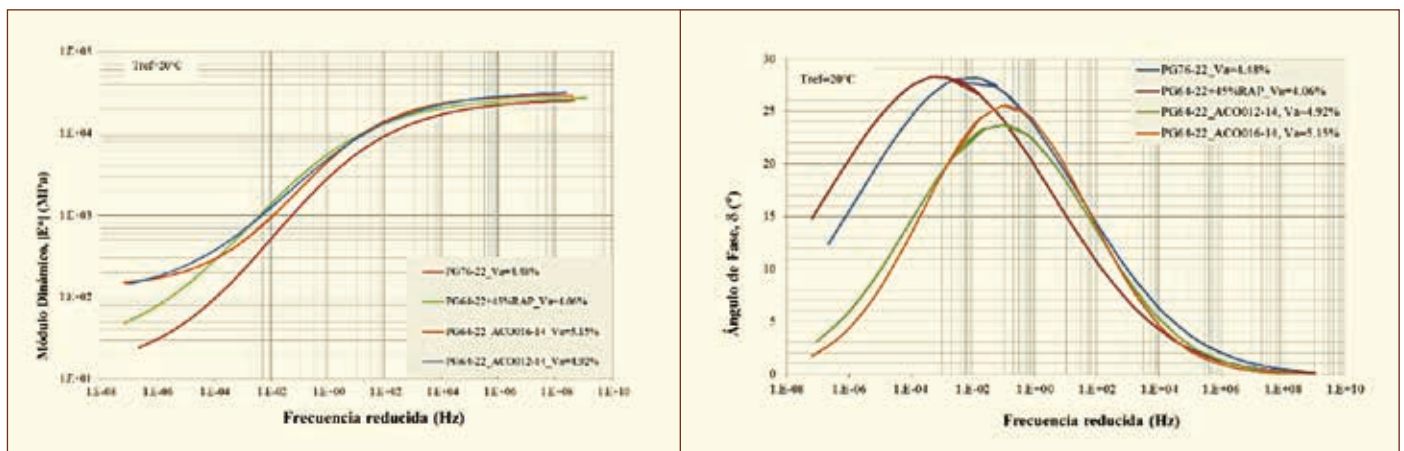


Figura 4. Curvas maestras del módulo dinámico y del ángulo de fase (de izquierda a derecha).

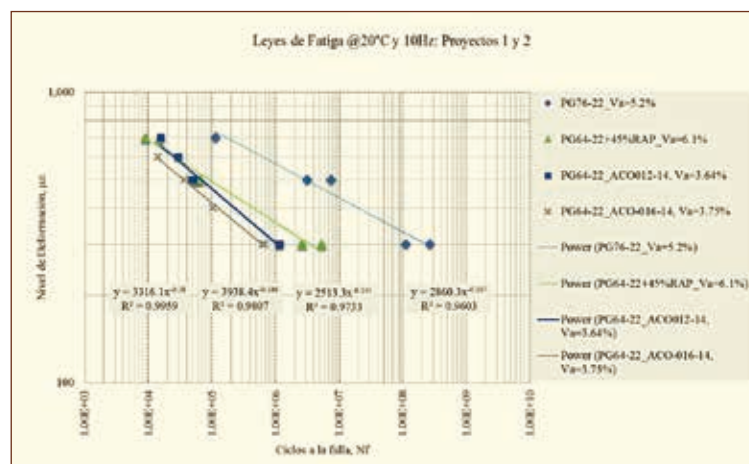


Figura 5. Leyes de fatiga 4PBT: Proyectos 1 y 2.

### Leyes de fatiga en vigas a flexión en cuatro puntos

Se determinaron las leyes de fatiga a una temperatura de 20 °C y una frecuencia de carga de 10Hz, mediante carga de tipo sinusoidal sin periodos de reposo. Respecto al proyecto 1 debe considerarse que estas mezclas asfálticas tienen un contenido óptimo de asfalto de 3,5% debido a la baja absorción del agregado utilizado en ese proyecto, además de la rigidez superior que alcanzaron con dicho porcentaje de asfalto, lo cual limita en gran medida su desempeño a fatiga a nivel mezcla asfáltica. La mezcla elaborada con asfalto modificado con polímero PG 76-22, tiene una vida superior al resto de las mezclas analizadas; para esta mezcla fue necesario realizar la extrapolación a la falla para el nivel de deformación de 300 me.

### Fatiga en tensión uniaxial (S-VECD)

Uno de los resultados de la metodología de prueba S-VECD es el valor normalizado del módulo pseudo-secante (pseudo rigidez, C) vs el parámetro de daño (S). Estos parámetros representan la integridad del material y el nivel de daño durante el proceso de prueba, respectivamente. Para cada mezcla una curva puede ser determinada independientemente de las condiciones de las solicitaciones (esfuerzo o deformación) y de la temperatura de prueba, obteniendo así la *curva característica de daño*.

Las curvas características de daño fueron determinadas por medio del Software Alpha-Fatigue 3.1.5

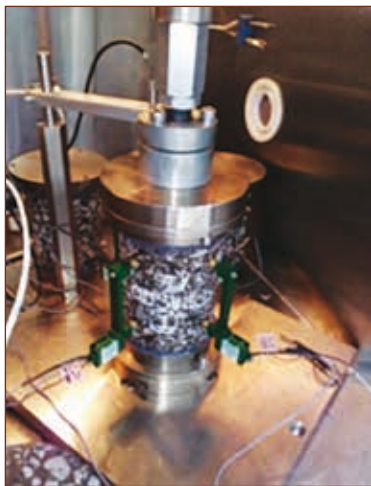


Figura 6. Prueba de Fatiga Uniaxial en Tensión-Compresión (s-VECD), modo de control cos.

desarrollado por el Dr. B. Shane Underwood y el Dr. Y. Richard Kim.<sup>[13]</sup> La Figura 7 muestra las curvas características de daño de las cuales se observan tendencias de reducción de la pseudo-rigidez C respecto al parámetro de daño S similares para cada uno de los proyectos. Teóricamente, mientras más arriba y a la derecha se encuentre la curva de daño, la mezcla asfáltica presenta un mejor desempeño a fatiga en este espacio, sin embargo, mediante la relación que existe entre el criterio de falla  $G^R$  y  $N_f$ , se pueden observar tendencias más acercadas al enfoque tradicional de daño por fatiga. El enfoque de falla  $G^R$  se define como la tasa de incremento que se genera de la energía de deformación disipada por ciclo de prueba, en la cual se genera una etapa de estabilización en donde dicha tasa se mantiene casi constante.<sup>[14]</sup> Este enfoque fue propuesto por Zhang<sup>[15]</sup> en el cual se demuestra que está altamente correlacionado con el número de ciclos a la falla y no es sensible al cambio de temperatura.

$$G^R = \frac{\int_0^{N_f} W_C^R}{N_f} \quad (2)$$

En donde es la pendiente de la tasa de cambio de la energía disipada de pseudo deformación, es la energía disipada de las pseudo deformaciones y es el número de ciclos a la falla.

La Figura 8 muestra la relación que existe entre el parámetro de falla  $G^R$  y el número de ciclos a la falla ( $N_f$ ), en el cual se aprecia que la mezcla asfáltica PG 76-22 tiene una vida a fatiga mayor al resto

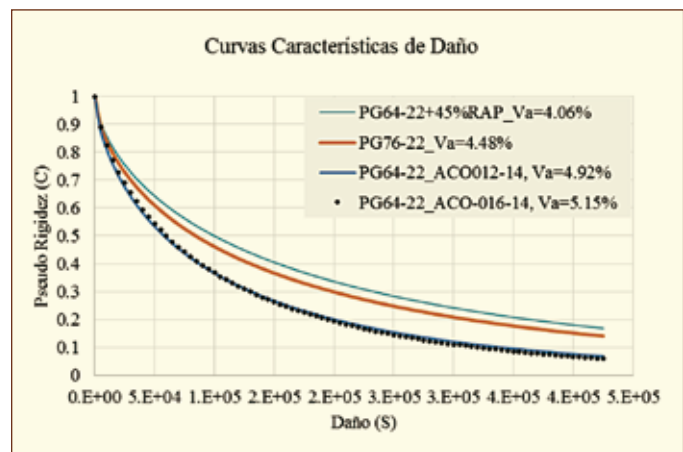


Figura 7. Curvas características de Daño (C vs S).

de mezclas asfálticas analizadas. Para este estudio, aunque en el espacio  $G^R$  vs  $N_f$  el resto de las mezclas asfálticas analizadas presentan un desempeño similar, la predicción de la vida a fatiga tradicional (leyes de fatiga) muestra que existen diferencias marcadas entre cada una de las mezclas analizadas (Figura 9), teniendo nuevamente un mejor desempeño la mezcla asfáltica elaborada con asfalto modificado con polímero PG 76-22. El menor desempeño a fatiga en todos los enfoques lo obtuvo la mezcla asfáltica PG 64-22\_ACO016.

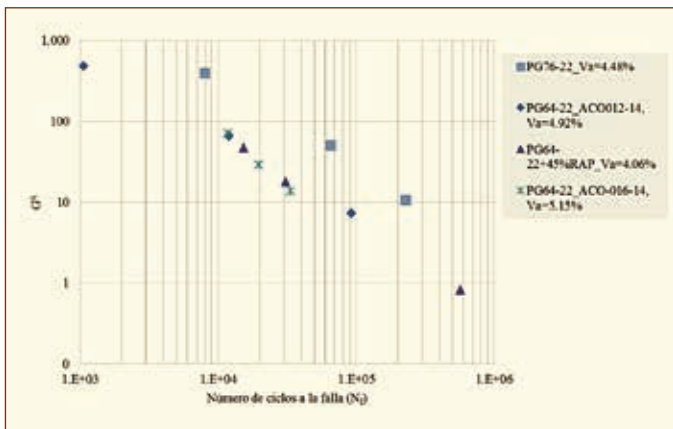


Figura 8. Parámetro  $G^R$  vs número de ciclos a la falla ( $N_f$ ).

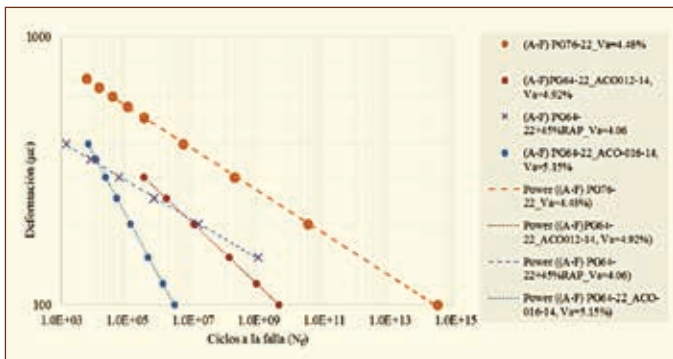


Figura 9. Leyes de fatiga (predicción por deformación @20 °C).

### Leyes de Fatiga 4PBT vs S-VECD

Se realizó la comparación de las leyes de fatiga determinadas experimentalmente de la prueba 4PBT y aquellas obtenidas con el software Alpha-Fatigue mediante el enfoque del modelo S-VECD. De la Figura 10 se observa que las pendientes de las leyes de fatiga son distintas en cada metodología de prueba,

sin embargo en cuanto al desempeño de las distintas mezclas analizadas se observa que las tendencias son muy similares, dejando de manifiesto que se tienen resultados congruentes de las mezclas asfálticas en la prueba 4PBT y la predicción de la fatiga tradicional mediante la prueba S-VECD. Esto permite por un lado la categorización (*ranking*) entre mezclas asfálticas, y por otro lado la obtención de las características mecanicistas de las mezclas asfálticas con menores tiempos de ensayo.

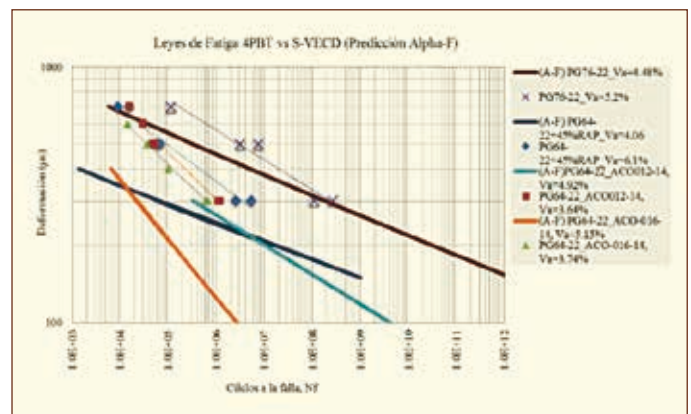


Figura 10. Leyes de fatiga tradicionales 4PBT (experimental) vs S-VECD (predicción en software Alpha-Fatigue) @20 °C.

### Límites de resistencia a fatiga 4PBT vs S-VECD

El límite de resistencia a fatiga (FEL), es el nivel de deformación por debajo del cual no ocurre el fenómeno de fatiga. En pavimentos de larga duración, este concepto juega un papel fundamental para evitar la aparición de agrietamiento de abajo hacia arriba debido al daño inducido por fatiga. En la práctica se sugiere que factores como el contenido de asfalto, la reología del asfalto, el tipo de material fino, la aplicación de periodos de reposo, la temperatura y la frecuencia de carga tienen un gran efecto en el valor de FEL.<sup>[16]</sup>

Para la determinación del límite de resistencia a fatiga mediante la prueba 4PBT, se realizó de acuerdo al ajuste de una función de probabilidad representada en la ecuación (3), y mediante el cálculo de la banda inferior al 95% de nivel de confianza, en el cual se toma el valor de deformación que producen  $5,00 \times 10^7$  ciclos de ensayo.



$$\text{Límite inferior de predicción} = \hat{y}_0 - t_{\alpha} s \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{S_{xx}}} \quad (3)$$

En donde  $t_{\alpha}$  es el valor de la distribución t (de Student) para  $n - 2$  grados de libertad,  $s$  es la desviación estándar calculada del análisis de regresión,  $n$  el número de ensayos,  $S_{xx}$  es la sumatoria de  $(x_0 - \bar{x})^2$ ,  $x_0$  corresponde al valor de log 50 000 000 = 7,69897 y  $\bar{x}$  es la media de los valores de vida a fatiga. Más detalles sobre las consideraciones del valor estimado de FEL se dan en Prowell *et al.*<sup>[11]</sup>

El software Alpha-Fatigue permite la predicción de los valores de FEL con un enfoque similar al obtenido mediante el procedimiento de prueba anteriormente descrito; nivel de deformación para un no. de ciclos de  $5,00E^{07}$  con la aplicación del modelo de daño continuo. Debido al modelo de predicción S-VECD, y la caracterización visco-elástica del material (curva maestra), es posible obtener la predicción de valores de FEL a distintas temperaturas (Figura 11), así como las leyes de fatiga tradicionales ( $e_0$  vs  $N_f$ ) a distintas temperaturas y frecuencias de carga.

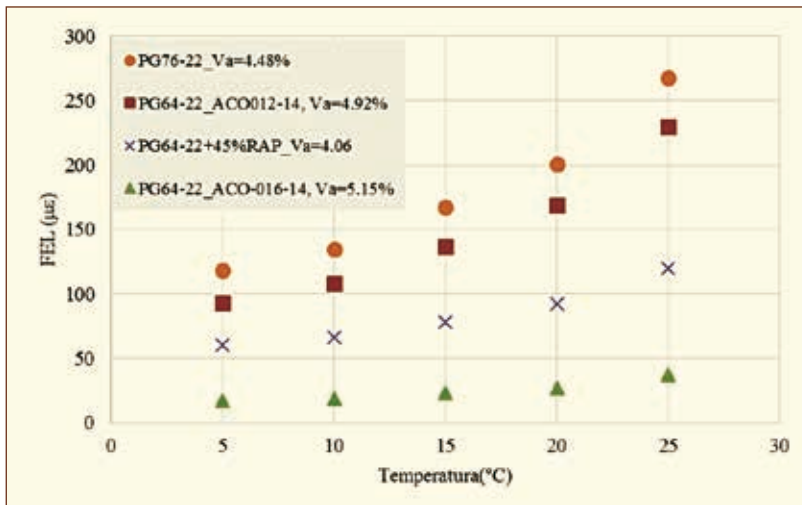


Figura 11. Predicción de límites de resistencia a fatiga a distintas temperaturas (S-VECD).

Los valores de FEL obtenidos mediante las dos metodologías tienen una tendencia adecuada en tres de las cuatro mezclas analizadas. Desde el punto de vista de los autores, el criterio de falla clásico de la prueba 4PBT, por su enfoque empírico, puede llegar a subestimar el comportamiento mecánico de reducción de rigidez de las mezclas asfálticas durante el historial de aplicación de carga, lo que resulta en la obtención de una ley de Fatiga menor y por tanto un valor de FEL menor. Para la mezcla ACO 012-14, no obstante que su curva de reducción de rigidez en la primera etapa cae a una tasa mayor que la mezcla ACO 016-14, al llegar a la segunda etapa mantiene la rigidez a flexión mayormente (Figura 12). Este desempeño a fatiga superior no lo refleja el criterio de falla clásico utilizado en la prueba 4PBT, sin embargo, en la predicción del modelo S-VECD que utiliza un enfoque basado mayormente en las propiedades mecánicas durante el ensayo, se obtiene un valor de FEL mayor.

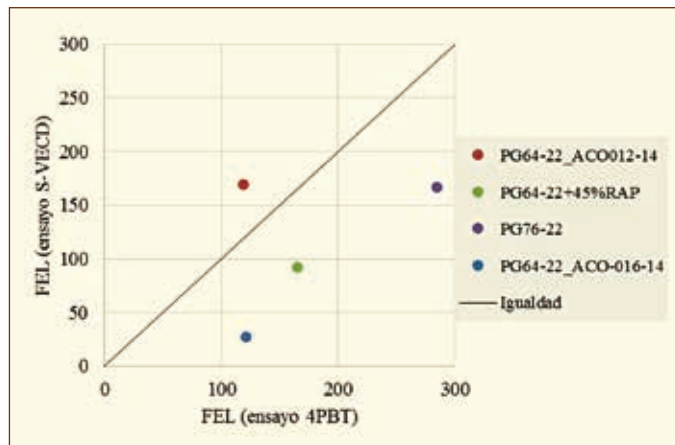


Figura 12. Valores de FEL, 4PBT vs S-VECD.

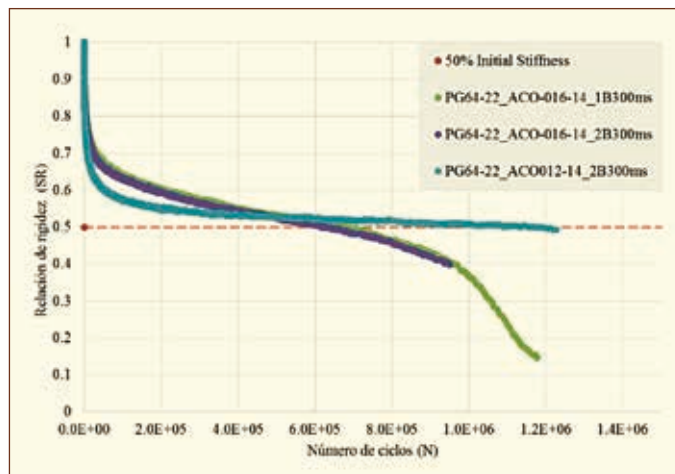


Figura 13. Curvas de reducción de rigidez en la prueba 4PBT @300 me, 20 °C y 10 Hz (PG64-22\_ACO016 vs PG64-22\_ACO012).

## Conclusiones y siguientes pasos


Mediante la prueba de tensión uniaxial es posible caracterizar la susceptibilidad al agrietamiento por fatiga de las mezclas asfálticas, así como predecir su desempeño en un rango amplio de temperaturas y de frecuencias de aplicación de carga en un tiempo corto de dos a tres días de ensayo, a través del enfoque S-VECD, el cual es un modelo para determinar su resistencia a fatiga.

De las mezclas asfálticas analizadas de dos distintos proyectos se puede decir que en cada una de las pruebas de fatiga (4PBT y S-VECD), se observan tendencias de desempeño de las mezclas similares. La mezcla asfáltica con asfalto modificado con polímero PG 76-22, tiene el mejor comportamiento a fatiga en ambos métodos de prueba, respecto al resto de mezclas analizadas. La mezcla asfáltica elaborada con asfalto PG 64-22 + 45% RAP presenta mejor desempeño que la mezcla ACO 016-14 elaborado con asfalto PG 64-22 debido principalmente a un menor contenido de asfalto óptimo requerido por esta última mezcla asfáltica

( $Pb_{opt}$  de 3,3% de la mezcla ACO 016-14 vs  $Pb_{opt}$  de 6,0% de la mezcla PG 64-22 + 45% RAP).

De las mezclas asfálticas analizadas, la mezcla PG 64-22\_ACO 016 presenta el menor desempeño a fatiga mediante las dos pruebas de fatiga llevadas a cabo en este estudio.

Debido a la cantidad de ensayos y a la relativa corta duración de los mismos, la prueba de tensión uniaxial mediante el enfoque S-VECD representa una alternativa viable para establecer los parámetros de control y verificación de calidad de las mezclas asfálticas.

En una futura experimentación se requiere evaluar un mayor número de tipos de mezclas asfálticas con ambos criterios de fatiga para establecer una mejor relación entre las dos pruebas, así como la evaluación de mezclas asfálticas colocadas en obra para validar los resultados de laboratorio con las mezclas de campo colocadas en México mediante el enfoque S-VECD. 

## ¿Quieres profundizar?

- [1] NCHRP, TRB, Texas A&M TI, «Experimental Design for Field Validation of Laboratory Tests to Assess Cracking Resistance of Asphalt Mixtures,» Texas A&M Transportation Institute, Newport Beach, 2015.
- [2] G. A. Valdés, «Evaluación del proceso de fisuración en las mezclas bituminosas mediante el desarrollo de un nuevo ensayo experimental —Ensayo Fénix—,» UPC, Barcelona, 2011.
- [3] H. Di Benedetto, C. De la Roche, H. Baaj, A. Pronk y R. Lundström, «Fatigue of Bituminous mixtures,» Materials and Structures, vol. Vol. 37, pp. pp. 202-216, 2004.
- [4] W. A. Zeiada, M. I. Souliman, K. E. Kaloush, M. Mamlouk y B. S. Underwood, «Comparison of Fatigue Damage, Healing, and Endurance Limit using Beam and Uniaxial Fatigue Tests,» de 93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., 2014.
- [5] AASHTO, Standard Method of Test for Determining the Damage Characteristic Curve of Asphalt Mixtures from Direct Tension Cyclic Fatigue Tests, TP 107-14, AASHTO, 2014.
- [6] AASHTO, Standard Method of Test for Determining the Fatigue Life of Compacted Asphalt Mixtures Subjected to Repeated Flexural Bending, T 321-14, AASHTO, 2014.
- [7] AASHTO, Standard Method of Test for Determining Dynamic Modulus of Hot Mix Asphalt (HMA), T 342-11 (2015), AASHTO, 2015.
- [8] Asociación Mexicana del Asfalto, «Diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño,» AMAAC, México, 2013.
- [9] ASTM, «Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Non-Absorptive Compacted Bituminous Mixtures,» ASTM International, West Conshohocken, 2014.
- [10] ASTM, «Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures,» ASTM International, West Conshohocken, 2011.
- [11] B. Prowell, E. R. Brown, R. M. Anderson, J. Daniel, A. Swamy, H. Von Quintus, S. Shen, S. Carpenter, S. Bhattacharjee y S. Maghsoodloo, «Validating the Fatigue Endurance Limit for Hot Mix Asphalt,» Transportation Research Board, Washington, D.C., 2010.
- [12] Y. R. Kim, S. Pape, D. Mensching y A. Gopalipour, «AASHTO TP 107: AMPT Cyclic Fatigue, Proposed Revisions,» de Asphalt Mixture ETG, Fall River, MA, 2016.
- [13] InstroTek, Inc., «Asphalt Pavement Hierarchical Analysis Toolbox-Fatigue Software,» Raleigh, 2014.
- [14] A. Norouzi, Investigation of Specimen Geometries for the VECD Model and Calibration of the LVECD Program for Fatigue Cracking Performance of Asphalt Pavements, North Carolina: NCU, 2015.
- [15] J. Zhang, Development of Failure Criteria for Asphalt Concrete Mixtures under Fatigue Loading, Raleigh, NC: North Carolina State University, 2012.
- [16] B. S. Underwood y Y. R. Kim, «Analytical Techniques for Determining the Endurance Limit of Hot Mix Asphalt Concrete,» de International Conference on Perpetual Pavement, Columbus, OH, 2009.

EMULSIFICANTES ASFÁLTICOS  
ADITIVOS PARA MEZCLA TIBIA  
ADITIVOS DE ADHERENCIA  
MODIFICADORES REOLÓGICOS  
ENTRECRUZANTE DE POLÍMEROS  
ADITIVOS RAP



(33) 3284-1000 eXT. 1020, 1044, 1071.

ventas@quimikao.com.mx

www.quimikao.com.mx



## LABORATORIO MEZCLAS ASFÁLTICAS LMA



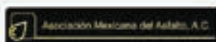
UDLAP | Consultores

### LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS:

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

### 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](https://www.facebook.com/udlapconsultores) · [@UDLAPConsult](https://www.instagram.com/UDLAPConsult) · [LinkedIn/udlapconsultores/](https://www.linkedin.com/company/udlapconsultores/)

UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS PUEBLA

# Material plástico y vegetal para una vida más larga

Kristina Smith  
Revista World Highways

Las dos tecnologías de asfalto presentadas este año provienen de fuentes casi opuestas. Una surge del desperdicio de plástico creado por el hombre que ha plagado nuestro planeta; la otra fuente proviene de una planta. Sin embargo, las dos tecnologías han sido creadas con los mismos objetivos: para aumentar la vida de las carreteras, ahorrando costos y reduciendo finalmente el impacto de la construcción de carreteras.

Una colaboración entre dos compañías italianas ha creado una forma de procesar el plástico difícil de reciclar y convertirlo en un super modificador de asfalto. Iterchimica, especialista en un modificador de asfalto y Directa Plus especialista en grafeno han patentado un aditivo llamado Eco Pave del que Iterchimica dice que puede aumentar el promedio de vida de una superficie de carretera de seis a siete años para que dure entre 12 y 14 años.

“Hemos desarrollado un modificador que se agrega a un proceso seco, que puede aumentar el rendimiento de durabilidad de entre un 70 y 110%”, dijo Alessandro Giannattisio, director de Iterchimica. “Hemos estado trabajando en este proyecto durante tres años y conseguimos la aprobación de nuestra patente a finales de octubre”.

El grafeno es un material maravilloso. Fue descubierto relativamente

hace poco —aproximadamente hace una década— y es el material más potencialmente conocido a nivel mundial con una conductividad que es mejor que el cobre, hecho de una capa de carbón que tiene el espesor de un átomo.

Las aplicaciones potenciales del grafeno oscilan desde super capacitadores a equipo deportivo y a pantallas irrompibles para teléfonos inteligentes (smartphones). Directa Plus que produce una variedad de productos basados en grafeno bajo su marca Graphen Plus (G+), describe el material como “un nanomaterial que, cuando es procesado y mezclado con otros materiales, mejora significativamente su rendimiento”.

Al trabajar con la Bocconi University of Milan, Iterchimica y Directa Plus han desarrollado una forma de combinar los desperdicios de plástico con una pequeña cantidad de grafeno para crear un aditivo que se agrega a la mezcla caliente con el agregado. “El proceso utiliza plástico difícil de reciclar el cual normalmente tiene que ser quemado o colocado dentro de un vertedero”, dijo Alessandro Giannattisio.

Iterchimica manifiesta que el asfalto de Eco Pave tiene mejor elasticidad y fuerza que una mezcla caliente estándar, particularmente bajo grandes cargas. La conductividad termal del grafeno mejora el desarrollo de las

*Ha nacido en Italia un nuevo super modificador hecho de desperdicio de plástico y un renovador a base de soya.*

mezclas de asfalto, haciéndolas menos probable a suavizarse en climas calientes y también menos probable que se agrieten y endurezcan en climas de temperaturas bajas.

Las propiedades de Eco Pave también lo hacen un buen material para reparar baches y otras tareas de mantenimiento. Y la compañía también afirma que el material será 100% reciclable.

Actualmente Iterchimica ha realizado pruebas de laboratorio muy extensas y ha construido algunas secciones de prueba en carreteras utilizando Eco Pave. Ahora ANAS, la autoridad nacional de carreteras de Italia, esta interesada en el aditivo y hay planes para utilizarlo en varias carreteras nacionales en Italia.

En Italia existe un gran interés en la “tecnología ecológica” que nos permite usar materiales reciclados. Esto se logra y proporciona un gran rendimiento mejorado también.

## Biorestor

En 2004 el dueño de la compañía de pavimentos Mike Freisthler patentó un nuevo material de mantenimiento llamado Biorestor. El producto tiene como base granos de soya, un cultivo que comúnmente se obtiene en Ohio y en muchas otras áreas en el medio oeste y en las regiones Delta de los Estados Unidos.

Freisthler vendió su negocio de pavimentos en 2009 para concentrarse en la conservación de pavimentos. Biorestor ha sido utilizado en seis estados de Estados Unidos. De acuerdo al fabricante, tres millones de m<sup>2</sup>/año son aplicados en total en Estados Unidos en las carreteras y pistas de aeródromos. El estado de Tennessee aplicó Biorestor en 965 km de carreteras en 2017 con 805 km planeados para 2018.

Ahora las autoridades de caminos de otros países están interesadas en probar el producto. De acuerdo con Simon Everett, quien trabaja promoviendo Biorestor fuera de los Estados Unidos dice que las pruebas están en curso o bajo consideración en Nueva Zelanda, Australia, Singapur, Emiratos Arabes Unidos, Qatar y China.

“La tecnología es transferible”, dice Everett, “puede ser producida en cualquier lugar donde se cultiven los granos de soya. También se puede utilizar la flor de girasol o la colza. Se trata de utilizar productos vegetales”.

Aunque el concepto de conservación del pavimento y el tratamiento superficial de carreteras para que duren más tiempo está bien establecido en la mayoría de los estados de Estados Unidos, no siempre es comprensible en cualquier otra parte. Everett dice que el ha pasado el último año tratando de transmitir el men-

saje extensamente en Nueva Zelanda, donde él esta establecido.

El asfalto empieza a deteriorarse, en gran medida debido a la oxidación, a partir del momento que se coloca, dice Everett. “El principio acerca de la conservación se refiere al aseguramiento en el que el asfalto está en balance con respecto a su composición química. Con la luz solar los componentes de malteno en el asfalto se deterioran o se salen de balance y el producto asfáltico envejece. Lo que Biorestor o cualquier otro producto de conservación hace, es lograr que el asfalto sea mantenido en su forma óptima”.

Más del 95% de Biorestor es hecho a partir de componentes derivados de productos vegetales, llamados materiales basados en cítricos y aceite de soya con una pequeña cantidad de copolímero de estireno butadieno. Cuando es aplicado a una superficie



*Biorestor utiliza aceite de soya y otros productos biológicos para proteger y rejuvenecer las superficies de los pavimentos. A Interchimica le fue otorgada la patente por su nuevo aditivo ecológico que emplea grafeno para mejorar el rendimiento del pavimento.*

de carretera penetra entre 10 y 20 mm en el asfalto, de acuerdo al fabricante, impulsando su contenido de malteno.

Biorestor pretende aumentar las vidas de las carreteras de entre tres a cinco años haciendo el pavimento más flexible y reduciendo la permeabilidad, la desintegración y el agrietamiento. También puede ser utilizado en pavimentos más viejos como un rejuvenecedor, dice la compañía, para reemplazar los maltenos perdidos por la luz ultravioleta y el daño de la humedad.

Biorestor también ha desarrollado un producto para el tratamiento de las uniones longitudinales en los pavimentos donde las fallas inicialmente ocurren con frecuencia, donde se reduce el efecto capilar de humedad en las uniones, donde el asfalto tiende a ser menos denso.

Lo ideal, es que se aplique un tratamiento de conservación de pavimento inmediatamente después de que el asfalto haya sido colocado y con la posibilidad de hacerlo poste-

riormente en 5 años. Algunas autoridades prefieren tratar sus caminos aproximadamente tres años después de haber colocado el asfalto y posteriormente lo hacen en intervalos. Los mercados que ya reconocen los beneficios de las normas de conservación de pavimentos han sido las más receptivas a la idea de Biorestor.

En Singapur la expectativa de vida de una carretera principal es solamente de seis años, dice Everett, ya que la intensa luz solar y el calor causan un rápido envejecimiento de los pavimentos. En Qatar, las superficies de asfalto recientemente colocadas no pueden estar sin tratamiento hasta la celebración de la Copa Mundial en 2022.

“Qatar, en particular está muy concentrado en el reciclaje pues ellos tienen que importar todo. Si Biorestor puede extender la vida de las carreteras, esto resulta muy positivo, y el hecho de que es sustentable representa “la cereza del pastel” para Singapur”.

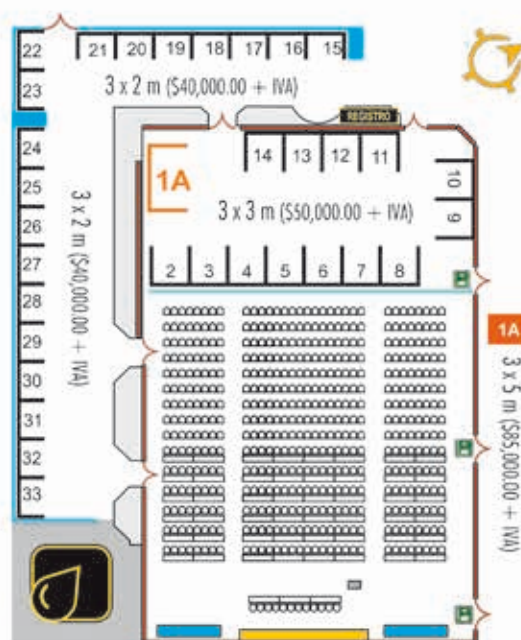
Adquiere tu stand en el...



**Seminario  
Internacional del Asfalto**  
Retos en la preservación  
de pavimentos asfálticos

Tijuana, B.C., del 4 al 6 de octubre 2018

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





Asociación Mexicana  
del Asfalto A.C.

# QUINTA REUNIÓN ACADÉMICO ESTUDIANTIL AMAAC

TEPIC, NAYARIT, 6 Y 7 DE SEPTIEMBRE DE 2018

## CONVOCATORIA

### INVITACIÓN:

La Asociación Mexicana del Asfalto, (AMAAC), a través del Consejo Directivo y el Comité Organizador, tiene el privilegio de invitar a los estudiantes de Ingeniería Civil, carreras afines, maestría y doctorado interesados en la fabricación y empleo de materiales asfálticos a participar en la Quinta Reunión Académico-Estudiantil AMAAC.

### OBJETIVO:

Crear un acercamiento e interés de los jóvenes con el área de los pavimentos asfálticos. Con la finalidad de mejorar la calidad en la construcción y conservación de nuestras vías terrestres.

### TEMÁTICA:

Mezclas asfálticas, agregados, asfaltos, emulsiones, aditivos y modificadores, estructura de pavimentos flexibles e impacto ambiental.

### ACTIVIDADES:

- **Trabajos técnicos:** Se invita a las universidades y a sus estudiantes a presentar trabajos técnicos sobre la temática, quedando en libertad los autores de darle el enfoque que considere adecuado. Los interesados deben enviar sus trabajos totalmente terminados a más tardar el 3 de agosto, a [tecnico4@amaac.org.mx](mailto:tecnico4@amaac.org.mx) a fin de ser evaluados. El tiempo de presentación durante el evento depende de los trabajos aceptados. Esta notificación será el 24 de agosto.
- **Jeopardy:** Se llevará a cabo el viernes 7 de septiembre. Los interesados deberán registrarse al correo electrónico: [tecnico4@amaac.org.mx](mailto:tecnico4@amaac.org.mx) Los equipos estarán conformados por 5 participantes. Al momento de registrar al equipo, se proporcionará el temario de estudio. La dinámica comprende asfaltos, mezclas asfálticas y agregados pétreos. La fecha límite para registro de equipos es el viernes 24 de agosto. Sólo se puede registrar un equipo por escuela.
- **Taller de diseño de mezclas asfálticas:** cada participante inscrito a la Cuarta Reunión Académico Estudiantil AMAAC recibirá una guía de estudio sobre diseño de mezclas asfálticas en caliente de granulometría densa de alto desempeño. El 6 de septiembre se llevará a cabo un taller de diseño con gente experta en el tema, donde se resolverán las dudas que se tengan de acuerdo a la guía de estudio entregada.
- **Examen de certificación en diseño de mezclas asfálticas en caliente:** después de haber asistido al taller de diseño, todos los estudiantes que así lo deseen podrán registrarse el jueves 6 de septiembre por la tarde para presentar el examen de certificación en diseño de mezclas asfálticas en caliente el viernes 7 de septiembre, al finalizar el evento. Si la calificación es aprobatoria (80), la Asociación entregará un certificado como diseñador de mezclas asfálticas en caliente de granulometría densa de alto desempeño AMAAC-IMT.



# Sacar partido de la información

Mark Hurd  
Lars Nyberg  
Tomado del libro *El Factor Valor*  
de Panorama editorial

## ¿Se ha dado cuenta del verdadero valor del recurso más importante de la empresa?

Tenemos que sacar más valor de lo que tenemos. Rebajar costos es una espada de doble filo. Tenemos que ser delgados para triunfar. Pero necesitamos invertir para innovar, para evolucionar, para competir y para dirigir.

Así que necesitamos cambiar las reglas. ¿Qué es lo único que yo tengo y mis competidores no? ¿En qué cosa que mis competidores no pueden copiar y puedo invertir? La respuesta: **INFORMACIÓN**.

Construir una lavadora menos ruidosa, un auto que camine más suavemente o un servicio de encomiendas más rápido. Un producto de calidad está expuesto. Nuestros competidores pueden copiarnos. Prácticamente todas las industrias están haciendo lo mismo. Por mucho que pensemos que nuestro producto es superior y único, lo cierto es que nuestro producto y el de la competencia es una cuestión de matices que un consumidor puede no llegar siquiera a distinguir. Pero si usamos la información que tenemos, y que nuestros competidores no poseen, para realizar la propuesta de valor a nuestros clientes, entonces tenemos algo competitivo a largo plazo.

Cambiar los papeles por un momento. Como consumidor, ¿vale la pena que una compañía nos conozca?

### Claro que sí.

Si el cajero automático de nuestro banco sabe qué cantidad normalmente retiras y de cuál cuenta, omite la habitual serie de preguntas y a cambio pregunta inmediatamente si quisiéramos “lo usual”, ¿eso vale! No vamos al restaurante de la esquina porque tiene la mejor comida. Vamos porque allí nos conocen y no tenemos ni siquiera que mirar el menú. Y “cliente” no significa simplemente el consumidor final: es cada socio o proveedor con el que



una empresa tiene tratos aguas arriba y aguas abajo en la cadena del abastecimiento. Si una empresa sabe cuántos tubos de pasta dental se están vendiendo en las tiendas para proveerlos sin necesidad de vaciar los inventarios, esa información es valiosa. Si una compañía entiende bien el ciclo de mantenimiento de sus aviones y sus proveedores de partes pueden coordinarse más ajustadamente con sus necesidades, eso tiene valor. El valor de conocer a nuestros clientes va desde la cafetería de la esquina hasta las más grandes corporaciones.

Ya es posible tener y almacenar fácilmente la información que necesitamos. Todos los datos están allí, para nuestra colección. Si no estamos buscando y analizando toda la información que podamos, la brecha de competitividad simplemente se hace más ancha. En muchas industrias el volumen de las informaciones se duplica cada ocho o doce meses. La incorporación de información aumenta exponencialmente cada año. Estamos en una época de información. No sólo por el internet y la proliferación de fuentes mediáticas, sino también porque, ahora, cada compañía es una empresa de información. El mínimo recurso de crecimiento en una empresa es información. Tenemos que tomar ventaja de este extraordinario valor.

## Crecimiento y valor

El gran volumen de información a nuestra disposición puede enterrarlos o bien impulsarnos. Es nuestra decisión. Ignorar nuestros recursos de información es fatal. El crecimiento realmente sustentable solo es posible si podemos apalancar los recursos más eficientemente, a fin de tomar mejores decisiones de forma rápida

y a menor costo. La productividad, beneficios, eficiencia operativa, necesidad de crecer sostenidamente. Mantener una capacidad competitiva requiere de incrementos de productividad, que son solamente alcanzables destrabando el valor de nuestro capital informativo. La información (limpia, completa, actualizada) debe ser inmediata y fácilmente accesible a aquellos que la necesiten y cuando la necesiten. Sólo entonces la ganancia competitiva en productividad está asegurada.

La tendencia al crecimiento ya está allí: la productividad humana ha aumentado dramáticamente la última década. Los economistas han identificado una relación directa entre el aumento de la productividad laboral y el creciente valor de las acciones a partir del inicio de los años 90. El punto está en que todos queremos un mayor valor de las acciones. Queremos que nuestro éxito se refleje en el mercado.

La productividad aumenta cuando empezamos a explotar el valor de nuestro capital informativo. Ganamos el control de las decisiones y sus resultados. El resultado es la creciente eficiencia y esa clase de confianza que el mercado reconoce. A las juntas directivas y a los inversionistas no les gustan las sorpresas. Las sorpresas interrumpen el ímpetu de una compañía y pueden destruir el valor. El mercado recompensa a las compañías que cumplen lo que prometen; pero el cambio es un hecho de la vida en el complejo ambiente de los negocios.

Necesitamos tener una visión completa de nuestra empresa, una sola visión del negocio. Teniendo toda nuestra información en un solo sitio, en una forma comprensible, al alcance de quienes la necesiten, cuando la necesiten para hacer las correcciones

correctas en el momento. Ya existe la tecnología que hace esto posible. No es otra cosa que la herramienta. La pregunta más importante es si tenemos la visión para comprometernos a usar nuestra información encaminándola al crecimiento. Podemos saber, no adivinar. Y ahora podemos actuar con base en los conocimientos e información que poseemos.

La velocidad y complejidad de una toma de decisiones competitiva requiere que tengamos un profundo e inmediato acceso a nuestro capital informativo. Los negocios requieren cada vez más preguntas "imposibles". Preguntas que extraen información de toda una empresa: análisis de cestas de mercado combinados con patrones de tiempo; los lugares más rentables para los aviones en un día cualquiera con vistas a las reservas hechas con anterioridad, pasajeros anticipados para el mismo día y la posibilidad de sobreventa; las implicaciones de rentabilidad en caso de enviar el paquete "a" después que el paquete "b"; piense cuantas veces hemos hecho esa clase de preguntas y nos han contestado que no hay respuesta, o que si había una nos la darían pronto... el próximo mes. No ahora, cuando la necesitamos.

Los avances trascendentales (descubrimientos importantes en la productividad, que permiten un progreso posterior) no ocurrirían por el hecho de usar computadoras más rápidas. La tecnología adecuada es una herramienta esencial, pero nunca es suficiente. Los verdaderos avances trascendentales provienen de mentes más creativas usando el capital de información de nuestra empresa.

Nuestra información nos permite acercarnos a los clientes, proveedores, socios, empleados, diferentes áreas de nuestra compañía y en último lugar

al mercado. La información es nuestra "visión" corporativa. En un mundo cambiante como el nuestro, es crítico eliminar los puntos ciegos. La economía está cambiando al igual que la forma como hacemos negocio, los negocios de nuestros competidores y el universo geopolítico. El mercado recompensa la agilidad. Los mejores ejecutivos administran el futuro.

Aprovechar el poder de información de una empresa, o inteligencia comercial, debería ser un sistema cerrado. El objetivo es crear un sistema que produzca el proceso mediante el cual los individuos tomen decisiones diariamente.

Optimizar la toma de decisiones requiere que las empresas tengan la información disponible. El análisis histórico adelantado es sólo un comienzo y es inefectivo en este ambiente económico donde la velocidad y la precisión son apreciadas.

### **Invierta en su capital de información**

La información es el más importante e inexplorado recurso de su compañía. Invierta en él. Probablemente usted ya tiene al personal innovador y analítico, los trabajadores con conocimiento que pueden explotar la información en aras de nuevas oportunidades de ganancias y ser el motor de una más alta productividad.

Muchas empresas sufren porque la información está atesorada en silos dispersos, fragmentada por divisiones, departamentos, regiones y hospedada en otras categorías organizacionales. La información almacenada alimenta la inconsistencia, la cual a cambio conduce a una fatal escasez de precisión y estorba la ejecución de cualquier estrategia. El resultado es una hemorragia de beneficios de algunas com-

pañías cada año. No es necesario decir que este enfoque de la información es dañino para la productividad. No solo eso: la inconsistencia lleva a una lenta, pero sostenida, erosión de la credibilidad de una empresa entre sus clientes, proveedores y eventualmente el mercado.

Las fuentes fragmentadas de información significan un obstáculo insalvable incluso para las mejores mentes. Cuando la misma información está disponible para todo el que la necesita, eso representa una única versión de la verdad. La información es usable y valorable.

Considere estas tres áreas claves de negocios y las oportunidades estratégicas de la información efectivamente utilizada:

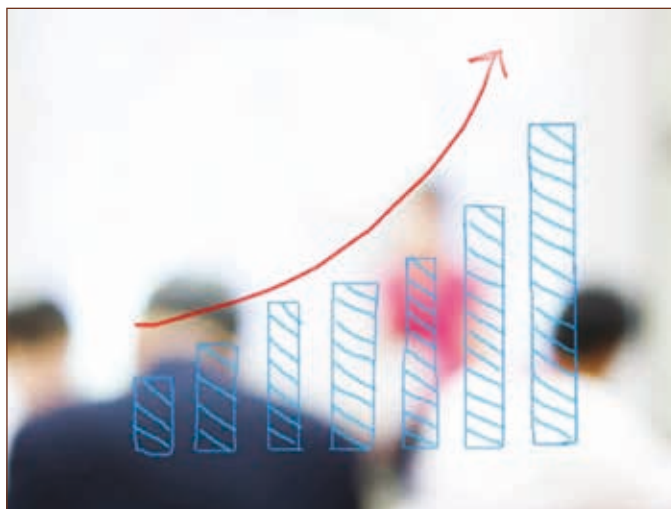
- la relación con el cliente,
- las logísticas de la cadena de abastecimiento y
- la administración del precio, el informe financiero y gerencial.

### **Clientes**

Apalancar nuestro capital de información nos permite alcanzar una visión global de nuestros clientes. El cliente de un banco con una hipoteca, carta de crédito, cuenta corriente y cuenta en el mercado de dinero debe ser tratado como un solo cliente, no como cuatro. Es un resultado de ganar-ganar. El cliente conscientemente o no, le asigna valor a ser comprendido. Y la compañía obtiene mejores ganancias porque sirve mejor a sus clientes. Comprender el cuadro total de ganancias de cada cliente nos permite fijar estrategias efectivas para incrementar esa rentabilidad.

### **Logística de la cadena de abastecimiento**

La información es esencial para lograr una visión multidimensional de nuestro negocio. Conocer en tiempo real el detalle de los embarques en progreso, los niveles de producción, precios, ventas e inventario, nos colocara más cerca del mercado. Podemos tomar el control del proceso del negocio, anticipar problemas antes que ocurran y administrar el futuro. Controlar las operaciones



frecuentemente significa tomar rápidamente las decisiones difíciles y ajustar la estrategia en tiempo real para evitar que el beneficio se desangre.

## Reporte financiero

La estrategia financiera y gerencial es un proceso continuo de recolección de información, análisis y toma de decisiones. Metas establecidas, planes y estrategias necesarias para adaptarse a los cambios. Saber qué era, qué es y si significa si somos suficientemente flexibles para responder a lo inesperado. No hay duda que la confianza del público ha sido erosionada. Los ejecutivos son crecientemente responsables por la oportunidad y precisión de sus resultados. Mayor perspicacia en nuestros negocios también significa menor supervisión. El mercado recompensa aquello en que confía.



Cada una de esas oportunidades de ganancia es soportada por tener una sola visión de la verdad: completa imagen del cliente, de la cadena de abastecimiento, de las finanzas y de la gerencia. La información actual debe estar ligada a la información histórica y ambas deben ser igualmente accesibles. La historia se repite: el futuro es el pasado regresando por otra puerta. Administrar el futuro, evitando sorpresas y creando valor requiere una rica información de toda la empresa y del tiempo.

Los clientes son más que una serie de transacciones sin relación entre ellas. Cada una es una acumulación de todas las transacciones que ellos han tenido. La logística solo puede ser dominada cuando la actuación pasada y la capacidad futura son miradas conjuntamente. El desempeño financiero carece de significado si solamente contiene una fotografía de un momento particular en el tiempo y un cálculo a posteriori de este.

Cómo abrir el valor de nuestro capital informativo es el reto más importante que hoy confrontamos. Cada uno de esos recursos de información es una pieza del rompecabezas. Integrar la información de toda la compañía es el primer paso importante.

## Liderazgo del jefe ejecutivo

La escena corporativa ha cambiado muchísimo de lo que era, incluso, una década atrás. Estructuras gerenciales dispersas son el sabor del momento. Las escuelas de negocios enseñan a los gerentes del mañana a delegar la toma de decisiones por toda la organización. Aun las estructuras corporativas planas, por toda su agilidad y sensibilidad, tienen un serio reto para implementar una visión estratégica única. A la información que fluye naturalmente sigue la toma de decisiones. Quien “posee” la información frecuentemente decide la dirección de la corporación o de la unidad de negocios.

Desde hace largo tiempo, gerentes locales en mercados distantes están tomando decisiones cruciales basados en información a la que solamente ellos tienen acceso. En las redes corporativas podemos estar totalmente ignorantes de qué información está siendo activada. Los gerentes de unidades de negocios se vuelven posesivos con sus clientes, contactos e información. Las tecnologías de información y comunicación se usan para crear voluminosos y costosos bancos de datos, en lugar de ser la base de sistemas ágiles. Sistemas de decisión con un amplio fundamento, integrados y con una sola verdad.

El capital informativo está siendo usado en contra de nuestra estrategia, no en su ayuda. Los individuos atesoran la información, supuestamente en pos de su “derecho” a la toma autónoma de decisiones y de su desatada creatividad. Y si bien es cierto que la creatividad individual es la fuente de muchas riquezas en las artes y ciencias de nuestra sociedad, las empresas no tienen la creatividad como primera prioridad. Para realizar su visión, una empresa debe sincronizar los esfuerzos de todas sus partes. Solo entonces puede ejecutar su estrategia con un éxito consistente. Crear un sistema que trabaje es la principal función del Jefe Ejecutivo.

Una sorpresa desagradable que algunos de nosotros hemos enfrentado es que la tecnología de nuestra empresa —originalmente propuesta para mejorar el sistema e incrementar la eficiencia y la productividad— puede en la realidad

convertirse en un obstáculo para el éxito global del negocio. Cuando hacemos una pregunta no hay respuesta, o peor, hay cinco diferentes respuestas porque los sistemas de información no están co-nectados. La autoridad general para la toma de decisiones sin una visión clara, consistente y unificada de todo el negocio de la empresa pone en serios riesgos los resultados finales.

Dar soporte a nuestro capital corporativo significa eliminar impedimentos a la estructura gerencial hacia la propiedad de la información. Como puede ser: (1) tener una visión de fuerte control; (2) recompensar la colaboración; y (3) permitir la toma de decisiones.

Como líderes superiores sabemos que la visión es algo que no puede ser delegado, pero la implementación de la visión, asegurándonos que penetra en cada nivel de la empresa, puede y debe serlo. Los líderes fijan los objetivos, pero todos los demás deben estar en sintonía para que la empresa tenga la esperanza de alcanzarlos. Como cualquier buen equipo, todo el mundo necesita trabajar en dirección al mismo objetivo. Un liderazgo fuerte es el primer ingrediente de un equipo fuerte, y juntos hacen una poderosa combinación.

### **Estrategia de mercado turbulento**

Gerenciar a través de un periodo de fluctuación económica representa un conjunto especial de problemas para los altos ejecutivos de negocios. En el pasado, las empresas reaccionaban a las fluctuaciones del mercado con despidos, atesorando efectivo, demostrando la innovación y presentación de nuevos productos, provocando una lenta recuperación.

La gerencia enfrenta tres retos durante e inmediatamente después de una recesión:

- 1.** Racionalizar el negocio sin cortes innecesarios. Recorte los costos no críticos y evalúe negocios marginales y las relaciones, con miras a eliminar los más débiles. Un amplio corte de costos, como un fin en sí mismo, es a lo sumo una respuesta inmediata que puede resultar en una empresa hueca. Los líderes inteligentes, en cambio, aseguran la ganancia por cada peso gastado y eliminan las inversiones en asuntos de menor potencial. Mantener una saludable rentabilidad requiere de innovación constante, no de un amplio corte de costos.
- 2.** Proteja e invierta en los empleados más valiosos, las relaciones con los clientes más productivos y las innovaciones de la industria.
- 3.** Siga proveyendo liderazgo y visión, y asegúrese que cada empleado en todo el negocio tiene las herramientas para implementar esa visión.

Estos tres retos se logran mejor invirtiendo en el capital de información de la empresa. No podemos salirnos de la montaña rusa del mercado, pero podemos suavizar el recorrido planificando e invirtiendo en el futuro, incluso cuando los tiempos son difíciles.

### **Demandas del mercado**

En mercados que suben y bajan, la economía es un ambiente exigente e involuclable. La dinámica de un mercado acelerado impone nuevas presiones sobre las empresas. Ciclos de negocios comprimidos y las crecientemente complejas decisiones de negocio hacen que sean más necesario utilizar correctamente la información.

Los ciclos de negocio solían durar 20 o 30 años, pero como la economía ha crecido en tamaño, alcance y extrema complejidad, los ciclos de negocio se han comprimido dramáticamente. Las recesiones son más cortas. Las recuperaciones tienen que ser más rápidas. Para responder a las constantes presiones de cumplimiento, las empresas necesitan tomar decisiones más rápidas y fácilmente, o corren el riesgo de caer detrás de la competencia. Dar soporte a su capital informativo es la clave del éxito.

La información es un recurso valioso, pero para extraer su valor debemos tomar en cuenta:

- Inversión en los recursos de información.
- Visión de liderazgo.
- Compromiso del liderazgo en la implementación.
- Cultura corporativa de colaboración.
- Relación interna y externa con los ecosistemas.

Darnos cuenta del completo valor de nuestros recursos de información es un proyecto a largo plazo que exige compromiso y pensamiento innovador.





# 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

La apuesta **segura**  
por el líder en  
equipos de ensayos  
de pavimentos



EMS WTECH Electromechanical Servoactivation Technology



Verdadera **Innovación**,  
Asesoramiento experto,  
Soporte Técnico

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

La más amplia gama de equipos **Protocolo AMAAC** Niveles I, II, III y IV

T (+52 55) 5532 0799 - 5532 0722

Desde **1995**  
estamos presentes  
en **México**

EQUIPOS DE ENSAYE CONTROLS, S.A. DE C.V.

Avenida de la Hacienda 42, Col. Club de Golf Hacienda - Atizapán de Zaragoza - Estado de México, C.P. 52959

[info@controls.com.mx](mailto:info@controls.com.mx)

# ENERGÍA

- COMBUSTIBLE ALTERNO Y COMBUSTÓLEO
- TRANSPORTE ESPECIALIZADO

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

# VÍAS

## TERRESTRES

- ASFALTOS, EMULSIONES Y MODIFICADOS
- ADITIVOS PARA ASFALTO Y COLORANTES
- ESTABILIZADOR IÓNICO DE SUELOS
- LABORATORIO NIV. II AMAAC
- RENTA DE MAQUINARIA Y EQUIPOS PARA RIEGOS

[CAT 018007171800](tel:018007171800)

# GMMC

- GRUPO MULTISERVICIOS PARA LA CONSTRUCCION -

## MANTENIMIENTO Y PROTECCIÓN

- PINTURAS E IMPERMEABILIZANTES
- ESMALTES Y EPÓXICOS
- SUPERFICIES DEPORTIVAS
- SELLADORES PARA PAVIMENTOS, GRIETAS Y BACHES

**PENETRA** **TOPSEAL** **ULTRALINK** **BITUELASTIC**

SOLUCIONES ASFÁLTICAS

HELLOS

VIAL

Novocoat

petrien

DOCTOR BACH

GRAVELOCK  
Soil Consolidation Aid

SEAL FLEX

OMNI

SMEDT