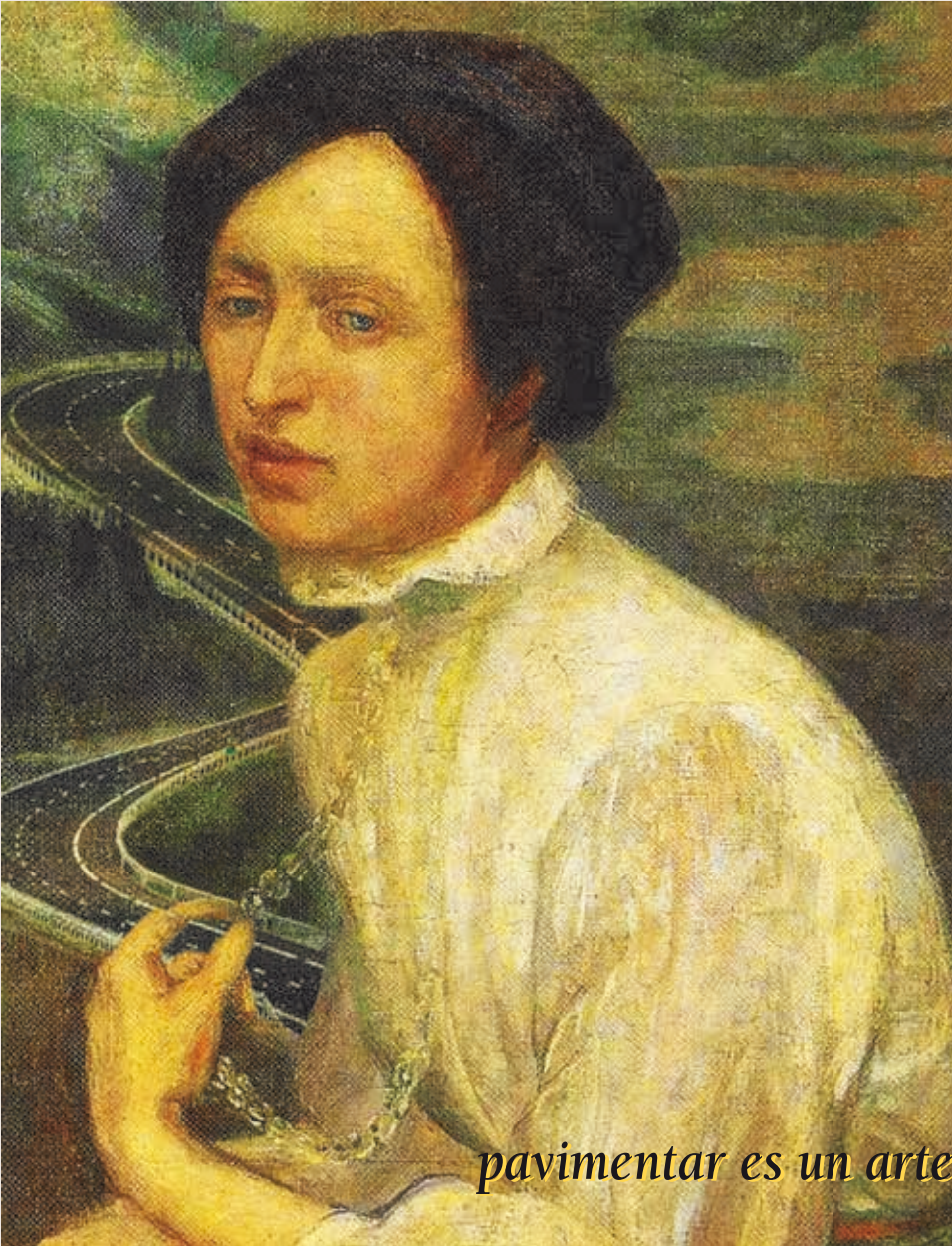


ASFÁLTICA

REVISTA TÉCNICA




pavimentar es un arte

- ☞ **Implementación de un método probabilístico para determinar la vida útil de un pavimento flexible**
- ☞ **Evaluación de la resistencia a la fisuración de mezclas bituminosas recicladas con diferentes contenidos de RAP**





Pavimento de Larga Duración
“Everpave”
Autopista México-Puebla.



CONSOLIDANDO NUESTRA TRAYECTORIA,
ABRIENDO NUEVOS CAMINOS.

www.ergonasfaltos.com



**Ergon® Asfaltos
México**

VANGUARDIA TECNOLÓGICA. SERVICIO TÉCNICO DE ALTO NIVEL.



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

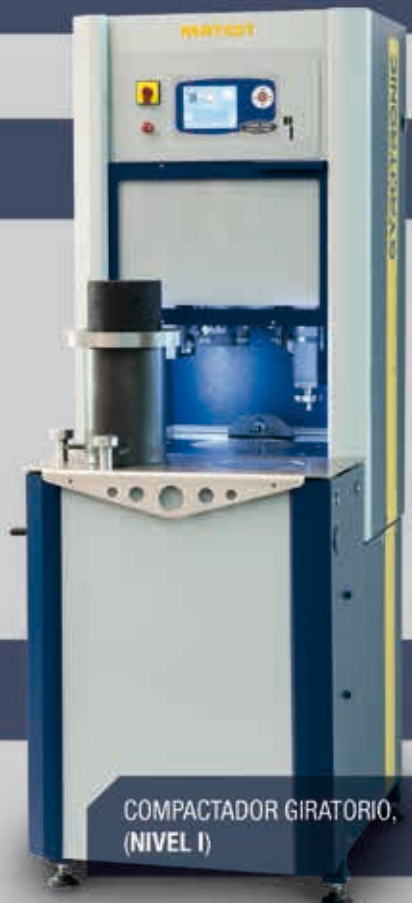
www.pavetest.com | www.instrontek.com



RUEDA DE HAMBURGO,
(NIVEL II)



Hamburg Wheel
Tracker in USA



COMPACTADOR GIRATORIO,
(NIVEL I)

Sumario

Presidente

Jorge Alarcón Ibarra

Vicepresidentes

Víctor M. Cincire Romero Aburto

Juan Adrián Ramírez Aldaco

Benjamín Escudero Rivas

Secretario

Hugo Bandala Vázquez

Tesorero

Santiago Villanueva Martínez

Vocales

Luis Enrique Ramírez Soto

Alejandro Díaz Cruz

Ricardo Buzo Romero

Javier Herrera de León

Jorge García Ascencio

Fernando Martín del Campo Aviña

Alejandro Mungaray Moctezuma

Luis Carlos Soto Moreno

Comité de Vigilancia

Israel Sandoval Navarro

Comisión de Honor

Roberto Garza Cabello

Ignacio Cremades Ibáñez

José Jorge López Urtusuástegui

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.

- 4** Implementación de un método probabilístico para determinar la vida útil de un pavimento flexible
- 14** Evaluación de la resistencia a la fisuración de mezclas bituminosas recicladas con diferentes contenidos de RAP
- 24** Tecnologías a favor de la continuidad y la calidad de la producción de mezclas asfálticas
- 28** Amor, paz y... asfalto
- 31** Ensayo de corte LCB, adherencia en emulsiones asfálticas usadas como riegos de liga
- 39** La importancia de la conservación en México
- 49** Sobre el liderazgo

Editorial

La calidad es un concepto fundamental para AMAAC, del mismo modo lo son la ética y el profesionalismo. En este momento de grandes cambios para México debemos basarnos en estos principios para definir el rumbo del nuevo país que todos queremos.

Las nuevas políticas de inversión por parte del gobierno federal dan un enfoque prioritario a la conservación de la infraestructura carretera, asignando recursos históricos a este rubro. Es un reto muy importante lograr elevar los niveles de servicio de nuestra red carretera para brindar seguridad y confort a los usuarios, disminuyendo al mismo tiempo los costos de operación vehicular.

Por otra parte, el suministro de asfalto por parte de PEMEX se ha visto disminuido drásticamente en los últimos meses, situación que ha puesto a nuestro sector en grandes dificultades para cubrir la demanda. Esta situación presenta un escenario complejo que está cambiando los mecanismos de distribución del producto fundamental para nuestra asociación, incrementando notablemente la importación. Es trascendental, en este nuevo escenario, garantizar que se cumplan los requisitos de calidad establecidos, para asegurar el éxito de los nuevos proyectos de construcción y conservación de pavimentos.

ASFÁLTICA es uno de nuestros espacios para fomentar la investigación y el conocimiento, para difundir las nuevas técnicas y herramientas. También es una forma de motivar a los compañeros del gremio para que todos estemos unidos y trabajando por un mejor desempeño de nuestros pavimentos asfálticos. Cada página sirve como plataforma para mostrar los diversos puntos de vista de quienes participan con sus artículos. Así se abre ante los lectores un mundo de posibilidades que permite elegir la mejor manera de seguir haciendo caminos con asfalto con mucha, pero mucha calidad.

En nuestras manos descansa el presente de la red de pavimentos flexibles. Los que proyectan, construyen y conservan las vialidades deben tener la visión y el valor que demanda la responsabilidad elegida: ser especialistas en la fabricación y empleo de los asfaltos.

En este espacio de conocimientos y expresión de las personas que trabajan en el maravilloso mundo de los asfaltos, siempre hay lugar para las ideas, las reflexiones, las anécdotas, los éxitos y, porque no, los fracasos. Todos los que leen esta revista saben muy bien que la asociación no es nada sin sus socios. Son los miembros los que hacen a AMAAC.

Disfruten del trabajo que ponemos en sus manos, aprovechen la información que les ofrecemos y no duden en unirse al equipo de ingenieros, investigadores, especialistas y servidores públicos que nos dedican lo mejor de sus ideas para compartir y lograr una mejor realidad para todos.

Jorge Alarcón Ibarra
Presidente
Undécimo Consejo Directivo



Retrato de Angelina Beloff

Diego Rivera (1889-1957)

Angelina Beloff fue una pintora rusa nacida en San Petersburgo. Tras la muerte de sus padres se muda a París en 1909 donde conocería a su futuro esposo, Diego Rivera. Una década después se separaría del pintor, pero permanecería en México como maestra de artes, grabado e ilustración.

Ilustración sobre el original
Por: Omar Maya V.

Implementación de un método probabilístico para determinar la vida útil de un pavimento flexible

José Omar Melchor
Carlos Chávez
Luis Alberto Morales
Jorge Alarcon
LASFALTO, Grupo Súrfax

Introducción

El crecimiento en el país por mínimo que sea trae consigo un aumento en el comercio, el cual a su vez requiere de un mayor número de transporte, lo que marca un incremento en el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA).

Uno de los retos que presenta el aumento del tránsito es garantizar la calidad de la infraestructura vial, lo que conllevará a que la red nacional de caminos ofrezca mejores servicios a la sociedad. Para ello se ha enfatizado las investigaciones en el diseño de pavimentos flexibles. De acuerdo con esto, se requiere de una caracterización adecuada de las condiciones *in-situ* tales como el tránsito y las propiedades mecánicas de los materiales, ya que es fundamental para concebir estructuras de pavimento que nos ofrezcan altos desempeños en términos de durabilidad.

Con el avance tecnológico, el país ha tenido acceso a las diferentes metodologías de diseño de pavimentos, siendo los métodos empíricos-mecanicistas los más utilizados. Las cuales permiten tener un análisis completo del comportamiento mecánico del pavimento ante la aplicación de cargas. Este tipo de metodologías a diferencia de las empíricas, toman en cuenta como los estados de esfuerzos y deformaciones están presentes en las capas. Este tipo de metodologías requieren una modelación previa tanto de la estructura del pavimento como de las cargas. Debido al gran desarrollo de los programas de computación, muchas de las teorías de análisis pueden aplicarse a las condiciones prácticas (Rondón y Reyes, 2007).

Sin embargo, existen diversos problemas en el diseño de pavimentos flexibles. Por una parte, en el diseño basado en metodologías empírico-mecanicistas se presentan problemas para la obtención confiable de la información de las condiciones *in-situ*, tanto para proyectos nuevos como para estructuras en servicio. Por otra parte, errores de captura y/o errores en la obtención de las pruebas de laboratorio, hace variables los parámetros para calibrar adecuadamente los modelos de diseño. Esto conlleva a que los diseños incluyan errores debido al preprocesamiento de la información. Aunado a esto, los métodos de diseño de pavimentos flexibles no cuentan con una herramienta computacional que permita el diseño con base en métodos probabilísticos.

Por lo tanto, se requirió de la incorporación de métodos probabilísticos a las metodologías empírico-mecanicistas. (Tourochy *et al.*, 2005), (Rodríguez *et al.*, 2016). En el presente artículo se describe el desarrollo de una herramienta computacional de simulación que facilite al proyectista el diseño de pavimentos flexibles basada en el método de simulación Monte Carlo. La herramienta permite identificar y analizar la variabilidad de los parámetros de entrada, realizando un preprocesamiento estadístico y eliminar datos atípicos presentes en las variables. Además, permite realizar un proceso analítico basado en la identificación, cuantificación y acumulación del daño del pavimento bajo sus diferentes condiciones *in-situ* que facilite al proyectista el diseño de pavimentos flexibles.

Estado del arte

Existen a grandes rasgos, dos métodos de diseño de pavimentos flexibles. Por una parte, los métodos determinísticos y por otra parte, los métodos probabilísticos. En los métodos determinísticos, cada factor de diseño tiene un valor fijo que se basa en el factor de seguridad; este está propuesto por el diseñador. De acuerdo con esta idea, el diseñador asigna un valor más alto para los factores de diseño menos seguros o que tengan un mayor efecto al final del diseño. El empleo de estos métodos tradicionales basados en factores de seguridad da como resultado diseños sobrados o escasos, en términos de durabilidad. Una aproximación más realista es el empleo de los métodos probabilísticos, en donde a cada factor de diseño se le asigna una media y una desviación estándar. En estos métodos, el factor de seguridad asignado a cada factor de diseño y la sensibilidad son tomados con cuidado y con ello su confiabilidad puede ser evaluada. Hay que tomar en cuenta que la confiabilidad está definida como la probabilidad de que el diseño desempeñe su función prevista durante su vida útil proyectada (Huang, 2004).

Métodos Determinísticos

Existe un gran número de métodos determinísticos para el diseño de pavimentos flexibles, basados en condiciones *in-situ* como las propiedades de los materiales, el tránsito vehicular y el clima. Estos métodos pueden considerar una o varias condiciones para

el diseño de pavimentos flexibles, denominándose los últimos como híbridos. Sin embargo, este tipo de métodos de diseño presentan varias limitaciones. Por una parte, uno de los principales inconvenientes es la caracterización del tránsito en términos de ejes equivalentes sencillos de 8,2 toneladas y no en términos de espectros de carga. Esto conlleva a no poder analizar de manera adecuada las cargas que transitan sobre las estructuras de pavimentos y determinar los daños que estas producen a dichas estructuras. Por otra parte, no analiza las condiciones climáticas de manera adecuada ya que no emplea modelos climáticos. Otra limitante que aparece en este tipo de métodos es que no todos realizan un análisis de esfuerzos y deformaciones, sino que proponen coeficientes de resistencia estructural para obtener los espesores equivalentes como en (Corro, Magallanes, y Prado, 1981). Además, estos métodos no consideran enfoques estocásticos o estadísticos y por lo general este tipo de métodos son de aplicación rápida y sencilla (Rico *et al.*, 1998), (AASHTO, 1993), (Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, 2003), (Urbaéz y Erskine, 2011), (Coria *et al.*, 2012) y (SCT, 2013).

Métodos Probabilísticos

Los modelos de comportamiento son modelos empíricos que se calibran con base en la información recabada en campo y que permiten predecir la condición de deterioro de los pavimentos evaluando el desempeño del mismo ante condiciones reales de clima, desempeño de los materiales y tránsito vehicular. Por lo general, cuando se evalúa el desempeño del pavimento mediante un modelo de deterioro, el resultado corresponde a un valor determinista. Por lo tanto, la manera adecuada de evaluar el desempeño de una estructura de pavimento es en términos de probabilidad de éxito. Esta queda definida como la probabilidad de que el número de repeticiones de carga realmente aplicadas sobre el pavimento, no excedan el número de repeticiones de carga que puede soportar hasta alcanzar un nivel de serviciabilidad especificada y no desde una perspectiva determinista.

En este tipo de métodos, el tránsito vehicular se caracteriza en términos de espectros de carga como se muestra en (Tourochy *et al.*, 2005), en donde con fines prácticos se hizo uso del software de diseño empírico-mecanicista PerRoad. Este software permite

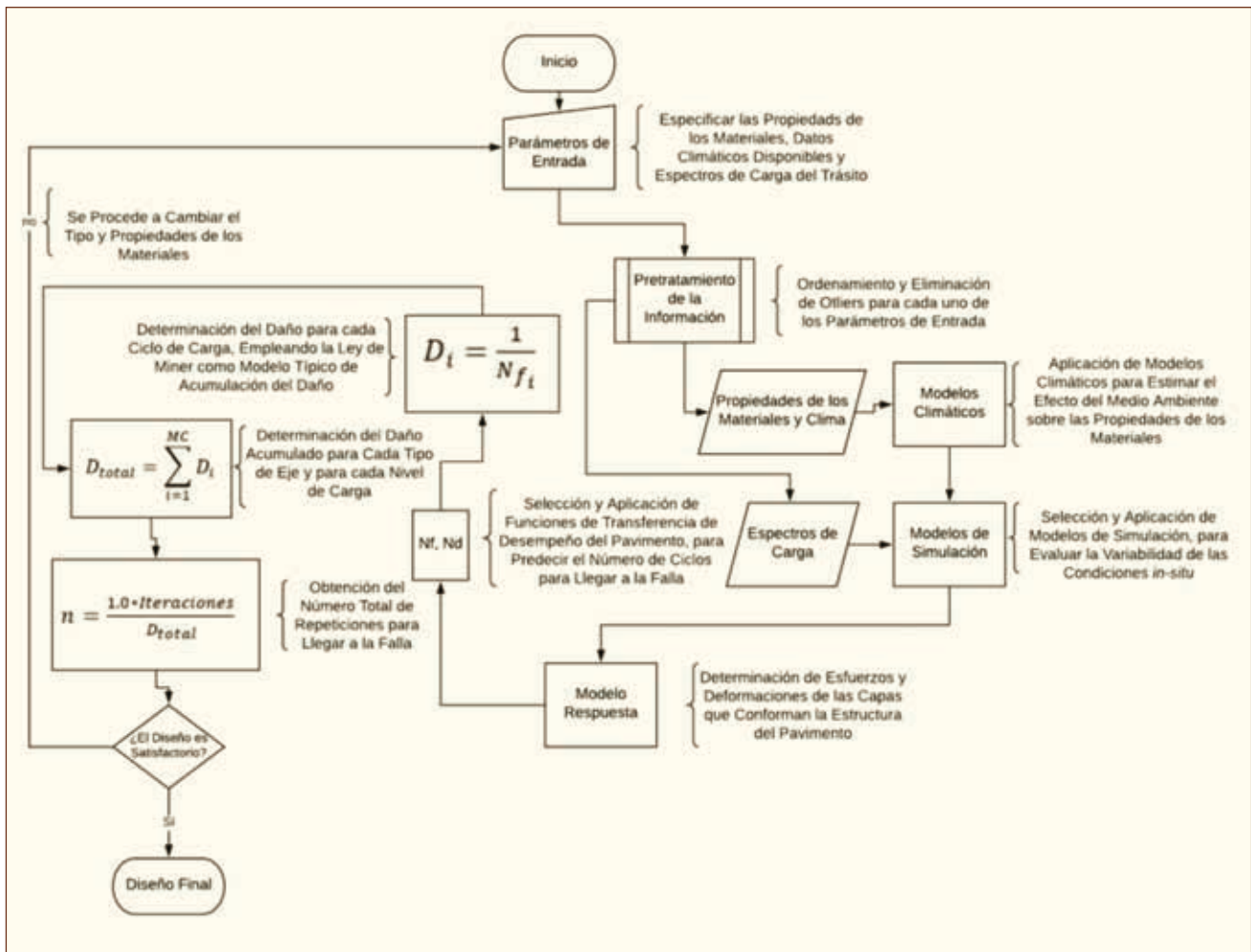


Figura 1. Diagrama de flujo para el análisis estocástico basado en la metodología empírico-mecanicista.

analizar la variabilidad de las propiedades de los materiales, sin embargo, se introdujeron de manera determinística y sólo se analiza la variabilidad de los espectros de carga del tránsito vehicular.

A pesar de analizar de manera probabilística el comportamiento estructural del pavimento, estos tipos de métodos tienen el inconveniente de que no implementan completamente la metodología empírico-mecanicista. Pues aún no consideran modelos climáticos para el diseño de pavimentos como es el caso del mismo (Turochy *et al.*, 2005) y (Rodríguez *et al.*, 2016).

Metodología

En este artículo se propone mejorar la infraestructura vial del país, mediante el desarrollo y/o actualización de metodologías que nos ayuden a diseñar nuevos pavimentos flexibles. Por lo tanto, se desarrolló una metodología de diseño que permite mejorar el diseño de dichos pavimentos mediante un análisis probabilístico, que tome en cuenta la variabilidad de sus condiciones *in-situ* como se muestra en la Figura 1. El trabajo que se presenta consta de cuatro fases importantes, las cuales son descritas en las siguientes líneas.

Caracterización y pre-procesamiento de las condiciones in-situ

La metodología propuesta en este artículo se basó en un análisis probabilístico, el cual depende de sus condiciones *in-situ* como son las propiedades de los materiales y el tránsito vehicular. Por lo que, a partir de ensayos de mecánica de suelos en campo, se obtuvieron las características mecánicas de los materiales de banco que constituyen la estructura de un pavimento. Además, de la recolección de datos de tránsito se determinaron los espectros de carga de los diferentes tipos de ejes y el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA). Una vez recabada la información correspondiente a las variables de entrada, se realizó un pre-procesamiento estadístico de la información basada en técnicas probabilísticas. Estas técnicas son tomadas como un instrumento basado en un conjunto de métodos que nos permiten evidenciar la distribución de los elementos de la muestra cómo se presenta en la Figura 2. Esto permite poder observar valores atípicos dentro de los elementos de dicha muestra y así poder eliminarlos.

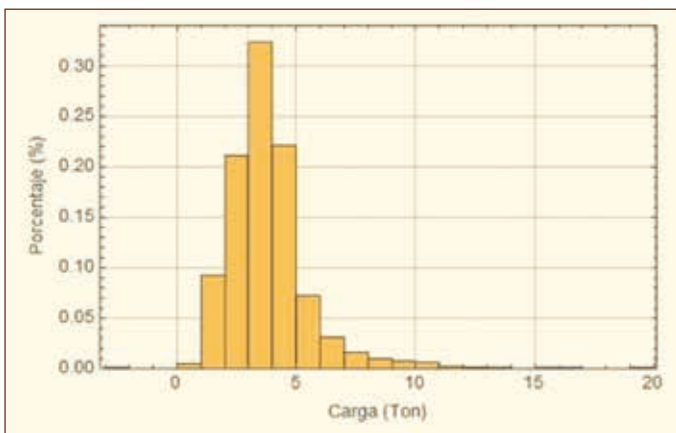


Figura 2. Histograma de las cargas de ejes sencillos sin pretratamiento.

Aplicación de métodos de simulación

Para evaluar de manera reiterada la respuesta que tiene el diseño de la estructura del pavimento, tomando en cuenta sus condiciones *in-situ* (cuando estas se representan como funciones de densidad de probabilidad), se procedió a desarrollar un modelo de diseño basado en el método de simulación Monte Carlo. La función de densidad de probabilidad que representó al tránsito se obtuvo al encontrar la

que mejor se ajustó a los elementos de dicha muestra como se aprecia en la Figura 3. Mientras que, para los materiales, la función de distribución que describió su comportamiento fue de tipo normal y se muestra en la Figura 4.

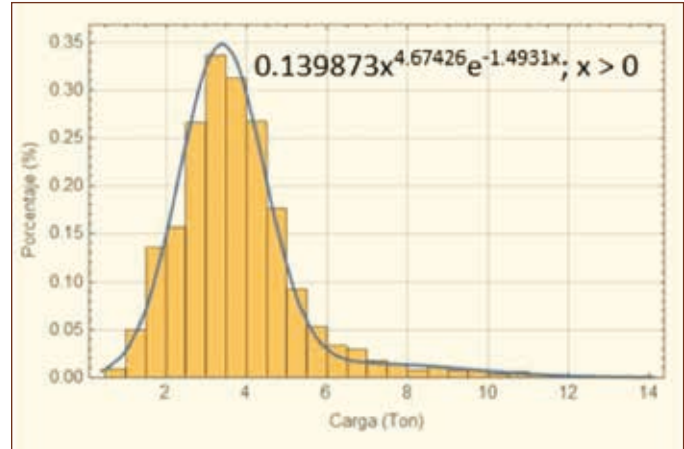


Figura 3. Espectro de carga del eje sencillo.

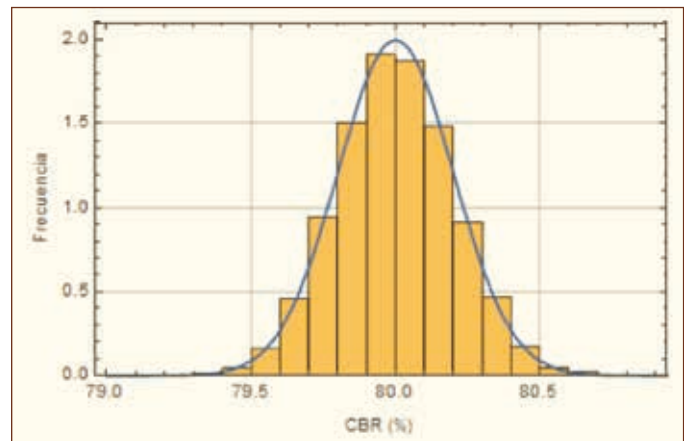


Figura 4. Función de distribución de probabilidad del CBR.

Determinación de la vida útil de la estructura del pavimento

Para predecir el número de ciclos hasta la falla por fatiga de la carpeta asfáltica y por deformación permanente de las capas inferiores para cada nivel de esfuerzo. De acuerdo con la metodología empírico-mecanicista se utilizó una solución alterna y sencilla de la teoría multicapa elástica, aplicando el método de Odemark. Este método permitió calcular de manera simplificada la respuesta que tiene un sistema multicapa a esfuerzos de tensión y deformación al

transformar el sistema en un semi-espacio homogéneo e isotrópico. Lo anterior debido a que los pavimentos flexibles están diseñados y construidos en base a un sistema de capas con distintas propiedades mecánicas. Dónde, las capas superiores son las de mejor calidad y esta va disminuyendo con la profundidad hasta llegar al terreno natural. En el sistema homogéneo se aplica la solución de Boussinesq para un área circular uniformemente cargada, de radio a que representa la llanta de un vehículo. Lo cual permite determinar la respuesta del pavimento a distintas profundidades z , es decir, los esfuerzos y deformaciones presentes en las capas de la estructura.

A partir de la determinación de los esfuerzos y deformaciones, se aplican las funciones de transfe-

rencia de desempeño del pavimento deducidas del método de la UNAM que se muestran en las ecuaciones (1) y (2).

Esto con la finalidad de poder generar distribuciones para el desempeño de la estructura de pavimento analizada tanto para fatiga de la carpeta asfáltica como para deformación permanente de las capas de suelo en millones de repeticiones de carga (Figura 5 y Figura 6).

Además, se emplea la ley de Miner como modelo típico para acumulación de daños. Determinando de esta manera el daño (D_j) en cada ciclo (j) y para los diferentes modelos de simulación. El daño total se determina al obtener el cociente de la suma del daño de todos los ciclos y para cada espectro de carga empleado, sobre el número total de ciclos. El número total de repeticiones para llegar a la falla (n) para la estructura de pavimento analizada y los espectros de

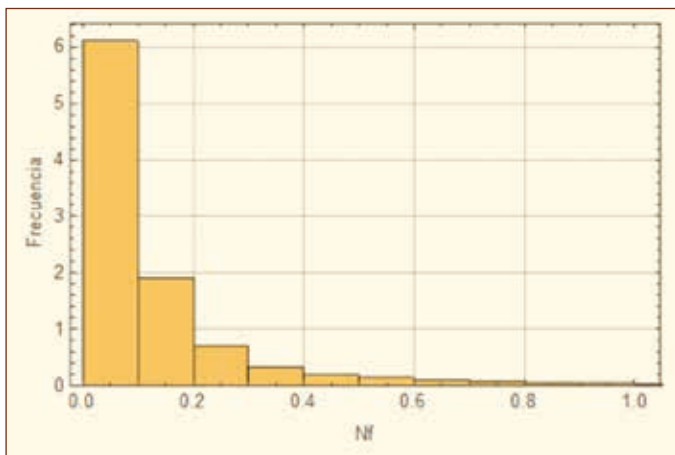


Figura 5. Número de repeticiones predichas por fatiga.

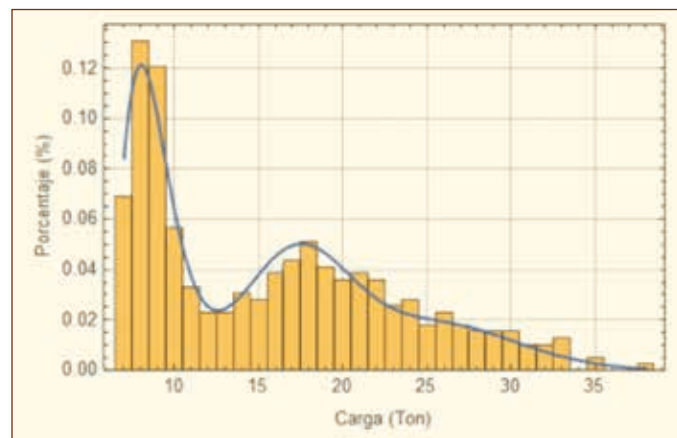


Figura 7. Estructura de pavimento flexible del tramo analizado.

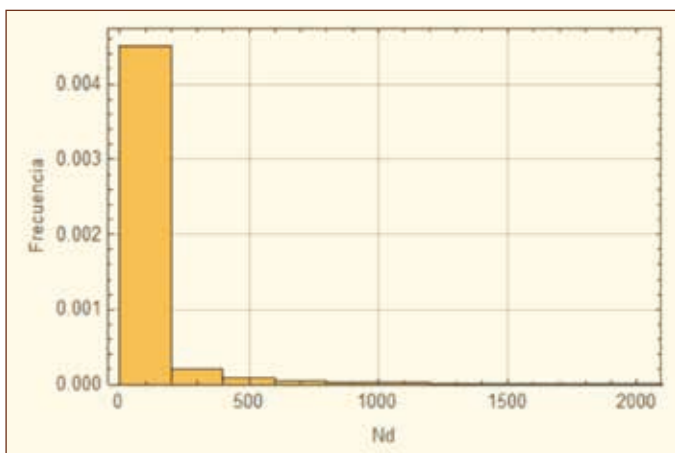


Figura 6. Número de repeticiones predichas por deformación permanente en la subrasante.

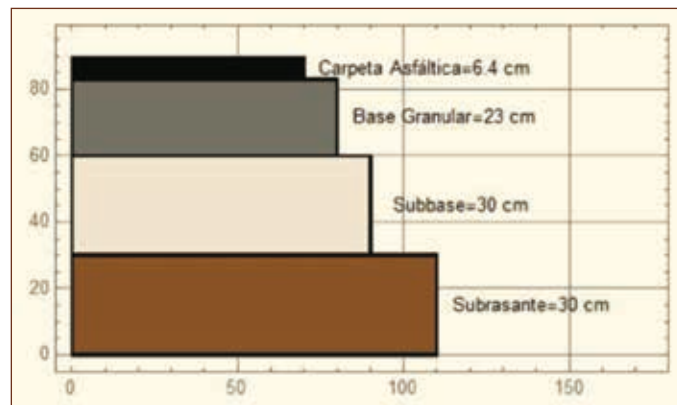


Figura 8. Espectro de carga del eje tándem.

carga empleados se obtiene escalando el daño a un valor crítico de 1,0. Si el diseño cumple con los requisitos de diseño para su vida útil proyectada, se toma como diseño final. En caso contrario, es decir, que no satisfaga los requisitos de diseño, se procede a cambiar los tipos y propiedades de materiales a utilizar.

Análisis de resultados

Para llevar a cabo el estudio correspondiente en este artículo presentado, se solicitaron datos reales del control de calidad de la construcción de un pavimento flexible. Estos datos que se obtuvieron fueron derivados de conocer el grado de compactación de las distintas capas que conforman la estructura del pavimento. La selección de las muestras se debe realizar empleando una tabla de números aleatorios compuesta, de acuerdo con lo especificado de la Norma (M-CAL-1-02-01, 2001) Criterios Estadísticos de Muestreo.

En la Figura 7 se presenta una estructura de pavimento flexible de cuatro capas compuesta de asfalto de mezcla en caliente (HMA), que se apoya sobre una base granular, una capa de subbase y por último una subrasante. La Tabla 1 muestra las propiedades mecánicas de los materiales. Las propiedades del material se eligieron para ser representativas y consistentes con un estudio previo de los efectos del espectro de carga en el diseño del pavimento.

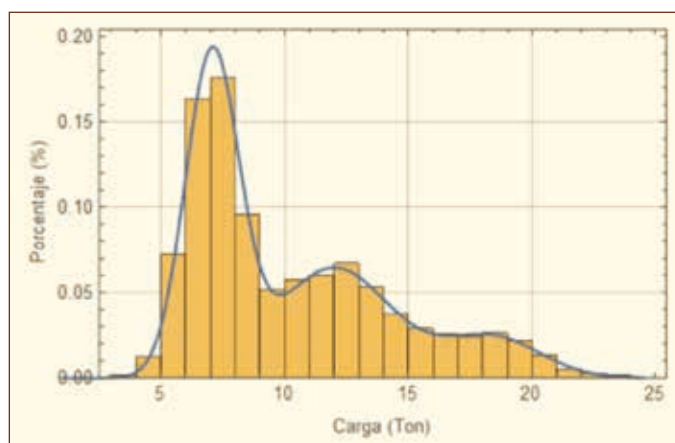


Figura 9. Espectro de carga del eje tridem.

Tabla 1. Propiedades mecánicas de los materiales de las capas de suelos

Capa	Espesor (cm)	Contenido de agua (%)	cbr (%)	Desviación estándar
Terraplén	Variable	14,86	5	0,2
Subrasante	30	12,55	20	0,2
Subbase	30	12,55	60	0,2
Base	23	10,88	80	0,2

A partir de estaciones de pesaje móviles (WIM), se obtuvieron los datos correspondientes a los espectros de carga para cada tipo de eje (sencillo, tándem y tridem) que se muestran en las Figuras 3, 8 y 9.

El módulo dinámico de la carpeta asfáltica se obtuvo mediante el método de Witczak, a partir de los datos de los agregados pétreos y del cemento asfáltico de la carpeta. De las variaciones de los grados de compactación del control de calidad de las capas de suelos, se derivaron distribuciones de probabilidad de tipo normal para cada una de las capas del pavimento.

El modelo de diseño presentado en este artículo se compone de varios sistemas de cálculo (espectros de carga, vida útil del pavimento y esfuerzos y

deformaciones). Este modelo de simulación considera los siguientes aspectos fundamentales:

- a) Se implementa el uso de espectros de carga, como una manera adecuada de caracterizar el tránsito vehicular. Además, se ajusta una función de distribución de probabilidad que describe su comportamiento.
- b) Se utilizan valores de presiones de inflado de 5,8 kg/cm² y 7,0 kg/cm² para el cálculo de deformaciones de tensión y compresión. De acuerdo con las cargas que transitan sobre la vialidad.
- c) Se emplean las funciones de transferencia de desempeño de la UNAM, por lo que el parámetro que define la resistencia de las capas de suelos es el CBR, mientras que el módulo dinámico es el parámetro que define la resistencia de la carpeta asfáltica.
- d) Se implementa el modelo de simulación de Monte Carlo para analizar la variabilidad de las condiciones *in-situ*.
- e) Permite analizar el comportamiento de la estructura del pavimento ante cada tipo de eje, mediante espectros de daño y de vida útil de manera individual.

Como se ha mencionado, los modelos de deterioro que se utilizaron fueron los siguientes:

Modelo de deterioro por fatiga de la carpeta asfáltica:

$$\log \epsilon = 3.78 - 0.088U - 0.21 \log N_f \quad (1)$$

dónde: ϵ = deformación de tensión horizontal en la parte inferior de la carpeta asfáltica; N_f = número de ciclos hasta llegar a la falla por fatiga; U = abscisa de la distribución normal estándar para un nivel de confianza Q_u .

Mientras que para deformaciones permanentes es:

$$\log \Sigma L = \frac{1}{0.1761} (\log^{VRS}_z - \log^{VRS}_0 - \log F_z) \quad (2)$$

dónde: ΣL = número de ciclos hasta llegar a la falla por deformación permanente; = estimación del valor relativo de soporte crítico esperado en campo; = constante experimental igual a 10^B ; para bases $B = 0,8477 + 0,14U$ y para subbases y terracerías $B = 0,4547 + 0,1593U$; U = abscisa de la distribución normal estándar para un nivel de confianza Q_u ; F_z = coeficiente de influencia de Boussinesq.

Por otra parte, se desarrolló una herramienta computacional donde se puede generar la geometría de la estructura del pavimento, introducir las propiedades de los materiales, la configuración de cada tipo de eje, cálculo de la vida útil del pavimento. Las características principales de esta herramienta son:

- a) Sistema para geometría y propiedades de los materiales. Permite especificar los espesores de cada una de las capas del pavimento. Además, permite proponer el módulo dinámico de la carpeta asfáltica y los CBRs de las capas de suelos, así como también sus respectivas desviaciones estándar.
- b) Sistema para la configuración de los tipos de ejes. Este asistente tiene como función, especificar la cantidad de cada tipo de eje, las cargas para cada tipo de eje y la cantidad de ejes por carga.

- c) Sistema para el cálculo de la vida útil del pavimento. Tiene como función determinar la vida útil del pavimento en términos del número de repeticiones de cargas y el periodo de vida en años.

En la Tabla 2 se muestran los resultados del análisis realizado mediante la metodología presentada en este artículo. En ella se muestra la vida útil para las diferentes capas de la estructura del pavimento tanto en número de repeticiones de carga como en años.

Tabla 2. Vida útil por fatiga de la carpeta y por deformación permanente de las capas de suelo			
Capa	Tipo de falla	Núm. de repeticiones*	Años
Carpeta	Fatiga	$0,04 \times 10^6$	0,01
Base	Deformación permanente	$1,86 \times 10^6$	0,49
Subbase	Deformación permanente	$34,387 \times 10^6$	189,58
Subrasante	Deformación permanente	$62,955 \times 10^6$	210,00

* Repeticiones de carga de todos los ejes

En el histograma de la Figura 5 se muestra la acumulación de la vida útil por fatiga (N_f) para el eje sencillo. En el podemos observar que la distribución muestra una forma asimétrica a la derecha (pocos datos en el lado derecho), lo cual es un indicio de falla prematura por fatiga de la carpeta asfáltica. Mientras que en la Figura 6 se presenta la acumulación de la vida útil por deformación permanente de la subrasante (N_d) en donde se aprecia que su valor medio tiende a los 63 mil millones de repeticiones de carga. El hecho de que en la capa de subrasante se obtenga un valor muy elevado en cuanto a repeticiones de carga se debe a que el método de la UNAM solo emplea un valor para cada condición analizada, es decir, su comportamiento es de tipo determinístico; sus parámetros de tránsito y propiedades de los materiales se comportan de manera lineal al no considerar una variabilidad. Por otra parte, en el análisis probabilístico descrito en este artículo el número de repeticiones de carga se ve afectado por las solicitaciones de carga debidas al paso de j configuraciones de ejes, al transitar de manera aleatoria sobre el tramo de pavimento considerado y esta aleatoriedad está ligada con el número de iteraciones empleado para la generación de pseudoaleatoria de datos en cada muestra. Lo anterior permite observar que los resultados se comportan de manera variable a través del tiempo. Y este comportamiento se debe a que el modelo analiza mediante la generación de i -iteraciones las diferentes propiedades y condiciones para un tramo de pavimento flexible, es decir, para cada iteración se genera de manera pseudoaleatoria condiciones de tránsito y propiedades de los materiales en un instante de tiempo (t).

¿Tienes un artículo técnico?

...envíalo a dirgral@amaac.org.mx y podrá ser publicado en


ASFÁLTICA
REVISTA TÉCNICA

Conclusiones

La aportación principal que se obtuvo de este artículo es la implementación de una metodología de diseño de pavimentos flexibles empírico-mecanicista basada en el método de simulación Monte Carlo, que considera una adecuada caracterización de las propiedades de los materiales, temperatura, contenido de agua y tránsito en términos de espectros de carga. Entre las aportaciones derivadas de la metodología implementada es solventar algunos de los problemas que permanecen abiertos en el diseño de pavimentos flexibles, para países en vías de desarrollo (e.g. México), tales como:

- Obtención confiable de la información de las condiciones climatológicas, propiedades de los materiales y el tránsito mediante una caracterización adecuada de dichas variables de entrada. Esto disminuye los errores de captura y/o en la obtención de las pruebas de laboratorio al caracterizar el comportamiento de los datos de entrada eliminando datos atípicos.
- Reduce la inversión tiempo-costo en el procesamiento de la información, ya que realiza un análisis de la variabilidad de las condiciones *in-situ* a través de técnicas probabilísticas que determinan el comportamiento de las variables de entrada mediante funciones de distribución de probabilidad. Esto a su vez, permite disminuir el sesgo o incertidumbre en el diseño de pavimentos flexibles.
- Mejora del desempeño de los pavimentos flexibles en términos de durabilidad, a través de un análisis estocástico basado en la metodología empírico-mecanicista para la determinación de la vida útil de un pavimento flexible. Lo anterior debido a que analiza el comportamiento estructural de los pavimentos, mediante la obtención interna de la interacción que existe entre las variables de entrada mencionadas y que influyen directamente en el cálculo de los esfuerzos y deformaciones.

Es necesario contar con una muestra representativa de cada uno de los factores que se están tomando en cuenta para analizar de una manera correcta la variabilidad de estas.

Las nuevas metodologías de diseño solicitan los insumos de información cada vez de manera más precisa, entre ellos el tránsito, México debe estar preparado para tener la información adecuada y oportuna para acelerar el proceso de implementación de estas metodologías a nuestro país. 

¿Quieres profundizar?

- AASHTO (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. Whashington, D.C.
- Coria, C., Chávez, C., Alarcón, J., & Arreygue, E. (2012). "Elaboración de un Programa de Diseño de Pavimentos Flexibles", *Memorias XXVI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica*, Cancún, QR.
- Corro S., Magallanes R., y Prado G. (1981). *Instructivo para diseño estructural de pavimentos flexibles para carreteras*, México D.F, Series del Instituto de Ingeniería.
- Huang Y. (2004). *Pavement Analysis and Design*. University of Kentucky: Pearson.
- M-CAL-1-02-01 (2001). *Criterios estadísticos de muestreo*.
- Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. (2003). *Norma 6.1 IC secciones de firme, de la instrucción de carreteras*, Madrid.
- Rico A., Téllez R., y Garnica P. (1998). "Pavimentos flexibles. Problemática, metodologías de diseño y tendencias". Sanfandila, Querétaro: Publicación Técnica No. 104
- Rodríguez M., Thenoux G., y Gonzále, A. (2016). "Probabilistic assessment of asphalt pavement design". *Revista Ingeniería de Construcción*.
- Rondón H., y Reyes F. (2007). "Metodología de Diseño de Pavimentos Flexibles: Tendencias, Alcances y Limitaciones" *Memorias Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, Bogotá, Colombia, Vol. 17-2: 41-65.
- SCT. (2013). *Catálogo de Secciones Estructurales de Pavimentos para las Carreteras de la República Mexicana*. México, D.F.
- Turochy R., Timm D., y Tisdale S. (2005). *Truck equivalency factors, load spectra modeling and effects on pavement design*. Montgomery, Alabama.
- Urbaéz E., y Erskine J. (2011). *Project level australian methodology for flexible pavement design sydney*. Sydney, Australia.

Te compartimos nuestros medios de contacto:



55 4500 0117



@AMAACmx

01(55) 5606 7862 | amaac.org.mx

#EligeAsfalto



Asociación Mexicana
del Asfalto, A.C.

Rodillos Neumáticos
CW34 Cat®



Compactador de Suelo
CS11 GC Cat®



Compactador de Asfalto
CB10 Cat®



Perfiladoras
de Asfalto
PM620 Cat®

JUNTOS POR TODO EL CAMINO

TECNOLOGÍA AVANZADA QUE AUMENTA EL RENDIMIENTO
Y DISMINUYE EL COSTO DE OPERACIÓN.



Pavimentadoras
de Asfalto
AP655F Cat®

CONTACTÁMONOS

01-800-9262347
www.madisa.com



MADISA® CAT

Evaluación de la resistencia a la fisuración de mezclas bituminosas recicladas con diferentes contenidos de RAP

Félix E. Pérez-Jiménez
Adriana Martínez
Rodrigo Miró
Ramón Botella
Domingo Pérez-Madrigal
XIX CILA

Introducción

Es frecuente el empleo de mezclas recicladas con un contenido de RAP variable entre 10% y el 30% en la construcción y rehabilitación de firmes de carreteras. Muchos investigadores afirman que, con estos porcentajes de RAP, las mezclas recicladas se comportan de un modo similar al de las mezclas convencionales.^[1, 2, 3, 4] Sin embargo, las restricciones ambientales impulsan a incrementar esas tasas de RAP, lo que comporta un beneficio económico y sostenible debido al menor consumo energético y de recursos naturales.^[5, 6]

Los estudios de laboratorio y los tramos de prueba ejecutados muestran la posibilidad de aplicar esta técnica de reciclado,^[7, 8, 9] pero aún es necesario continuar investigando para conocer el potencial y las carencias que la misma conlleva.

Cuando se trabaja con ligantes muy envejecidos o con altos porcentajes de RAP es común recurrir al empleo de rejuvenecedores para restaurar las propiedades del ligante envejecido. Estos productos suelen dividirse en dos tipos según algunos investigadores: aditivos reblandecedores o rejuvenecedores, puesto que en algunos casos el producto reduce la viscosidad del ligante y en otros restablece la relación entre maltenos y asfaltenos del ligante, modificada debido al proceso de envejecimiento.^[10]

De acuerdo con Carpenter y Wolosick,^[11, 12] el mecanismo de difusión de un rejuvenecedor tiene lugar a través de las siguientes etapas:

- a) El rejuvenecedor forma una capa de muy baja viscosidad que rodea al ligante que envuelve al árido del RAP.
- b) El rejuvenecedor penetra dentro de la película de ligante, disminuyendo la cantidad de rejuvenecedor en estado puro que cubre las partículas y reblandeciendo el ligante envejecido.
- c) En esta etapa se ha agotado el rejuvenecedor puro y la penetración continúa, disminuyendo la viscosidad de la capa interior de ligante (pensando en el ligante como una sucesión de capas que forman la película) e incrementando gradualmente la viscosidad de la capa exterior.
- d) Después de un cierto tiempo, se alcanza el estado de equilibrio en la película de ligante.

Hay cierta incertidumbre con respecto a la habilidad del rejuvenecedor para difundirse dentro de la película del ligante y activarlo. La difusión tiene lugar más rápidamente a altas temperaturas durante el mezclado, extendido y compactación, y aún podría continuar durante la vida en servicio hasta alcanzar el equilibrio. Si el proceso de difusión no ha finalizado antes de la apertura al tráfico, las capas exteriores de la película del betún tendrán mayor cantidad de rejuvenecedor, provocando así posibles deformaciones plásticas a temprana edad en el pavimento.

Si el rejuvenecedor no se difunde completamente en el ligante del RAP, parte de la película se quedará formando parte del “black rock” (árido negro) como se suele llamar al material del RAP que se mantiene como un sólido después del proceso de reciclado y por tanto no aporta ningún porcentaje de ligante a la mezcla. En este caso la mezcla resultaría con un contenido de ligante activo final inferior al dosificado, incrementando el riesgo a la fisuración.^[13]

Existen diferentes tipos de rejuvenecedores, algunos de ellos orgánicos, otros derivados del petróleo: aceites parafínicos, extractos aromáticos, aceites nafténicos, ácidos grasos y triglicéridos, aceites de pino, etc. Esta variedad de agentes hace necesario el estudio particularizado de cada uno de ellos a la hora de utilizarlos para evaluar de qué modo modifican el comportamiento de la mezcla reciclada y determinar cuál es la dosis adecuada en cada caso.^[14]

Por lo expuesto, el propósito de este estudio es valorar las propiedades mecánicas de una mezcla reciclada con diferentes porcentajes de RAP, empleando rejuvenecedores cuando el porcentaje es muy elevado y comparar los resultados obtenidos con una mezcla de referencia sin reciclar.

Materiales y métodos

La mezcla bituminosa de referencia ha sido una AC22S, mezcla bituminosa semi-densa con tamaño máximo de 22 mm, elaborada con un betún convencional 50/70 y un árido calizo, con un contenido de betún del 4,25% sobre mezcla. Su granulometría se ha ajustado con objeto de obtener un contenido de huecos del 4%.

Las mezclas recicladas se han fabricado con un 20, 40 y 60% de RAP y un betún más blando, 70/100 para compensar el alto grado de envejecimiento que presentaba el material a reciclar (RAP), como puede observarse en la Tabla 1, que recoge las características de los todos los ligantes usados en este estudio. El porcentaje de betún contenido en el RAP es de 3,5% sobre mezcla. El porcentaje de betún nuevo a incorporar en cada serie se ha calculado para mantener constante el valor de betún total de 4,25%.

Con respecto al rejuvenecedor, se ha empleado SYLVAROAD™ RP1000 de Arizona Chemical, con tres dotaciones diferentes: 5, 10 y 20% sobre el peso de ligante contenido en el RAP. Este aditivo es un producto bio-renovable, fabricado a partir de productos químicos refinados del pino. Se trata de un agente rejuvenecedor que permite restaurar las propiedades del ligante envejecido y activarlo para incrementar el grado de mezclado con el betún nuevo. El aditivo está diseñado para añadirse al fresado antes de que el RAP se mezcle con los materiales vírgenes. Su naturaleza química facilita la dispersión de los asfaltos dentro de la matriz del betún, proporcionando una mejor flexibilidad.

El RAP se obtuvo a partir del fresado de una capa de rodadura de una vía urbana. La corrección de su

Tabla 1. Características de los betunes

Propiedad	Norma UNE EN	Unidad	Betún		
			mezcla de referencia	mezclas recicladas	
			50/70	70/100	Recuperado del RAP
Penetración	1426	0,1 mm	61	84	7
Punto de reblandecimiento A&B	1427	°C	50,9	47,2	87

granulometría consistió en añadir una proporción de áridos vírgenes de tamaño grueso con objeto de reproducir la granulometría fijada con la mezcla de referencia, Figura 1.

En cuanto a las condiciones de fabricación, los áridos vírgenes se han calentado a una temperatura de 160 °C, el RAP a 110 °C y el tiempo de mezclado ha sido de 2,5 minutos.

Se han fabricado series de 6 probetas, mediante compactador por impacto, y las propiedades evaluadas han sido el contenido de huecos, el módulo dinámico a 20 °C, la resistencia a tracción indirecta en seco y en húmedo a 15 °C, de acuerdo con las normas UNE-EN 12697-8, UNE-EN 12697-26, UNE-EN 12697-12, respectivamente, y la resistencia a la fisuración mediante el empleo del ensayo Fénix a 20 °C. Todas las probetas se han fabricado con 75 golpes por cara, excepto aquellas que se han utilizado para evaluar la sensibilidad al agua, que se han compactado con 50 golpes por cara.

El ensayo Fénix es un ensayo experimental, consistente en determinar el esfuerzo necesario para fisurar una probeta semicilíndrica, aplicando un esfuerzo de tracción en su plano diametral, como se observa en la Figura 2.^[15, 16, 17] El esfuerzo se aplica mediante dos placas adheridas a la probeta en ese plano diametral, que van sujetas a los anclajes de la prensa. Además, la probeta presenta una pequeña ranura entre las dos placas para inducir el inicio de la fisuración de la probeta.

El ensayo se realiza a una velocidad constante de desplazamiento del pistón de 1 mm/min. Durante el ensayo se registra el esfuerzo aplicado en función del desplazamiento.

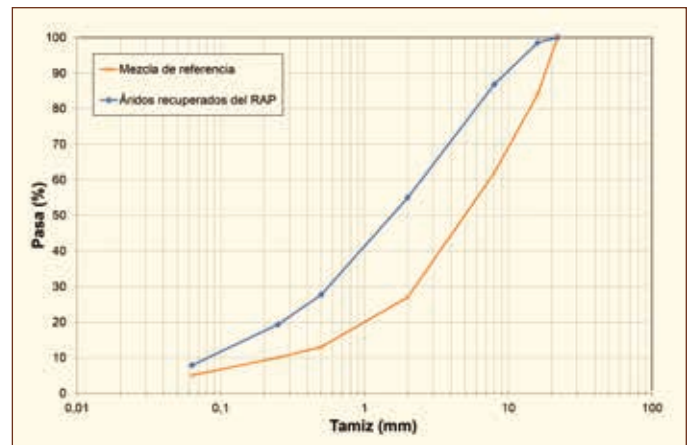


Figura 1 Granulometría de las mezclas estudiadas.

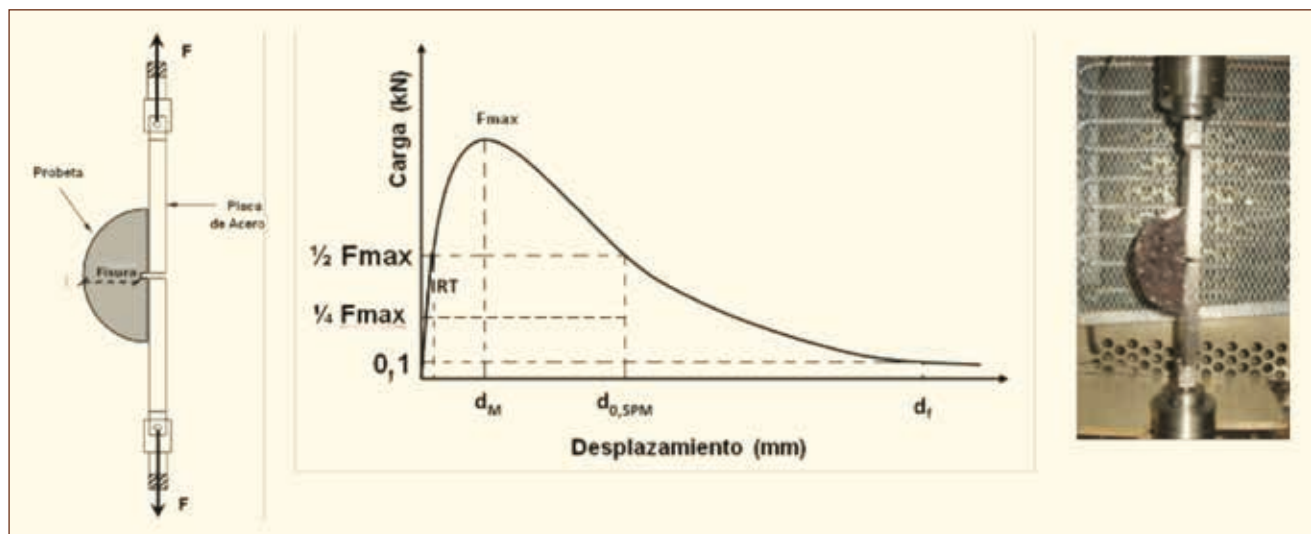


Figura 2. Esquema del ensayo Fénix y curva carga-desplazamiento obtenida.

A partir de la curva de esfuerzos resultante del ensayo se definen distintos parámetros que se han relacionado con las características mecánicas y resistentes de la mezcla:

Índice de rigidez a tracción: es la pendiente de la curva carga-desplazamiento entre el 25 y el 50% de la carga máxima.

$$IRT = \frac{F_{50} - F_{25}}{(d_{50} - d_{25})} \quad (1)$$

Donde IRT es el índice de rigidez a tracción, en kN/mm; F_{50} es el valor correspondiente al 50% de la carga máxima, en kN; F_{25} es el valor del 25% de la carga máxima, en kN; d_{50} es el desplazamiento en el 50% de la carga máxima, en mm; y d_{25} es el desplazamiento en el 25% de la carga máxima, en mm.

Energía de fractura: está representada por la integral del área bajo la curva de carga-desplazamiento, dividida por la superficie de fractura.

$$G_D = \frac{\int_0^{df} F(x).dx}{S} \quad (2)$$

Donde G_D es la energía de fractura, en J/m^2 ; F es la fuerza en función del desplazamiento, en N; x es el desplazamiento, en m; S es la superficie de fractura, en m^2 ; y df es el desplazamiento final del ensayo, en m.

Índice de tenacidad: es el producto del área de la curva post-pico por el desplazamiento realizado por la prensa hasta reducir la carga al 50% de la máxima.

$$IT = \frac{\int_{d_M}^{d_{0,5PM}} F(x).dx}{S} * (d_{0,5PM} - d_M) \quad (3)$$

Donde IT es el índice de tenacidad, en $(J/m^2).mm$; d_M es el desplazamiento correspondiente a la F_{max} , en m; y $d_{0,5PM}$ es el desplazamiento en la parte descendente correspondiente al 0,5 de la F_{max} , en mm.

Desplazamiento correspondiente al 50% de la carga máxima en la zona post-pico: este parámetro, alternativo al IT , también puede valorar la ductilidad y tenacidad de la mezcla.

Resultados

Huecos y módulo de rigidez

El contenido de huecos y el módulo de rigidez se aprecian en la Figura 3, en términos de valores medios junto con las barras de error representando la desviación estándar.

En cuanto al contenido de huecos, se puede apreciar que a medida que el porcentaje de RAP aumenta resulta más difícil compactar la mezcla reciclada, dando por resultado un aumento en los huecos.

Cuando el contenido de RAP se incrementa al 40%, aumenta considerablemente el valor del módulo, llegando a superar el doble del valor registrado para la mezcla de referencia. A pesar del incremento de los huecos al pasar del 40 al 60% de RAP (un 1% más de huecos) no se observó que haya incidido en el valor del módulo, que se mantiene prácticamente constante en este rango.

La mezcla de betunes resultante es más rígida al subir la tasa de RAP, mientras que se puede apreciar cómo el módulo desciende notablemente al añadir el rejuvenecedor. Inicialmente se habían considerado dos dotaciones de rejuvenecedor, 5 y 10%, pero al analizar los resultados y no encontrar diferencias significativas en la respuesta del módulo se decidió añadir una tercera dotación, del 20%. Efectivamente, se pudo comprobar que, si bien la mezcla resultaba más trabajable con un 20% de aditivo (el contenido de huecos continuaba descendiendo), el módulo se había reducido mucho más que el de la mezcla de referencia (64% del módulo de referencia).

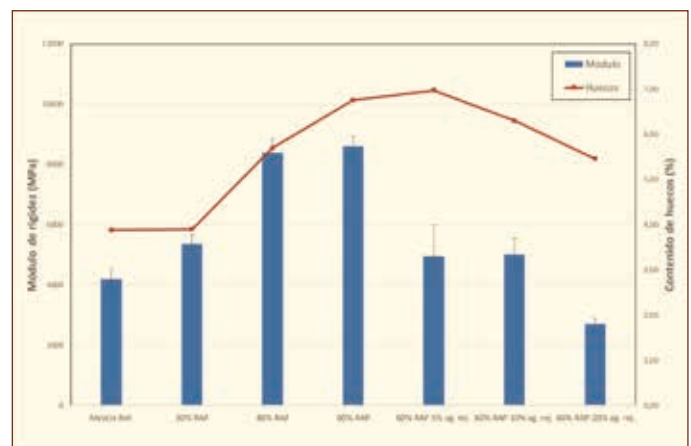


Figura 3. Contenido de huecos y módulo de rigidez a 20 °C.

Resistencia a tracción indirecta

Todos los valores de resistencia a tracción indirecta por vía seca oscilan entre 1,5 y 2,6 MPa, y los de la resistencia por vía húmeda varían entre 1,4 y 2,4 MPa, Figura 4 (igual que en la figura anterior, se representan los valores medios y la desviación estándar).

Se observa un incremento de ambas resistencias cuando se añade RAP hasta el 40%, a partir del cual este parámetro vuelve a disminuir, siendo mucho más acusada la diferencia cuando se incorpora el rejuvenecedor. Todas las mezclas con RAP sin rejuvenecedor presentan resistencias superiores a la mezcla de referencia, poniendo en evidencia el efecto rigidizador del RAP. Sin embargo, al pasar del 40 al 60% de RAP ambas resistencias disminuyen, fenómeno ya observado por otros investigadores.^[18, 19, 20] A efectos comparativos, en este estudio se ha mantenido constante el contenido total de betún, aunque podría ocurrir que el contenido de betún óptimo para cada mezcla reciclada sea diferente en cada caso, especialmente cuando se incorpora un 60% de RAP, debido al alto grado de envejecimiento del betún aportado por el RAP. Debe tenerse en cuenta que es casi improbable que todo el betún del RAP se movilice, según estudios realizados por Shirodkar^[21] el grado de movilización suele oscilar entre un 70 y un 96%, dando por resultado un contenido de betún “efectivo” inferior al total. Consecuentemente, a mayor porcentaje de RAP, menor contenido total de betún efectivo.

Las mezclas con rejuvenecedores, por su parte, muestran resistencias inferiores a las de la mezcla de referencia, si bien la resistencia conservada (cociente entre ambas resistencias, húmeda/seca), es superior al de las mezclas recicladas cuando se añade un 10 y un 20% de rejuvenecedor.

Todas las mezclas presentan una resistencia conservada superior al 90%, es decir, todas cumplen el requerimiento del 80% exigido para mezclas en capas de base e intermedias, donde las especificaciones españolas permiten extender mezclas recicladas. A pesar de haberse obtenido resultados satisfactorios en todos los casos es visible que la resistencia conservada disminuye al aumentar el contenido de RAP y vuelve a subir al añadir el rejuvenecedor.

Estos resultados llevan a reflexionar sobre el hecho de no contar con especificaciones de valores absolutos de resistencia a tracción indirecta. Por otro lado, teniendo en cuenta que todas las mezclas cumplen sobradamente con la especi-

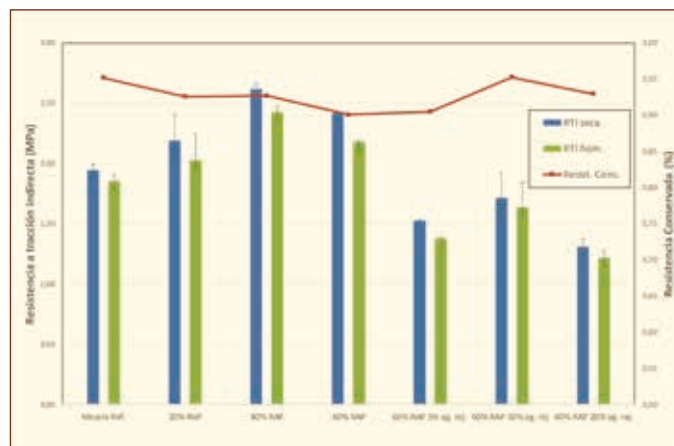


Figura 4. Resistencia a tracción indirecta vía seca a 15 °C.

cación de la resistencia conservada, podría cuestionarse si el tipo de acondicionamiento húmedo para evaluar la sensibilidad al agua de las mezclas es el adecuado o si debería modificarse.

Ensayo Fénix a 20 °C

De los parámetros obtenidos del ensayo Fénix, se presentan a continuación la variación del IRT y del $d_{0,5PM}$, en la Figura 5, y la variación de la GD y del $d_{0,5PM}$ en la Figura 6. El IRT representa una medida de la rigidez, que puede ser elevada en el caso de las mezclas recicladas, y el $d_{0,5PM}$ que puede ser la más crítica para estas mezclas, ya que el material envejecido las convierte en menos dúctiles. Por su parte, el GD se relaciona con la resistencia a la fisuración de la mezcla, por tanto, cuanto mayor sea este parámetro, mejor resistirá la mezcla a las sollicitaciones de tracción.

La figura 5 muestra cómo el IRT aumenta a medida que se incrementa el contenido de RAP hasta el 40%; al añadir un 60% de RAP este parámetro disminuye, quedando en un valor intermedio entre el del 20 y el del 40%, del mismo modo que lo hace la resistencia a tracción indirecta. Aunque la rigidez no aumenta al pasar de 40 al 60% de RAP, se ha graficado otro parámetro en la figura, el desplazamiento al 50% de la carga máxima post pico, que demuestra la pérdida de ductilidad de las mezclas recicladas en comparación con la mezcla de referencia, y que muestra su valor mínimo para las mezclas con 60% de RAP.

Por otra parte, se aprecia el efecto del rejuvenecedor, que consigue reducir la rigidez e incrementar la ductilidad de las mezclas recicladas con 60% de RAP. Todas las mezclas con rejuvenecedor tienen menos ductilidad que la mezcla de referencia, si bien se observa que este parámetro aumenta a medida que se incorpora un mayor contenido de rejuvenecedor.

Con 5% y 10% de rejuvenecedor el resultado del IRT y la ductilidad se mantiene casi constante: el IRT (para ambas dotaciones de rejuvenecedor) queda muy próximo al de la mezcla con 20% de RAP y la ductilidad tiene un valor intermedio al de las obtenidas con las mezclas con 20 y 40% de RAP. Al añadir un 20% de rejuvenecedor el IRT continúa disminuyendo, con un valor inferior al de la mezcla de referencia, del mismo modo que sucedía con el módulo de rigidez, incrementando su ductilidad pero sin llegar a alcanzar el valor de la mezcla de referencia.



Figura 5. Índice de rigidez a tracción y desplazamiento al 50% de la carga máxima post pico, ensayo Fénix a 20 °C.

☎ 462 623 1370

@ ventas@asfaltos.mx

📍 Paseo de la Altiplanicie #11
Torre Wolken, 3er Piso Int.C
Villas de Irapuato, Irapuato,
Guanajuato, México. C.P. 36670

Combustibles alternos

Asfaltos

Emulsiones

MISIÓN

Ofrecer a nuestros clientes certidumbre en el suministro, confianza en la entrega y calidad en los productos asfálticos y combustibles que requiere el mercado de la construcción de pavimentos y la industria en general de nuestro país.

- Intercambiadores de calor
- Calentadores de aceite térmico
- Tuberías y forros térmicos
- Proyectos llave en mano
- Tanques fijos y móviles para almacenar asfalto
- Silos para almacenamiento de mezclas asfálticas
- Plantas para fabricación de asfaltos modificados
- Plantas para fabricación de emulsiones



Somos una empresa líder en México en la aplicación de Diseño y Tecnología para la fabricación de equipos especializados para la industria del asfalto y sus derivados. Innovamos constantemente para estar a la vanguardia con altos estándares de calidad.



Tel. (52) 462-623-1391

ventas@tanquesyremolques.mx

Paseo de la Altiplanicie 11, Torre Wolken
3-C Irapuato, Guanajuato C.P. 36670

www.tanquesyremolques.mx

La figura 6 muestra la variación de la energía disipada a 20 °C, con una tendencia similar a la observada en el IRT. Esta figura indica que todas las mezclas recicladas tienen una energía de fractura superior a la de la mezcla de referencia. El efecto del rejuvenecedor reduce esta energía a valores inferiores que los de la mezcla de referencia con las tres dotaciones estudiadas.

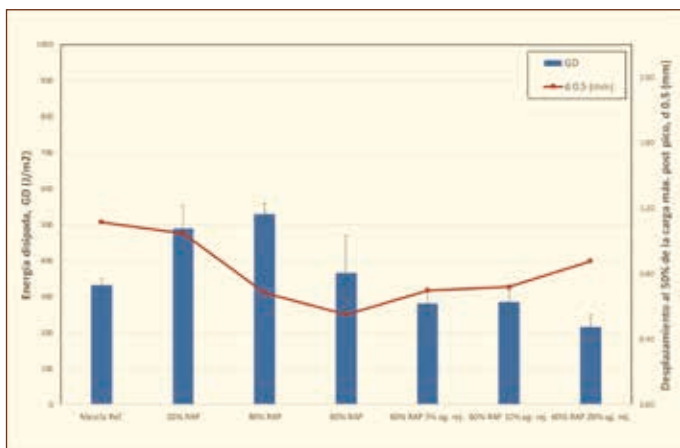


Figura 6. Energía disipada y desplazamiento correspondiente al 50% de la carga máxima en la zona post-pico ($d_{0,5PM}$), ensayo Fénix a 20 °C.

Se han propuesto unos criterios para el uso del ensayo Fénix en el diseño de mezclas bituminosas convencionales tipo AC,^[22] tabla 2. Si se consideran los valores indicados en esta tabla se comprueba que todas las mezclas recicladas cumplen con el valor mínimo propuesto de IRT, igual a 2,5 kN/mm, así como con el valor mínimo admisible de $d_{0,5PM}$, de

Tabla 2. Criterios de diseño propuestos para las mezclas AC ^[22]		
Huecos (%)		> 4
IRT (kN/mm)		> 2,5
G_D (J/m²)		> 200
IT (J/m²) mm	Admisible	> 75
	Recomendable	> 150
	Mezclas dúctiles	> 200
$d_{0,5PM}$ (mm)	Admisible	> 0,4
	Recomendable	> 0,8
	Mezclas dúctiles	> 1,0

0,4 mm. Sólo la mezcla de referencia y la del 20% de RAP superan el valor mínimo propuesto para las mezclas dúctiles, de 1 mm.

El ensayo Fénix muestra que, al incrementar el contenido de RAP, se dificulta la movilización del betún envejecido, causando un incremento importante del IRT y un descenso del $d_{0,5PM}$; mientras que, al incorporar el rejuvenecedor es posible modificar las propiedades del betún y dar como resultado una mezcla con 60% de RAP cuya rigidez y ductilidad se parecen a las de una mezcla con 20% de RAP.

Fragilidad frente a rejuvenecimiento

Los resultados del ensayo Fénix permiten analizar mejor el efecto de los rejuvenecedores en el comportamiento de la mezcla. Los ensayos basados en la determinación del módulo de rigidez o de la tensión de rotura a tracción indirecta sólo nos permiten conocer el efecto del rejuvenecedor sobre la rigidez y la resistencia de la mezcla. Esto también nos lo proporciona el ensayo Fénix. Pero este ensayo nos da información sobre otra propiedad de las mezclas, su ductilidad. Nos informa sobre si la mezcla tiene una rotura frágil o dúctil.

En la figura 7 se ha representado, frente a la mayor o menor deformación que experimentan estas mezclas en la rotura, valorada por la deformación que presentan en el ensayo de rotura al 50% de la carga máxima, el módulo de rigidez (ensayo de rigidez) y el IRT (ensayo Fénix) de cada una de las mezclas ensayadas. Se observa cómo la mezcla patrón tiene una respuesta dúctil, lo que presenta una mayor deformación en su rotura. A medida que se va incorporando el RAP la mezcla se hace más rígida y más frágil. Si nada más tuviésemos en cuenta el módulo de rigidez (ensayo de módulo resiliente) se llega a la conclusión que la mezcla con RAP tiene una mejor respuesta mecánica por su mayor módulo. Pero si tenemos en cuenta su ductilidad, ensayo Fénix, se deduce de este ensayo que la mezcla ha perdido su ductilidad y se ha convertido en un material frágil.

Al introducir el rejuvenecedor se observa un proceso de mejora de la ductilidad. Las mezclas así fabricadas presentan una respuesta que se parece más a la inicial. Mantienen una rigidez similar a la inicial y su ductilidad ha ido aumentando. El ensayo Fénix nos ayuda a apreciar mejor este efecto del aditivo para rejuvenecer y dar ductilidad a las mezclas fabricadas.

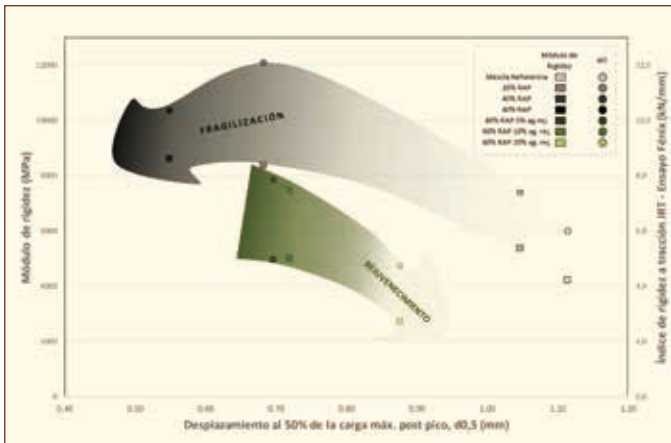


Figura 7. Módulo de rigidez e índice de rigidez IRT del ensayo Fénix en función del desplazamiento correspondiente al 50% de la carga máxima en la zona post-pico ($d_{0,5PM}$), ensayo Fénix a 20 °C.

Lo mismo ocurre en la Figura 8 donde se han representado las resistencias (ensayo de tracción indirecta y Fénix) frente a la deformación (ensayo Fénix). Los resultados muestran el aumento de resistencia y fragilización de la mezcla al añadir el RAP y cómo ésta mejora su ductilidad y, por otra parte, cómo se aproxima más su respuesta a la mezcla de referencia al ir usando los aditivos y rejuvenecedores.

Conclusiones

Se ha analizado el efecto del contenido de RAP (20, 40 y 60%) y del rejuvenecedor (5, 10 y 20%) sobre

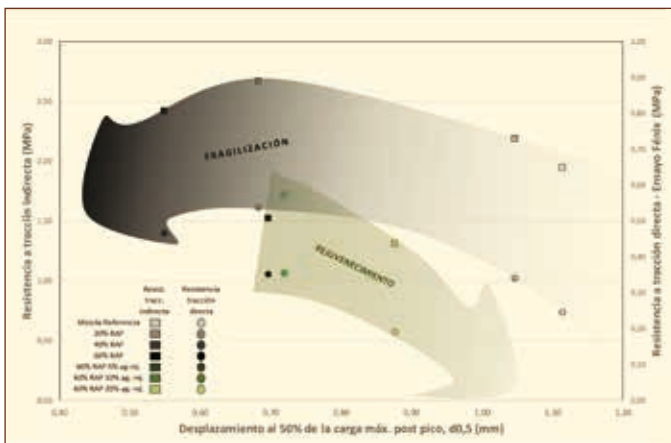


Figura 8. Resistencia a tracción indirecta y resistencia del ensayo Fénix en función del desplazamiento correspondiente al 50% de la carga máxima en la zona post-pico ($d_{0,5PM}$), ensayo Fénix a 20 °C.

las propiedades volumétricas y mecánicas de una mezcla tipo AC22S reciclada, mediante la determinación del contenido de huecos, el módulo de rigidez, la sensibilidad al agua y la resistencia a la fisuración con el ensayo Fénix. En este estudio se ha mantenido constante el contenido total de betún (4,25% sobre mezcla); sin embargo, el contenido de betún óptimo para cada mezcla reciclada puede ser diferente en cada caso, teniendo en cuenta que no todo el betún existente en el RAP podría haberse movilizado y mezclado con el betún virgen. Las conclusiones a las que se han arribado se resumen a continuación:

A medida que el porcentaje de RAP aumenta resulta más difícil compactar la mezcla reciclada, dando por resultado un aumento en los huecos de aire. La incorporación del agente rejuvenecedor permite reducir el contenido de huecos.

El módulo de rigidez aumenta con el contenido de RAP llegando a superar el doble del valor registrado para la mezcla de referencia cuando se emplea un 40% de RAP. La mezcla de betunes resultante es más rígida al subir la tasa de RAP, mientras que se puede revertir este proceso al añadir el rejuvenecedor.

La resistencia a tracción indirecta de todas las mezclas recicladas sin rejuvenecedor es superior a la de la mezcla de referencia. Del mismo modo que se ha observado con el módulo de rigidez, también se incrementa conforme sube el contenido de RAP hasta el 40%, a partir del cual disminuye, especialmente cuando se incorpora el rejuvenecedor. Todas las mezclas presentan una resistencia conservada superior al 90%, es decir, todas cumplen el requerimiento del 80% especificado. A pesar de haberse obtenido resultados satisfactorios en todos los casos es visible que la resistencia conservada disminuye al aumentar el contenido de RAP y vuelve a subir al añadir el rejuvenecedor. Estos resultados han dado paso a una serie de interrogantes: ¿Debería investigarse sobre la posibilidad de diseñar mezcla con un valor absoluto de resistencia mínimo? ¿Es suficiente el tipo de acondicionamiento en húmedo para simular la sensibilidad al agua?

El ensayo Fénix ha permitido apreciar cómo las mezclas recicladas presentan un incremento importante del IRT y un descenso del $d_{0,5PM}$; mientras que, al incorporar el rejuvenecedor es posible modificar las propiedades del betún y obtener una mezcla con

60% de RAP cuya rigidez y ductilidad se parecen a las de una mezcla con un contenido entre un 20 y un 40% de RAP.

Se han evaluado estas mezclas considerando los criterios propuestos para el uso del ensayo Fénix en el diseño de mezclas bituminosas convencionales tipo AC y se ha comprobado el cumplimiento del parámetro de rigidez IRT mínimo, como era de esperar, mientras que sólo la mezcla con un 20% de RAP equipara su ductilidad a la de una mezcla sin

RAP. Se ha comprobado la capacidad del ensayo Fénix para evaluar el comportamiento de las mezclas recicladas. Este ensayo ofrece la ventaja de evaluar la rigidez, la resistencia y la ductilidad de las mezclas, sin la necesidad de recurrir a ensayos adicionales. La evaluación conjunta de estas propiedades permite poner claramente de manifiesto los procesos de fragilización al añadir RAP o los procesos de rejuvenecimiento al incorporar un aditivo a las mezclas recicladas.



¿Quieres profundizar?

- [1] Kandhal P.S., Rao S.S., Watson D.E., Young B. "Performance of recycled hot mix asphalt mixtures in State of Georgia". National Center for Asphalt Technology, NCAT Report 95-01, 1995.
- [2] McDaniel R., Soleymani H., Anderson R., Turner P., Peterson R. "Recommended use of reclaimed asphalt pavement in the superpave mix design method". NCHRP Web Document 30 (Project D9-12): Contractor's Final Report, 2000.
- [3] Mc Daniel R., Soleymani H., Shah A. "Recommended use of reclaimed asphalt pavement in the superpave mix design method: technician's manual". National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 452, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC, 2002.
- [4] Li X., Marasteanu M., Williams R., Clyne T. "Effect of RAP (proportion and type) and binder grade on the properties of asphalt mixtures". Transport Research Record: Journal of the Transportation Research Board Vol. 2051, pp.90-97, 2008.
- [5] Appea A.K., Rorrer T., Clark T. "Case studies on processes involved in the production and placement of high RAP asphalt concrete mixes in 2007 on selected routes in Virginia". Transportation Research Board 88th Annual Meeting. CD-ROM. Washington, DC, 2009.
- [6] Maupin Jr. G.W., Diefenderfer S., Gillespie J. "Performance and economic evaluation of Virginia's higher RAP specification". Transportation Research Board 88th Annual Meeting. CD-ROM. Washington, DC, 2009.
- [7] Kim W., Lim J., Labuz J. "Cyclic triaxial testing of recycled asphalt pavement and aggregate base". Transportation Research Board 88th Annual Meeting. CD-ROM. Washington, DC, 2009.
- [8] West R., Kvasnak A., Tran N., Turner P. "Laboratory and accelerated field performance testing of moderate and high RAP content mixes at NCAT test track". Transportation Research Board 88th Annual Meeting. CD-ROM. Washington, DC, 2009.
- [9] Celauro C., Celauro B., Boscaino G. "Production of innovative, recycled and high-performance asphalt for road pavements". Resources, Conservation and Recycling Vol. 54, pp. 337-347, 2009.
- [10] Zaumanis M., Mallick R., Poulidakos L., Frank, R. "Influence of six rejuvenators on the performance properties of reclaimed asphalt pavement (RAP) binder and 100% recycled asphalt mixtures", Construction and Building Materials Vol. 71, pp. 538-550, 2014.
- [11] Carpenter, S., Wolosick, J. "Modifier influence in the characterization of hot-mix recycled material". Transportation Research Record Vol. 777, TRB, Washington, DC, pp. 15-22, 1980.
- [12] Im S., Zhou F., Lee R., Scullion T. "Impacts of rejuvenators on performance and engineering properties of asphalt mixtures containing recycled materials", Construction and Building Materials Vol. 53, pp.596-603, 2014.
- [13] Zaumanis M., Mallick R., Frank R. "Evaluation of different recycling agents for restoring aged asphalt binder and performance of 100% recycled asphalt", Materials and Structures Vol. 48, pp. 2475-2488, 2015.
- [14] Willis R., Nam H. "Bring Life Back to Aging Asphalt Binder". Asphalt Pavement Magazine, pp. 36-41, July/August 2015.
- [15] Miró R., Martínez A., Pérez-Jiménez F., Botella R. "Analysis of cracking resistance of bituminous mixtures using Fenix test". Construction and building materials, Vol. 59, pp. 32-38, 2014.
- [16] Pérez-Jiménez F., Valdés G., Miró R.; Martínez A., Botella R. "Fénix Test. Development of a new test procedure for evaluating cracking resistance in bituminous mixtures". Transportation Research Record, Journal of Transportation Research Board Vol. 2181, pp. 36-43, 2010.
- [17] Pérez-Jiménez F., Botella R., Martínez A., Miró R. "Analysis of the mechanical behaviour of bituminous mixtures at low temperatures". Construction and building materials, Vol. 46, pp. 193-202, 2013.
- [18] Al Helo, K. H. I., Qasim, Z. I., Majeed, A. D. "Tensile strength for mixture content reclaimed asphalt pavement". Global Journal of Engineering Science and Research Management. Karim H. *et al.*, 3(11), pp. 26-34, November, 2016.
- [19] Shunyashree T. B., Archana M. R., Amarnath M. S. "Effect of use of recycled materials on indirect tensile strength of asphalt concrete mixes". IC-RICE Conference Issue, pp. 226-232.
- [20] Arshad A. K., Mohammad M., Shaffie E., Hashim W., Halim A. A. (2017). "Volumetric analysis and performance of hot mix asphalt with variable RAP content". MATEC Web of Conferences, Vol. 103, 09004. EDP Sciences.
- [21] Shirodkar P., Mehta Y., Nolan A., Sonpal K., Norton A., Tomlinson C., Dubois E., Sullivan P. Sauber R. "A study to determine the degree of partial blending of reclaimed asphalt pavement (RAP) binder for high RAP hot mix asphalt". Construction and Building Materials Vol. 25 (1), pp. 150-155, 2011.
- [22] Pérez-Jiménez F., Valdés G., Muñoz M., Miró R., Martínez A., Botella R., Amorós J. "Criterios y especificaciones para el uso del ensayo Fénix en el diseño de mezclas bituminosas tipo AC". IX Jornada Nacional ASEFMA 2014. Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (ASEFMA), Madrid, 2014.

Tecnologías a favor de la continuidad y la calidad de la producción de mezclas asfálticas

Vinicius Zimmer
vinicius.czimmer@ciber.com.br

La producción de mezclas asfálticas en caliente implica una complejidad de factores que lo vuelve un proceso vulnerable a paradas repentinas del equipo. Las consecuencias de esos mantenimientos no esperados son desastrosas para el negocio, pues se sabe que una planta parada es un elevado precio por pagar. Con el objetivo de reducir al mínimo las interrupciones en la producción, nuevas tecnologías aplicadas en los componentes de desgaste y de monitoreo electrónico de los motores de las plantas de asfalto durante la producción permiten la previsibilidad de mantenimientos, sustituyendo los mantenimientos correctivos en preventivos y predictivos.

El mantenimiento preventivo es un concepto ampliamente difundido y utilizado en equipos y busca programar las paradas de la máquina según la expectativa de desgaste, con base en un promedio de estadísticas de aplicaciones genéricas. Ya el mantenimiento predictivo es mucho más complejo, pues considera la condición actual y la dinámica de los componentes, según aplicaciones específicas, para programar el mantenimiento para el momento correcto. Según Marcelo Zubaran, ingeniero de aplicación y especialista en productos de Ciber Equipamentos Rodoviários, «obtener la información correcta en el momento correcto sobre el desgaste de un componente o una tendencia a la falla de un motor, es una ventaja muy importante para el productor de mezcla asfáltica».

El mantenimiento predictivo apenas puede ser implementado con dispositivos de monitoreo que constan en los componentes del equipo, sean ellos dispositivos mecánicos o electrónicos.


Componentes con perfil de desgaste abrasivo que se desarrolla a lo largo de la vida útil permite un plan de mantenimiento predictivo. Las paletas del mezclador de la planta presentan desgaste proporcional al tiempo de uso y, de esa forma, a través de marcas físicas en las paletas, se obtiene una respuesta visual sobre el nivel de desgaste y la previsión de sustitución del componente. Ya las condiciones de los filtros de manga de la planta son monitoreadas indirectamente y a lo largo de la producción, a través de medidores de presión instalados en la caja de filtro, que indica si hay tendencia de saturación



de los filtros. De esa forma, se evitan mayores daños a los elementos de filtrado e incluso de desgaste en el extractor de la planta.

Por otro lado, tecnologías de punta como el monitoreo del consumo de potencia de los motores durante la producción, llamado sistema de diagnóstico de fallas, también suministra importantes informaciones para el operador, en tiempo real, sobre las condiciones de la operación de los motores. «Si algún motor de la planta, en régimen de operación, no está operando en su condición excelente, inmediatamente la planta dispara una alarma. El operador podrá decidir si encierra determinada demanda de mezcla asfáltica y posteriormente comprobar las condiciones de ese motor, o detener la planta. De esa forma, una tecnología de mantenimiento predictivo hace viable la realización de un mantenimiento preventivo», dice Marcelo Zubaran.

Para hacer viable esa tecnología, es necesario que los motores estén conectados a algún dispositivo de medición de corriente eléctrica y que ese dispositivo está conectado a alguna red de transmisión de datos. Inversores de frecuencia acoplados a motores, que permiten la variación de su velocidad de giro, son capaces de medir la corriente de un motor. También tecnologías como el Soft Starter, que ameniza la partida de motores «grandes» sin inversor de frecuencia, miden la corriente eléctrica y sistemas de partida integrada, a ejemplo de Teys U, también mide la corriente de los motores. Esos dispositivos deben tener una salida de red para que haya una comunicación digital hasta la computadora de la planta que, a partir de un software, gerencia las informaciones.

Esas tecnologías tienden a minimizar las paradas inesperadas y a viabilizar la planificación asertiva de los mantenimientos. Como consecuencia, hay un aumento de productividad, reducción de costes de producción y logísticos, siendo la única posibilidad de alcanzar una logística «just in time». 

¿Sabías que...

los pavimentos asfálticos son seguros aún mojados?

La conducción segura requiere que los conductores puedan frenar y parar satisfactoriamente bajo condiciones normales de circulación y climatología. Cuando llueve es vital proceder a la rápida eliminación del agua entre el neumático y la carretera. Los asfaltos porosos o con textura negativa permiten drenar la escorrentía superficial tanto por dentro como por encima del material, reduciendo la nube de salpicadura y proporcionando agarre al neumático.

Fuente: asphaltadvantages.com





Asociación Mexicana
del Asfalto A.C.



CONGRESO IBERO LATINO
MÉXICO

RETOS Y OPORTUNIDADES

GUADALAJARA, J

25-29 de nov

PROGRAMA HORARIO (Preliminar)

LUNES 25 DE NOVIEMBRE	MARTES 26 DE NOVIEMBRE	MIÉRCOLES 27 DE NOVIEMBRE	JUEVES 28 DE NOVIEMBRE	VIERNES 29 DE NOVIEMBRE
08:00 REGISTRO	08:00 REGISTRO	08:00 INICIO DE TRASLADO AL LUGAR DE LA CONFRATERNIDAD	08:00 REGISTRO	08:00 REGISTRO
09:30 INAUGURACIÓN	09:00 AULA PD CUARTO BLOQUE DE 5 PONENCIAS AULA 2 QUINTO BLOQUE DE 5 PONENCIAS	08:45 TRASLADO AL LUGAR DE LA CONFRATERNIDAD	09:00 AULA PD DÉCIMO BLOQUE DE 5 PONENCIAS AULA 2 UNDÉCIMO BLOQUE DE 5 PONENCIAS	09:00 MAGISTRAL 3
10:10 CORTE DE LISTÓN Y RECORRIDO POR LA EXPO	10:30 RECESO	10:00 CONVIVIO	10:30 RECESO	10:00 DÉCIMO SEXTO BLOQUE DE 5 PONENCIAS
11:00 MAGISTRAL 1	10:50 AULA PD SEXTO BLOQUE DE 5 PONENCIAS AULA 2 SÉPTIMO BLOQUE DE 5 PONENCIAS		10:50 AULA PD DUODÉCIMO BLOQUE DE 5 PONENCIAS AULA 2 DÉCIMO TERCERO BLOQUE DE 5 PONENCIAS	11:30 RECESO
12:00 PRIMER BLOQUE DE 5 PONENCIAS	12:20 TRASLADO A SIMULTÁNEAS		12:20 TRASLADO A SIMULTÁNEAS	11:50 MAGISTRAL 4
13:30 REFRIGERIO	12:30 BLOQUE 1 10 SIMULTÁNEAS EN PLASMAS		12:30 BLOQUE 3 10 SIMULTÁNEAS EN PLASMAS	12:50 MAGISTRAL 5
14:30 MAGISTRAL 2	13:30 REFRIGERIO		13:30 REFRIGERIO	13:50 RECESO
15:30 SEGUNDO BLOQUE DE 4 PONENCIAS	14:30 BLOQUE 2 10 SIMULTÁNEAS EN PLASMAS		14:30 BLOQUE 4 10 SIMULTÁNEAS EN PLASMAS	14:00 CLAUSURA
16:50 RECESO	15:30 TRASLADO A SIMULTÁNEAS		15:30 TRASLADO A SIMULTÁNEAS	15:00 VINO DE HONOR
17:10 TERCER BLOQUE DE 3 PONENCIAS	15:40 AULA PD OCTAVO BLOQUE DE 5 PONENCIAS AULA 2 NOVENO BLOQUE DE 5 PONENCIAS		15:40 AULA PD DÉCIMO CUARTO BLOQUE DE 5 PONENCIAS AULA 2 DÉCIMO QUINTO BLOQUE DE 5 PONENCIAS	
18:00 TRASLADO AL COCTEL DE BIENVENIDA	17:10 RECESO		17:10 RECESO	
19:00 COCTEL DE BIENVENIDA	17:30 EVENTO SOCIO CULTURAL		17:30 EVENTO SOCIO CULTURAL	
21:30				



Expo-ASFALTO 2019

xxcila.mx



SEDE

Conjunto Santander
de Artes Escénicas



AMERICANO DEL ASFALTO
CO 2019

EN EL MUNDO DEL ASFALTO ALISCO, MÉXICO iembre 2019



CIL
CONGRESOS BICENTENARIO AMERICANOS DEL ASFALTO

DATOS BANCARIOS

MONEDA: DÓLAR AMERICANO (USD)

BANCO CITIBANAMEX
ASOCIACIÓN MEXICANA DEL ASFALTO, A.C.
CUENTA CLABE 002180054195710690
NÚMERO 05419571069
SUCURSAL 0541 - PERISUR
CÓDIGO SWIFT BNMXXMM
PAÍS MÉXICO
CIUDAD DE MÉXICO

MONEDA: PESO MEXICANO (MXN)

BANCO CITIBANAMEX
ASOCIACIÓN MEXICANA DEL ASFALTO, A.C.
CUENTA CLABE 002180054186124978
NÚMERO 05418612497
SUCURSAL 0541 - PERISUR

TEMÁTICA

- ☛ Materiales asfálticos
- ☛ Materiales pétreos
- ☛ Mezclas asfálticas a baja temperatura
- ☛ Proyecto estructural de pavimentos
- ☛ Construcción y conservación de pavimentos
- ☛ Ecoeficiencia en la pavimentación
- ☛ Mezclas asfálticas en caliente
- ☛ Gestión de activos



Cuotas

	Antes el 25 de mayo de 2019	Antes del 24 de agosto de 2019	Antes del 26 de octubre de 2019	A partir del 26 de octubre de 2019
SOCIOS	US\$500.00	US\$550.00	US\$600.00	US\$700.00
NO SOCIOS	US\$600.00	US\$660.00	US\$750.00	US\$900.00
AUTORES*	US\$450.00	US\$450.00***	***	***
ESTUDIANTES**	US\$225.00	US\$250.00	US\$275.00	US\$300.00
ACOMPAÑANTES	US\$250.00	US\$280.00	US\$320.00	US\$375.00

* Pago especial a autores (uno por trabajo)

** Estudiantes de licenciatura con credencial vigente

*** La fecha máxima para la inscripción de autores y confirmación de su asistencia será el 24 de septiembre de 2019

Inscríbete al XX CILA a través de la página **xxcila.mx** y aprovecha los descuentos por pago anticipado.

toda la información la obtendrás en: **xxcila.mx**

Expo-ASFALTO
2019

Convocatoria

Artículos

Inscripciones



En nuestra revista AsfálticA 57 de enero pasado, publicamos el relato corto ganador del primer lugar en el concurso internacional que lanzó la Revista Carreteras. Ahora publicamos el cuento del ganador del tercer lugar, también mexicano y estudiante de ingeniería civil.

El Consejo de Redacción de la Revista Carreteras, reunido en Madrid, el lunes 10 de diciembre de 2018, en su condición de Jurado del I Concurso de Relato Corto «Cuentos de la Carretera» de la Revista Carreteras, y conforme a lo establecido en las Bases de la convocatoria, acuerda:

- Conceder el Tercer Premio al trabajo titulado “Conversación en el puente de la carretera 95”, del que es autor Oscar Eduardo Rubín Cárdenas, estudiante de Ingeniería Civil en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus Querétaro (México), el cual orgullosamente reproducimos.

Conversación en el puente de la carretera 95

El mozo, sentado con los pies apuntando al tejado de los autos que pasaban velozmente debajo de aquellos, abrió la boca y habló, muy entristecido, con el señor que había acercádose a él prediciendo sus malhadadas intenciones.

—Estoy enamorado de Andrea Rosas.

Crecí en este lugar, rodeado de florecilla silvestres y aromas deliciosos, frente a la Carretera 95, la que se dirige a Voorhees, el pueblo en donde Andrea nació y en donde probablemente morirá. Y no digo esto porque insinúe que jamás se atreverá a salir de su pueblo, sino porque una vez la oí decirse

a sus amigas, unas rufianas más feas que un embarazo ectópico si se las compara con Andrea, tan bella y perfecta que haría ruborizar a la misma Afrodita y cuestionar su mal ejercida heterosexualidad.

Todas la noches, salgo a vender tacos, gringas, tortas, anticuchos y papas rellenas en el paradero de la Carretera 95 en donde ésta cruza la Avenida Paparulo. Soy un joven honrado de veintidós años, tengo muchos sueños que cumplir, como inaugurar mi restaurante de barbacoa en la Carretera 102, a unos kilómetros de Ciudad de Jesús, más allá de Voorhees, hacia Nostradamus, cerca de la frontera. ¿Por qué allí? Oí también que Andrea adoraba la ciudad, y no la culpa. Una mujer refinada, estudiante de ingeniería civil en la mejor universidad del país es, como su naturaleza indica, adicta a las tiendas gigantes de ropa y demás lujos de la clase media alta. En este mi negocio la conocí. Sus amigas solían visitarme con agradable frecuencia en una camioneta de no sé qué marca, no conozco mucho sobre autos. Sus nombres los tengo aquí —señaló su cabeza— de memoria. Son tres: una morocha llamada Josefina, otra rubia de metro y medio llamada Lorena y otra pálida con un acné muy mal



curado llamada Valeria. La morena es gorda como un tonel y pide una orden de cinco anticuchos y una gringa sin falta. La de pelo amarillo ordena cinco tacos al pastor y nada más. Valeria baja con ellas, pero usualmente no ordena nada. La que no desciende de la camioneta es Andrea; sin embargo, conversa con sus amigas pues deja abierta la ventana. Tiene unos ojos negros preciosos, negros como un suicidio, el delito que me llevará al infierno.



Creo que vale la pena decir que Andrea sólo bajó de la camioneta una vez. Entonces distinguí su esbelta figura, tallada quizá por Miguel Ángel, y no me refiero al anciano que hace las figuras de santos para la iglesia de aquí a dos cuadras, sino al famoso artista plástico homosexual que hace figuras en madera que luego vende por miles de dólares en eBay. Su modesto pecho la dota de una elegancia jamás vista en mujer alguna que merodee mi negocio para atragantarse de grasa y animales muertos; su cuello bronceado es un poderoso atractivo para mis labios secos, ansiosos por besarlos; pero lo que más enloquéeme son sus caderas, amplias como la misma Carretera 95 de seis vías, y todo lo majestuoso y bello que tal posesión implica.

En mala hora, sin embargo, me enteré de que Andrea Rosas era vegetariana estricta, o vegana como dicen por aquí. Yo vivo de la matanza de animales de corral para el consumo masivo, además, adoro personalmente el sabor de la carne. Me dolió mucho en mi corazón tercermundista que mi Andrea, la imagen de mis paroxismales deseos, se alimentase exclusivamente de vegetales como una vaca. Enamorado de ella como lo estuve y lo estoy, me acerqué hace unos días a la ventana de la camioneta y le regalé dos libros envueltos en papel periódico: El Impacto del Neocolonialismo Norteamericano en el Consumo Excesivo de Comida Chatarra en Países

Hispanos (así, con todo y mayúsculas), escrito por un tal Danilo Trompetas, y un manual que por bendita descura hallé en una librería por ahí que fui a misa al centro porque necesitaba confesarme: Guía para la rehabilitación del vegano.

No obstante, mis esfuerzos sobrenaturales por conquistarla, a Andrea Rosas digo, tal venturoso hado fue me esquivo, y desde hace exactamente siete noches, la camioneta no volvió a detenerse en mi puesto, sino como doscientos metros más allá, con el Jonás, quien vende alitas y deditos de queso. Desesperado, quise acercarme, pero no podía abandonar así no más mi puesto de comida por tanto tiempo, luego me roban y, jefe, ¿quién me repara a mí lo que pierdo si tamaña desgracia terminara por ocurrirme? Empero, pensándolo mejor, ¿de qué me vale la vida sin mí Andrea, divina imagen de todos mis pecados y mis anhelos más íntimos? Y en esas ando, señor, tratando de convencerme de que aún debo vivir, por mí mismo y no por una serie de episodios exquisitos que mi desventurada imaginación fabricó para su deleite, o mejor dicho, para aliviar una insufrible soledad.

Una vez terminó el muchacho de decir lo que debía, el señor, no sin respirar hondamente debido a la triste conmoción del espíritu que la historia oída habíale provocado, dijo:

—Escúchame, hijo, yo, como buen tañedor de laúd y escupidor de fuegos en las ferias, sé lo que es enamorarse de una mujer hermosa. Verás, alguna vez hace unos quince años, un circo ucraniano llegó a la ciudad de donde yo vengo, mandinga. Bueno, con el mencionado circo llegó quizá la muchacha más bonita que Dios haya creado jamás. Tratábase, hijo mío, de una dama del cabello dorado como los campos opimos de trigo de los cuentos de terror; poseía los ojos verdes, glaucos diamantes de luz purísima; sus pómulos ebúrneos bien hubiese servido como el más digno sagrario del Cuerpo de Nuestro Señor Jesucristo, y en los valles sinuosos de su piel perdían la razón tanto hombres de acendrada virtud como los más viles rufianes, incluidos, claro está, ingenieros electrónicos, abogados y licenciados en relaciones internacionales. Era la muchacha bellísima, singular en todo lo perfecto que es la mujer, y de una habilidad sobrenatural para realizar sus piruetas. De suerte, o mala ventura, trabajé por unos días cerca del campamento con permiso del director del circo. Y, con suerte o mala ventura otra vez, al ver éste mi destreza con el combustible y mi arte ignívoma, me contrató para que ejerciera mi profesión dentro de los lindes de la carpa.

Entonces la conocí, hijo mío, y quedé profundamente admirado por tantísima piedad de Dios para con los hombres que nos regaló a tal preciosísima criatura. No había hallado ni hallé símil hermosura en ninguna fantasía o realidad. Enamorado, pues, estaba de aquella blonda musa, alimento para el espíritu y semilla de mis talentos. Y, sin embargo, ¡oh, congoja del migrante que en cualquier corazón todo a miseria igualas! Tan apenado rostro lucía mi bella adoración que despertaba mi llanto escondido en mi refugio de gasolina y refrescos. Estando ya la nocturnancia puesta sobre los faroles medio encendidos, un viernes, en la Carretera 86, la mujer de mi impo-

sible sueño subió por un puente, al igual que tú, y lanzóse al vacío, poseída por una inenarrable paz que delató la sonrisa con la que la encontraron tendida sobre la calzada fría.

El mozuelo quedose atónito por la reciente historia, pues lejos ésta de animarlo a vivir, por el contrario, alimentaba el fuego de su depresión y su cólera para con la Providencia, esperó unos segundos a ver si el señor continuaba con su relato, pero este se limitó a observarlo fijamente, como quien espera alguna acción en particular.

—Si es el suicidio un acto que entrega a su víctima a los brazos del Espíritu del Consuelo, entonces me entrego gustoso a él y sus indescifrables consecuencias, que poco bien me hace seguir respirando y quién sabe si es que la Muerte me traer la más sublime calma.

Asustado, el señor agregó:

— ¡Oh, no, hijo mío! El hombre que rasga sus brazos en nombre del consuelo a lo conocido o exhuma de su cráneo los sesos se entrega a los brazos de Lucifer. Yo quise irme tras ella la noche siguiente, embriagado de nostalgia y dolor hasta la coronilla; pero no vale la pena morir por confirmadas utopías. ¡Escúchame! ¡No morí, estoy vivo y aún taño el laúd y es mi aliento de fuego y gasolina en las ferias!

Pero el muchacho ya no lo oía, sin que el señor hiciese algo, se lanzó al vacío y un camión enorme encargose de repartir sus intestinos por los siguientes diez metros.

Santiago de Querétaro
30 de octubre de 2018



Ensayo de corte LCB, adherencia en emulsiones asfálticas usadas como riegos de liga

Carlos Arturo Mendoza Chavero
Pedro Limón Covarrubias
Roberto Galaviz González
David Avalos Cueva
carlosmendozach@hotmail.com

Introducción

Un pavimento puede presentar deterioros como consecuencia de una inadecuada selección de materiales, un incremento considerable de las cargas transmitidas por el tránsito, condiciones climatológicas y la evolución de las deformaciones a través del tiempo.^{(1) (2)} Si además agregamos una deficiente supervisión en la calidad de la emulsión asfáltica y su capacidad para adherir dos capas, definitivamente nos encontraremos con problemas de agrietamientos por deslizamiento, baches, delaminaciones, ondulaciones, abultamientos y agrietamientos por fatiga como se muestra en los artículos de Christiane Raab⁽³⁾ y Jiayu Wang.⁽⁴⁾ Con el fin de reducir estas condiciones, Aitor Reposeiras⁽⁵⁾ afirma que uno de los factores con mayor influencia para la vida útil y el mantenimiento de un pavimento asfáltico es la adecuada adherencia entre capas la cual es alcanzada a través de la correcta aplicación y supervisión de los procesos de riego de liga durante la construcción de caminos permitiendo al pavimento trabajar como un solo elemento, distribuyendo de forma adecuada los esfuerzos y así reduciendo la probabilidad de presentar grietas y deformaciones.

La presente investigación tiene como objetivo complementar la idea de que una emulsión asfáltica de bajo contenido de residuo asfáltico puede desempeñarse mejor que una emulsión regular ya que la primera puede cubrir la superficie a adherir de forma uniforme filtrando en la textura de las capas que estamos buscando ligar, resultando en una mejor adherencia entre capas como sostiene N.F. Ghaly.⁽⁶⁾ También pretende reforzar la percepción de riegos de liga con emulsión asfáltica como el método más común para ligar capas, en mayor parte por su facilidad para ser aplicada a bajas temperaturas y su bajo contenido de solventes lo cual lo hace un método sostenible.

E. Tschegg⁽⁷⁾ mantiene que durante los últimos años el estudio de riegos de liga en pavimentos ha ganado gran importancia en Europa, por lo tanto, investigadores junto con Aitor Reposeiras,⁽⁸⁾ han estado estudiando el comportamiento de la adherencia entre capas a través de ensayos de torque, tensión y corte. Algunas variables de gran relevancia en el desempeño de las emulsiones asfálticas se han identificado, entre las que destacan: contenido asfáltico, dosificación, tipo de mezcla asfáltica, superficie de contacto, carga de compactación y temperatura de aplicación.

Considerando la metodología del modelo de Leutner, Gregory Sholar⁽⁹⁾ realizó estudios complementarios para el análisis de adherencia entre capas. Sin embargo, a través de los años, el desempeño de las emulsiones asfálticas ha sido estudiado en forma limitada. Canestrari⁽¹⁰⁾ concluyó en sus experimentos que la adherencia mejora con el paso de los días; también Christiane Raab⁽³⁾ mostró la interacción entre capas asfálticas y el desempeño del riego de liga a largo plazo. La efectividad de la emulsión asfáltica aplicada como riego de liga ha sido analizada bajo las variables de dosificación y tiempo de curado.⁽⁸⁾ Deysarkar⁽¹¹⁾ demostró que, al momento de la dosificación y el tiempo de curado de la emulsión asfáltica, el mejor desempeño se adquiere cuando se utilizan dosificaciones de 0,45 l/m², así como de 30 a 60 minutos de tiempo de curado antes de la compactación de la capa asfáltica.

Antecedentes

De acuerdo con Jiayu Wang⁽⁴⁾ un riego de liga puede ser definido como una ligera aplicación de emulsión asfáltica o líquido asfáltico colocado en una capa de mezcla asfáltica en caliente o en una capa de concreto de cemento Portland, así como en una nueva superficie de mezcla asfáltica en caliente, para crear un enlace completamente adhesivo entre las dos capas. Como menciona Eddie Johnson,⁽¹²⁾ un riego de liga logra su propósito de unir una superficie con una nueva capa con la finalidad de prevenir deterioros como los mencionados anteriormente. El grado de adherencia en los riegos de liga no suele ser tomado en cuenta en la mayoría de los procesos constructivos de pavimentos y no siempre se logra que la unión entre dichas capas sea aceptable;⁽¹³⁾ por lo que aparecen deterioros derivados de deslizamientos entre las capas los cuales reducen su vida útil, adicional los esfuerzos de corte se vuelven excesivos en algunos puntos particulares de la carretera donde las cargas horizontales se incrementan, por ejemplo en curvas, intersecciones y zonas con gradientes que causan mayores esfuerzos de corte.

Actualmente, la regulación mexicana para el control de calidad de las emulsiones asfálticas consiste básicamente en los procedimientos establecidos en la norma de la SCT N-CMT-4-05-001/05,⁽¹⁴⁾ pero como se muestra en el trabajo de Leticia Ontive-

ros,⁽¹⁵⁾ estas pruebas presentadas son un parámetro de la calidad del material, sin embargo, no describen el comportamiento mecánico de la emulsión que se comporta como una capa adherente que une las capas superiores del pavimento.

A fin de evaluar el comportamiento mecánico del riego de liga, se han realizado investigaciones⁽⁸⁾ tomando en cuenta modelos de corte, tensión y torsión los cuales tratan de representar los esfuerzos que se presentan durante la vida útil del pavimento. Algunos de los modelos más representativos son el LCB (Laboratorio de Caminos de Barcelona) implementado por la Universidad Politécnica de Cataluña,⁽¹⁷⁾ la prueba ASTRA (*Ancona Shear Testing Research and Analysis*), por la Universidad Politécnica de Marche,⁽¹⁰⁾ la prueba SHSTM (*Sapienza Horizontal Shear Testing Research and Analysis*), por la Universidad de Sapienza de Roma,⁽¹⁸⁾ la prueba FDOT (*Florida Department Of Transportation*),⁽⁹⁾ la prueba UTEP Por la Universidad de Texas El Paso,⁽¹⁹⁾ y la prueba LPDS (*Layer-Parallel Direct Shear*).⁽³⁾

Miró Recasens⁽¹⁷⁾ presenta algunos estudios donde la prueba de corte LCB es implementada. La prueba a resistencia al corte LCB, fue desarrollada por la Universidad Politécnica de Cataluña en España para estudiar el comportamiento de los riegos de liga. Un análisis comparativo entre las emulsiones convencionales, emulsiones adherentes convencionales y las emulsiones adherentes modificadas fue desarrollado para evaluar la respuesta mecánica del riego de liga. La prueba LCB evalúa los esfuerzos tangenciales provocados por una carga cortante en la unión de la capa.

Metodología

La metodología está compuesta por un total de cuatro pasos (Figura 1). Esta empieza en la producción de emulsiones asfálticas, y la determinación del porcentaje de residuo asfáltico, el cual fue de 50%, 55% y 60%, tanto para emulsiones asfálticas de rompimiento lento (ECL) como para las de rompimiento rápido (ECR). Segundo, se aplicaron dosificaciones comúnmente utilizadas como riego de liga durante la construcción de pavimentos a muestras Marshall fabricadas bajo condiciones de laboratorio de 0,3 y 0,5 l/m². Posteriormente, tres tiempos de curado fueron establecidos para observar el comportamiento

entre 1, 3 y 5 días después de la aplicación del riego de liga. Finalmente, el comportamiento mecánico de cada una de las muestras fue probado a través de la prueba de corte LCB.

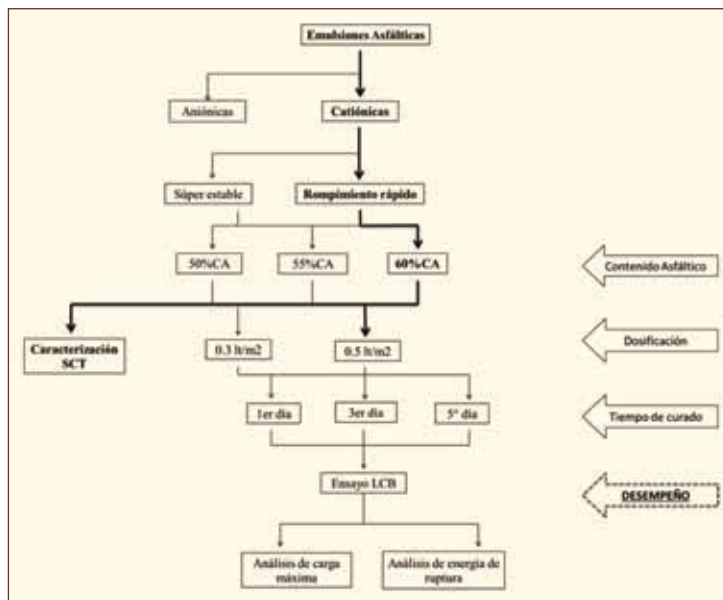


Figura 1. Metodología de experimentos.

Las emulsiones asfálticas catiónicas son comúnmente usadas durante la construcción de pavimentos en México, por lo que se produjeron emulsiones de estas características con la ayuda de una planta de emulsiones propiedad del fabricante. Dos tipos de emulsiones fueron identificadas, la emulsión ECL de rompimiento lento y la emulsión ECR de rompimiento rápido. También se utilizó cemento asfáltico EKBE PG 64-22 bajo un control de calidad indicado en la norma de la SCT N-CMT-4-05-004/08,⁽²⁰⁾ cada una de las variantes de emulsiones asfálticas se caracterizó por seguir estándares de calidad de la norma N-CMT-4-05-001/05 de la SCT.⁽¹⁴⁾

La Tabla 1 resume la proporción de emulsificante incorporado de acuerdo a las recomendaciones del fabricante para las emulsiones asfálticas ECL y ECR con un 50%, 55% y 60% de contenido de residuo asfáltico.

Tabla 1. Proporción de emulsificante.

Tipo de emulsión	Proporción de emulsificante (kg/Ton)	% Residuo asfáltico	Emulsificante para cada 2 litros de emulsión asfáltica (gr)
Rompimiento Lento	10,00	50%	40,00
		55%	44,40
		60%	50,00
Rompimiento Rápido	3,00	50%	12,00
		55%	13,33
		60%	15,00



ASFIER.
EMULSIFICANTES ASFÁLTICOS.

KAOAMIN/GRIPPER.
ADITIVOS PROMOTORES DE ADHERENCIA.
ADITIVOS PARA MEZCLA TIBIA.

DANOX.
ADITIVOS PARA PAVIMENTOS RECICLADOS (RAP).
MODIFICADORES REOLÓGICOS.
DISPERSANTES DE POLÍMERO.



Sistema de Gestión
ISO 9001:2015
www.kao.com
ID: 870842715



Responsabilidad Integral®
El compromiso de la Industria Química

(33) 3284-1000
Ext. 1019, 1028, 1098
asfaltos@kao.com



www.amaac.org.mx

Convocatoria
Premio AMAAC
Jorge A. Cabezut Boo



Premio al primer lugar:

Diploma, asistencia al Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto a celebrarse en Guadalajara, Jalisco del 25 al 29 de noviembre de 2019 (Transportación, hospedaje e inscripción al evento-cinco días)

En junio de 2019, se notificará al ganador.

La Asociación Mexicana del Asfalto convoca a todos los técnicos interesados relacionados con los asfaltos a participar en el **Premio AMAAC Jorge A. Cabezut Boo a la investigación y desarrollo tecnológico 2018.**

Podrán participar todos los interesados relacionados con los asfaltos en el país con artículos técnicos que enriquezcan el desarrollo tecnológico de los asfaltos.

El tema del trabajo es abierto, siempre y cuando esté enfocado a los asfaltos y cuyo desarrollo sea relevante para la tecnología de la industria.

Los documentos que se presentan podrán haber sido publicados en revistas, congresos y seminarios, siempre y cuando hayan sido elaborados entre **enero de 2017 y abril de 2019.**

AMAAC asignará un jurado con profesionales de la especialidad, los cuales tienen actividades en la industria del asfalto.

En su decisión, el jurado tomará en cuenta la calidad y cantidad de la producción científica y tecnológica de los artículos, el impacto de la investigación en la práctica profesional, la originalidad y redacción. El jurado elegirá el artículo ganador por decisión unánime.

Los concursantes deberán cumplir con los siguientes requisitos:

Solicitud de inscripción, Currículum Vitae, Resumen del artículo a participar, dos ejemplares (impreso y en formato electrónico) del artículo completo.

Estos documentos deberán ser entregados en la oficina de AMAAC ubicada en Camino a Santa Teresa 187, Col. Parque del Pedregal, Tlalpan 14010, D.F., a partir de la fecha de publicación de esta convocatoria y hasta el **viernes 10 de mayo de 2019.**

AMAAC se reserva el derecho de conservar los trabajos recibidos.

junio 2019

Atentamente,
Undécimo Consejo Directivo

La elaboración de muestras para la prueba de LCB se realizó siguiendo la metodología Marshall.⁽²¹⁾

La Tabla 2 resume las dosificaciones utilizadas para cada emulsión asfáltica dentro de una proporción de 0,3 y 0,5 l/m², que son proporciones comúnmente utilizadas en riego de liga en la construcción de pavimentos; además, la emulsión asfáltica fue calentada en baño maría hasta 60 °C previa a su aplicación, simulando las condiciones más cercanas de la aplicación en campo con una petrolizadora.

Tabla 2. Dosificaciones de emulsión asfáltica				
Tipo de emulsión	Área de muestra (m ²)	Temperatura de aplicación (°C)	Razón de riego de liga (l/m ²)	Dosificación para cada muestra (gr)
Rompimiento lento	0,008136	60,00	0,30	2,44
			0,50	4,02
Rompimiento rápido	0,008136	60,00	0,30	2,44
			0,50	4,02

De acuerdo con la regulación española (Norma NLT-382/08),⁽²¹⁾ se hicieron muestras cilíndricas de mezcla asfáltica en caliente combinando las variantes de contenido de residuo asfáltico y las dosificaciones. Las muestras se curaron durante uno, tres y cinco días, para posteriormente analizarlas mediante la prueba de corte LCB⁽¹⁷⁾ utilizando una prensa de carga y registrando la carga máxima aplicada y la deformación al punto de falla.

Un total de 72 ensayos LCB, fueron registrados y después del análisis de la información, se elaboraron las tablas de carga-deformación con la finalidad de analizar la energía de fractura calculando el área bajo la curva y comparando los resultados entre las emulsiones asfálticas ECL y ECR.

Resultados y discusiones

La Figura 2 representa los resultados de la prueba de corte LCB utilizando una dosificación de 0,3 l/m², con un residuo asfáltico de 50%, 55% y 60% así como un tiempo de curado de uno, tres y cinco días. Durante el procedimiento se observó que el riego de liga no parecía ser suficiente para distribuirse sobre toda la superficie, por lo tanto, no pudo recubrir adecuadamente el área total, sin embargo, las resistencias para la prueba de corte LCB resultaron ser bastante aceptables. De estos resultados podemos observar que la resistencia al corte mejora con el tiempo.

La máxima resistencia es de 7,5 kN para un tiempo de curado de 3 días y un 55% de contenido de residuo asfáltico, seguido de una resistencia de 6,98 kN para un tiempo de curado de cinco días y un contenido de residuo asfáltico del 50%. Estos valores son considerablemente mayores que las resistencias obtenidas con un 60% de residuo asfáltico. Por consiguiente, podemos concluir que, para las condiciones particulares a este experimento, una emulsión asfáltica con un bajo porcentaje de residuo asfáltico usado como un riego de liga entre dos capas de mezcla asfáltica en caliente se desempeña mejor que las emulsiones asfálticas regulares.

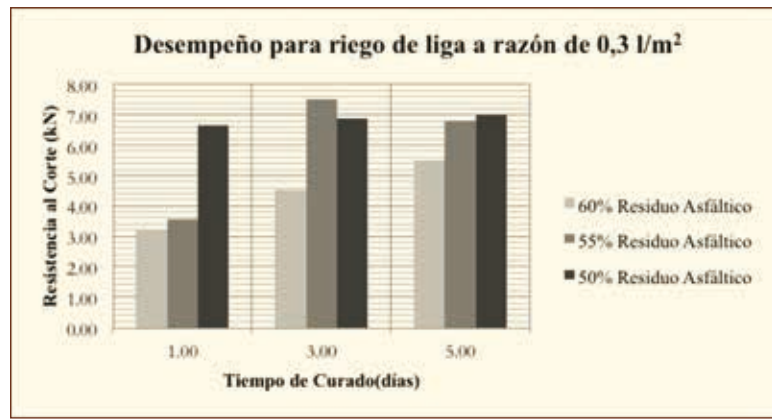


Figura 2. Gráfico para resultados de LCB usando ECL a razón de 0,3 l/m².

La Figura 3 presenta los resultados de la prueba de corte LCB usando las mismas variantes de las últimas muestras, pero a una dosificación de 0,5 l/m². A diferencia de las últimas condiciones de prueba, durante este experimento, la capa adherente parece estar cubriendo adecuadamente la superficie de contacto de la mezcla incluso se observó cómo la emulsión asfáltica penetraba sobre la textura superficial que caracteriza una superficie de asfalto de mezcla en caliente, como una aplicación adecuada del riego de liga en campo con una petrolizadora. También se observó una mejora en el rendimiento a través del tiempo, alcanzando una máxima resistencia de 6,86 kN para un tiempo de curado de cinco días y un 60% de contenido de residuo asfáltico seguido de una resistencia de 6,76 kN para un tiempo de curado de cinco días y un 50% de contenido de residuo asfáltico. Este grupo de muestras presenta un desempeño más equilibrado entre los tres contenidos de residuo asfáltico. Por lo anterior se puede concluir que una emulsión asfáltica con un contenido de residuo asfáltico bajo utilizado en el riego de liga podría ser aplicada y soportada por la prueba de corte LCB. Esto nos permite el ahorro de recursos durante la producción de emulsiones asfálticas garantizando el control de calidad del pavimento.



Figura 3. Gráfico para resultados de LCB usando ECL a razón de 0,5 l/m².

La Figura 4 presenta una gráfica con la curva carga-desplazamiento para una emulsión asfáltica de rompimiento rápido y rompimiento lento con un contenido de 55% de residuo asfáltico. También representa el concepto energía de fractura, que se refiere al área debajo de ambas curvas. La emulsión asfáltica ECR tiene, en la mayoría de los casos, al menos la mitad de energía de fractura total que tiene una emulsión de asfáltica ECL. Por lo tanto, se puede concluir en usar esta emulsión como una opción alterna del riego de liga en lugar de la emulsión ECR, que se usa comúnmente en la construcción de pavimentos.

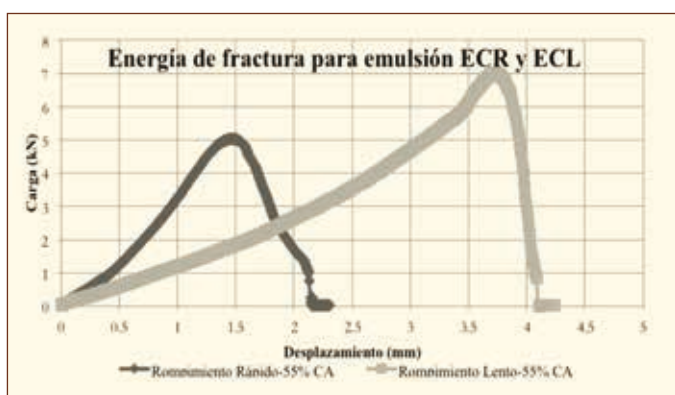


Figura 4. Comparación entre la energía de fractura para emulsión ECR y ECL con 55% de residuo asfáltico.

La ventaja de utilizar una emulsión ECL, de acuerdo con los resultados de resistencia obtenidos en el ensayo LCB es que asegura una correcta unión entre las capas asfálticas que conlleva a un mejor comportamiento de estas capas y mayor durabilidad en la estructura del pavimento.

Conclusiones


A través del análisis de los resultados, primero observamos que el rendimiento de ambas emulsiones asfálticas (ECL y ECR) mejora a través del tiempo. Esto nos permite asumir que el riego de liga sigue trabajando incluso después de que hayan pasado los días. Si transferimos este análisis a las condiciones de campo, definitivamente la resistencia al corte

de una carretera con 15 días de antigüedad y luego abierta al tránsito será mayor que la resistencia de una carretera abierta al tránsito tan pronto como se construyó, en este caso el tránsito seguirá compactando la capa de asfalto y densificando la estructura de pavimento por lo que podría representar una línea de investigación a profundizar.

En segundo lugar, las emulsiones asfálticas de bajo contenido de residuo asfáltico (50% y 55%) presentan resistencias al corte similares en comparación de las emulsiones asfálticas al 60% y en algunos casos presentan resistencias más altas que nos permite concluir que para estas condiciones particulares las emulsiones asfálticas con baja viscosidad pueden ser utilizadas sin inconveniente como riego de liga en el proceso constructivo de una sobrecarpeta.

Con respecto a la tasa de dosificación utilizada durante los experimentos, se observó que la razón de 0,3 l/m² no parecía ser suficiente para servir como una capa ligante adecuada en comparación con la razón de 0,5 l/m², que siempre parecía ser la mejor capa para adherencia de las superficies. Sin embargo, los resultados de la prueba a corte LCB mostraron que la primera tasa da como resultado mejores rendimientos y que se podría aplicar y reproducir en campo como una opción de riego de liga durante la construcción del pavimento.

A partir de los resultados de la prueba a corte LCB podemos complementar la regulación⁽¹⁴⁾ y apoyar la aplicación de emulsiones asfálticas con bajo contenido de residuo asfáltico como una opción viable para la construcción de pavimentos de asfalto sostenible, comprendiendo que ahorraremos recursos durante el proceso de producción conservando los estándares de control de calidad.

Respecto al análisis de energía de fractura para la emulsión asfáltica ECL así como para la emulsión ECR, la prueba de corte LCB señala que las muestras construidas con una capa de adherencia ECL tienen un tiempo de falla gradual y más prolongado en comparación con las muestras construidas con la capa de adherencia ECR, que falla de manera abrupta. Esto se puede explicar con el análisis de la carga-desplazamiento donde es evidente que la energía de fractura para una emulsión asfáltica de ECL es casi el doble de la de energía de fractura de la ECR. 

- Leiva Fabricio, Vargas Adriana, Aguiar José (2017). Permanent deformation and deflection relationship from pavement condition assessment. *International Journal of Pavement Research and Technology* Vol 10. pp. 352-359
- Tian Yu, Lee Jusang, Nantung Tommy, Haddock John (2017) Development of a mid-depth profile monitoring system for accelerated pavement testing. *Constructions and Building Materials*. Vol 140. pp. 1-9
- Raab Christiane, Partl Manfred (2009) Interlayer bonding of binder, base and subbase layers of asphalt pavements: Long-term performance. *Construction and Building Materials* Vol. 23 pp. 2926-2931.
- Wang Jiayu, Xiao Feipeng, Chen Zheng, Li Xinghai, Amirkhania Serji (2017) Application of tack coat in pavement engineering. *Construction and Building Materials*. Vol. 152. pp. 856-871
- Reposeiras Aitor, Castro Daniel, Vega Angel, Rodriguez Jorge (2013) Test Methods and Influential Factors for Analysis of Bonding between Bituminous Pavement Layers. *Construction and Building Materials*. Vol. 43 pp. 372-381.
- Ghaly N.F., Ibrahim I.M., Noamy E.M. (2014) Tack Coats for Asphalt Paving. *Egyptian Journal of Petroleum* Vol. 23 pp. 61:65.
- Tschegg E., Macht J., Jamek M., Steigenberger J. (2007) Mechanical and fracture mechanical properties of asphalt-concrete interfaces. *ACI Materials Journal*. Vol. 104 pp. 474-480.
- Reposeiras Aitor, Vega Angel, Calzada Miguel, Castro Daniel (2012) Influence of surface macro-texture and binder dosage on the adhesion between bituminous pavement layers. *Construction and Building Materials*. Vol. 28 pp. 187-192.
- Sholar Gregory, Page Gale, Musselman James, Upshaw Patrick, Moseley Howard (2004) Preliminary investigation of a test method to evaluate bond strength of bituminous tack coats. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*. Vol. 73 pp. 771-806.
- Canestrari F., Ferrotti G., Partl M., Santagata E. (2005) Advanced testing and characterization of interlayer shear resistance. *Transportation Research Record* Vol. 1929 pp. 68:78.
- Deysarkar Indranil (2004) *Test set-up to determine quality of tack coat*. Collection for University of Texas at El Paso. pp. 250.
- Johnson Eddie (2015) *Tack coat testing-Measuring field bond strength*. Office of Materials and road Research-Minnesota Department of Transportation. pp. 67.
- Hartadi Muslich (2009) *Assessment of bond between asphalt layers*. Department of Civil Engineering Nottingham Transportation Engineering Centre. pp. 294.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2005) *Materiales para pavimentos N-CMT-4-05-001/05. Características de los materiales*. pp. 1:13
- Ontiveros Leticia (2013) *Evaluación de la adherencia entre capas de pavimento empleando diferentes emulsiones asfálticas*. Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 140.
- Reposeiras Aitor, Vega Angel, Calzada Miguel, Castro Daniel. (2013) *New procedures to control the tack coat applied between bituminous pavement layers*. *Construction and Building Materials*. Vol. 44 pp. 228-235.
- Miró Recasens., Martínez Adriana, Pérez Félix (2006) Evaluation of effect of heat-adhesive emulsions for tack coats with shear test. *Transport Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. No. 1970. pp. 64-70.
- D'Andrea A., Tozzo C., Boschetto A., Bottini L. (2013) Interface roughness parameters and shear strength. *Canadian Center of Science and Education*. Vol. 10 pp. 10.
- Tschegg Elmar, Kroyer Georg, Tan Dong-Ming, Stanzl Stefanie, Litzka Johann (1995) Investigation of bonding between asphalt layers on road construction. *Journal of Transportation Engineering*. Vol 121, No. 4. pp. 309-316.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2008) *Materiales para pavimentos N-CMT-4-05-004/08. Características de los materiales*. pp. 1-13
- Norma NLT-382/08. (2008) *Evaluación de la adherencia entre capas de firme, mediante ensayo de corte*. Depósito Legal: M-571113-2008. ISBN: 978-84-7790-484. España.



Cuarto periodo de inscripción 2019



Del 1 al 12 de julio

Más información: tecnico3@amaac.org.mx

01(55) 5606 7962

La importancia de la conservación en México

Luis Limón Garduño
José de Jesús Espinosa Arreola
llimon@ergon.com
ErgonAsfaltos

Introducción

La infraestructura carretera representa en gran medida el desarrollo que tienen o que pueden llegar a tener los países, debido al impulso que se genera en el comercio, la industria, así como el acceso a los servicios de desarrollo social. Se estima que la contribución de la infraestructura carretera al Producto Interno Bruto (PIB) de un país oscila entre 5 al 15%, sin embargo, los accidentes que ocurren en carretera pueden llegar a costar hasta un 3% del PIB (PIARC, 2016), aproximadamente 435,000 millones de pesos (MDP) en México si consideramos el PIB para finales de 2016 publicado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2017).

Históricamente, la conservación de carreteras ha venido evolucionando al pasar de la intervención con base a la experiencia de los encargados de los tramos que actuaban de manera reactiva (Solorio, Hernández, & Garnica, 2017), a llegar a utilizar planes de gestión que permitan optimizar los recursos y conservar el estado físico de la infraestructura carretera.

Mientras que las dependencias del transporte tienen una meta anual de construcción de nuevas carreteras, cada año se suma esa cantidad de kilómetros a la longitud de conservación, que en un corto y mediano plazo tendrán que someter a trabajos de mantenimiento. Esto ha hecho que la conservación de carreteras se vuelva uno de los principales trabajos a ejecutar, el cual representa un reto que afrontan los departamentos de conservación de carreteras de las dependencias.

Una carretera en malas condiciones lleva a tener un elevado número de accidentes. Actualmente, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que mueren alrededor de 1.25 millones de personas al año, debido a accidentes de tráfico en las carreteras (PIARC, 2016).

Bajo este escenario, pensemos en la estrategia de sólo *Construir-No conservar-Reconstruir*, las consecuencias serían críticas, debido a que el estado físico de los pavimentos se degrada de forma exponencial y de la misma manera aumentan los costos de operación vehicular (Figura 1), dichos costos asociados

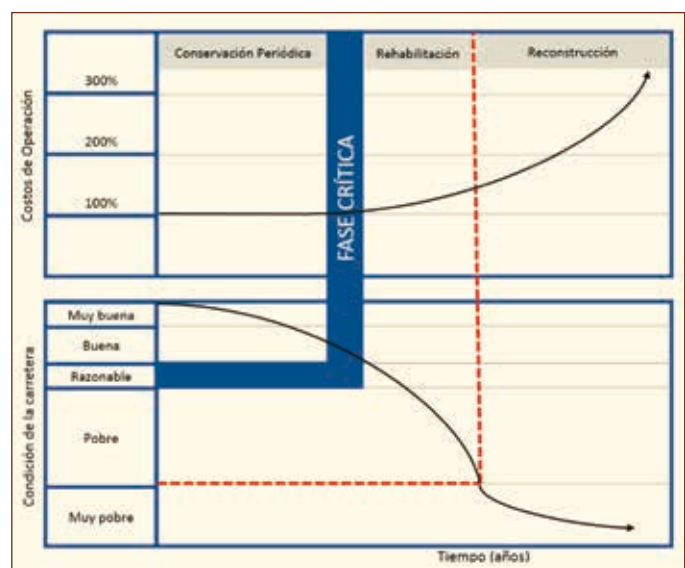


Figura 1. Estado físico de la carretera y costos de operación vehicular con el tiempo.

al tránsito vehicular sobre caminos en mal estado superficial y aquellos generados en las zonas de trabajo por actuaciones en la estructura del camino. En este sentido, para el primer 75% de la vida útil del pavimento, el nivel de servicio de la carretera se ve reducido hasta en un 40%, sin embargo, sólo es necesario otro 15% de su vida útil adicional para que vuelva a perder otro 40% de su nivel de servicio (PIARC, 2016). Lo anterior en términos de costos de las dependencias se refleja en incrementar de 4 a 5 veces el costo de rehabilitar el pavimento en lugar de conservarlo.

Con el fin de mejorar el estado superficial de las carreteras, en México se ha adoptado los esquemas de las Asociaciones Público-Privadas (APP), Contratos Plurianuales de Conservación de Carreteras (CPCC) y concesiones. Mediante estos esquemas la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), busca elevar la calidad de los servicios de infraestructura carretera, así como incrementar los montos de inversión y optimizar la operación y mantenimiento de carreteras concesionadas, así como en dependencias de gobierno como SCT y Caminos y Puentes Federales (CAPUFE), se han venido utilizando una serie de propuestas de conservación que ayuden a la optimización de los recursos y permitan extender la vida útil de los pavimentos, considerando el enfoque de conservación de los mismos y del ahorro en los costos generados tanto a la dependencia, concesionaria y usuario.

Implicaciones de tipo técnicas, económicas, ambientales, de seguridad y confort al usuario, engloban la conservación de carreteras por lo que las decisiones tienen repercusiones en distintas áreas de estudio (Figura 2), en este trabajo se abordan algunas de ellas.

Conservación de pavimentos

La conservación de pavimentos contempla el realizar oportunamente las acciones de mantenimiento necesarias para disminuir la tasa de deterioro del pavimento, a diferencia de intervenciones al pavimento en donde se llegan a utilizar acciones de mantenimiento correctivo.

En la conservación de pavimentos también se incluye la utilización de tratamientos de bajo impacto ambiental al menor costo que permitan retardar las actividades de rehabilitación, con lo cual se reducen las emisiones a lo largo del ciclo de vida (FHWA, 2015). Un estudio realizado por Chan, *et al.* (2010), muestra las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG) de varios tratamientos de conservación en una carretera de dos carriles de 7 m de ancho de calzada por cada kilómetro, incluyendo opciones de fresado y mezcla convencional, mezcla tibia (WMA), mezcla con alto contenido de RAP (HIR) y micro-aglomerado en frío. Como se puede apreciar en la Tabla 1, las intervenciones de rehabilitación demandan un mayor consumo de energía y de emisiones GHG que las actividades de conservación.



Figura 2. Distintos factores que influyen en la conservación de carreteras.

Incomparable en movilidad y productividad.

CIBER iNOVA SERIES



PLANTA DE ASFALTO MÓVIL CONTINUA CIBER iNOVA SERIES. La más avanzada tecnología para la producción de mezclas de asfalto que combina capacidad de producción de hasta 100 t/h (iNOVA 1000) o 150 t/h (iNOVA 1500) en apenas 1 movilidad y de hasta 150 t/h (iNOVA 1502) o 200 t/h (iNOVA 2000) en apenas 2 movilidades. Las plantas cuentan con cuatro silos dosificadores con pesaje individual, quemador CIBER Total Air y el innovador sistema inteligente de intercambio de calor que garantiza el máximo rendimiento térmico y un bajo consumo de combustible. La mezcla es externa a través de un Pug Mill, garantizando la máxima homogeneidad del producto final, además del control automático del tiempo de mezcla. Posibilidad de utilizar RAP al 15%, dependiendo de la configuración. Nuevo central de comando con funcionamiento 100% automático, sistema de diagnóstico y monitoreo remoto, lo que confiere la más alta tecnología en el control de la producción.

Para optar por la estrategia de conservación de pavimentos, una interrogante a responder es ¿qué alternativas de mantenimiento ofrecen el nivel de servicio adecuado para mantener en buenas condiciones el pavimento a mediano y largo plazo?, a continuación, se describen las características funcionales de las capas de rodadura más usadas en México que contribuyen a la conservación de pavimentos.

Tabla 1. Consumo energético y emisiones GHG de varios tratamientos de conservación

Tratamiento	Energía (MJ)	CO ₂ (ton)	NO _x (kg)	SO _x (kg)
Fresado 50 mm, carpeta 50 mm	67,493	3,5	30,7	958
Fresado 50 mm, carpeta 50 mm WMA	47,782	2,0	16,1	671
50 mm HIR	56,694	2,7	23,9	747
10 mm microaglomerado	8,064	0,3	6,4	281

Capas de rodadura

Las capas de rodadura pueden ser divididas en caliente y en frío por su temperatura de elaboración, las cuales presentan ventajas y características funcionales propias de su naturaleza, de los materiales usados, así como del proceso de elaboración y aplicación como se muestran en la Tabla 2.

Para la correcta selección de estas capas de rodadura y tratamientos superficiales, algunos de los aspectos a considerar son de tipo técnico y económico.

Tabla 2. Capas de rodadura y tratamientos superficiales

Clasificación	Capa de rodadura o tratamiento superficial	Ventajas/Característica funcional	Vida útil (años)
Aplicación en caliente	CASAA	Capacidad drenante, aplicación sincronizada, pronta apertura al tránsito, evita la delaminación, macrotextura adecuada, aplicación diurna y nocturna.	5-8
	SMA	Mayor vida útil, aplicación sincronizada, macrotextura adecuada, aplicación diurna y nocturna.	6-9
	Open Graded	Capacidad drenante, evita la proyección de agua, alta fricción, reducción del ruido, Aplicación diurna y nocturna.	4-7
Aplicación en frío o caliente	Sellado de grietas	Evita la intrusión de agua, retarda el deterioro del pavimento.	1-4
	Riego de sello sincronizado	Aplicación sincronizada, restablece la fricción, pronta apertura al tránsito.	3-6
Aplicación en frío	Riego de sello reforzado con fibra	Aplicación sincronizada, reduce el agrietamiento reflexivo, evita la intrusión de agua al pavimento, restablece la fricción.	3-6
	Microaglomerado	Aplicación sincronizada, fricción adecuada, no hay agregado suelto.	3-6
	Sección mixta (Cape Seal)	Mejor cubrimiento de agregados, no hay agregado suelto, fricción adecuada, mayor vida útil que los riegos de sello.	4-7

Para esto es necesario la utilización de alguna herramienta disponible que permita evaluar sus ventajas bajo un mismo escenario.

Selección de capas de rodadura y tratamientos superficiales

Actualmente en México no se cuenta con un programa de gestión de carreteras propio que permita obtener un plan integral de conservación de pavimentos. Lo anterior se puede realizar mediante la utilización del sistema de gestión de desarrollo y mantenimiento de carreteras HDM-4 (*Highway Development and Maintenance Management System*), el cual requiere de una gran cantidad de información de la red nacional (inventario de deterioros, características estructurales y funcionales), así como la calibración a condiciones regionales. En México solo se cuenta con inventarios de deterioros en caminos de primera importancia, en donde se asignan recursos económicos para su monitoreo. En este sentido, cuando se disponga de toda la información necesaria, la mejor alternativa es usar el software HDM-4 para poder establecer el programa de conservación de una red carretera.

Por otro lado, existe una herramienta de selección de tratamientos de conservación desarrollada por el comité de conservación de la asociación mexicana de vías terrestres (SCT, 2017), mediante la cual, con base en los deterioros del tramo en estudio (adquiridos mediante equipos de alto o bajo rendimiento), se pueden obtener distintas propuestas de mantenimiento con el enfoque de relación Vida Útil/Costo, que ayudan en la toma de decisiones para la selección de tratamientos de conservación de acuerdo a las características de proyectos particulares. Las alternativas de mantenimiento van desde el sellado de grietas, hasta el uso de capas de rodadura, siendo alternativas que buscan prolongar la vida útil y que también corrigen/repasan los deterioros funcionales en los pavimentos. Las propuestas de reparación de deterioros de tipo estructural no están consideradas en esta herramienta en su primera edición. Adicionalmente es necesario cuantificar los costos de los usuarios, los cuales son un factor importante para la selección de la mejor alternativa de las obtenidas con la herramienta de selección en el ciclo de vida de análisis.



Figura 3. Herramienta de Selección de Tratamientos de Conservación de la AMIVTAC, versión 1.3 (SCT, 2014).

Aspectos funcionales

Otro aspecto importante en la selección de las capas de rodadura son sus características funcionales, las cuales juegan un papel fundamental en el nivel de servicio que presta la carretera al usuario; el fin para el cual se diseña un pavimento. En este sentido, las capas de rodadura en caliente cubren mayormente las necesidades funcionales ligadas a una fricción adecuada, precipitación y ruido conjuntamente (Figura 4). Por lo tanto, además de las circunstancias económicas, se debe tomar en cuenta la selección por desempeño funcional.

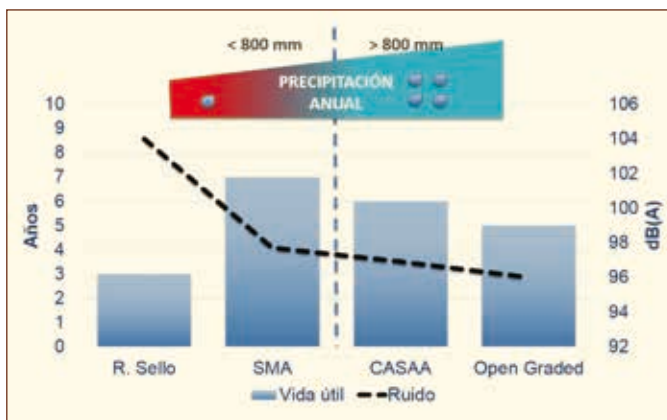


Figura 4. Características funcionales de distintas capas de rodadura.

Análisis del costo de ciclo de vida

Mediante un análisis de costo de ciclo de vida (LCCA, por sus siglas en inglés) se puede valorar de forma cuantitativa los costos que se tienen entre diversas

propuestas de conservación dentro de un mismo periodo de tiempo. Esto es, que para diversas soluciones técnicas exista una diferencia económica sustancial en el periodo de análisis, debido principalmente a la durabilidad y costo de los tratamientos.

Existen diversas herramientas disponibles para realizar el análisis de LCCA, tales como el *RealCost 2.5* desarrollado por la *Federal Highway Administration* (FHWA) y el LCCA versión 3.1, desarrollado por la *Asphalt Pavement Alliance* (APA) (Figura 5). Este software toma en cuenta el procedimiento de la FHWA para los análisis de LCCA y está orientado a la evaluación de los costos de las dependencias y del usuario, mediante los enfoques determinista o probabilístico (a través de la simulación de Montecarlo), que se generan a partir de las intervenciones que se llevan a cabo en los caminos bajo diferentes alternativas de conservación, como los que se muestran a continuación:

- Costo de la dependencia
 - Construcción Inicial, Conservación y/o Rehabilitación
- Costos de los usuarios (costos de operación)
 - Consumo de gasolina
 - Reducción de la velocidad de operación
 - Retrasos (horas hombre)
 - Filas generadas (mayor costo del viaje)

Los costos del usuario se definen como los costos extras generados a los operadores vehiculares que

atraviesan un camino bajo acciones de algún tipo de mantenimiento (Musselman, 2015). Los costos de la dependencia o concesionaria, son aquellos asociados a los materiales, mano de obra y control de tráfico de las distintas actividades de mantenimiento.

Análisis LCCA, caso 1

Mediante el software LCCA 3.1, se realizó el análisis del costo de ciclo de vida de diferentes alternativas de conservación utilizando diversas capas de rodadura en frío y en caliente de los mostrados en la Tabla 2, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- El periodo de evaluación es de 30 años en 1 km de longitud, con ancho de carril promedio de 3.75 m.
- Se tomaron en cuenta las siguientes capas de rodadura:
 - Microaglomerado en frío
 - Riego de sello sincronizado
 - Riego de sello sincronizado reforzado con fibra
 - CASAA (Carpeta Asfáltica Superficial Altamente Adherida)
 - SMA (Stone Mastic Asphalt)
- Se simularon las condiciones de solamente reemplazar las capas de rodadura y mostrar el efecto de elegir solamente algún tipo de ellas.
- Los costos de rehabilitación y/o reconstrucción no están considerados en el análisis.
- Para proyectos de inversión en México, la tasa de descuento utilizada en promedio es de 10% (Solorio, Garnica, Montoya, & Hernández, 2016).
- No se considera el valor de rescate de la estructura de pavimento al final del periodo de análisis.

Se llevó a cabo un primer caso de estudio simulando las condiciones de flujo vehicular de una carretera tipo A4, con un TDPA de 20,000 vehículos, con un porcentaje de vehículos pesados del 15%, en tipo de terreno a nivel (mayormente plano), con una velocidad máxima de 110 km/hr, y velocidad límite en la zona de trabajo de 40km/h. También se consideró 1 carril por sentido abierto al tránsito durante las etapas de mantenimiento y jornadas de trabajo diurno de 8 horas. La línea del tiempo de las actuaciones de cada una de las alternativas de conservación únicamente considerando la selección de la

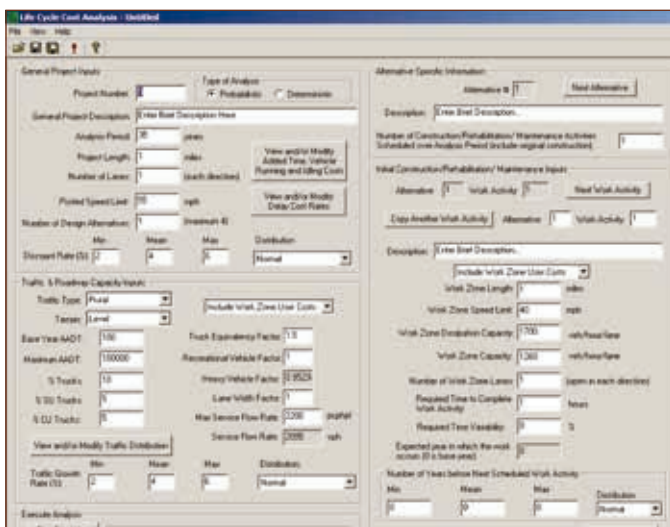


Figura 5. LCCA software, versión 3.1.



Figura 6. Línea del tiempo de las actuaciones de conservación.

capa de rodadura con base en su vida útil se presenta en la Figura 6.

Del análisis de LCCA del caso 1, se obtuvieron los costos en el tiempo de la dependencia y del usuario en la zona de trabajo. Los costos totales son la suma de los dos anteriores. En la Figura 7 se puede apreciar que en todo el periodo de análisis, las capas de rodadura en caliente consideradas representan costos mayores para la dependencia, sin embargo para los usuarios representan los menores costos, mediante los cuales, haciendo un balance general se tienen costos totales muy similares hasta el año 17 de cualquier capa de rodadura. Después del año 17, hay un ahorro sustancial en los costos totales, al usar capas de rodadura en caliente respecto a las de apli-

cación en frío, siendo para el final del periodo de análisis de alrededor de cuatro MDP por kilómetro debidos a los costos de los usuarios. De lo anterior se puede decir que en términos económicos, para este caso a partir del año 17 se justifica el uso capas de rodadura en caliente. Sin embargo, las características funcionales de las capas de rodadura en caliente y las condiciones particulares del proyecto, pueden ser un factor de gran peso para utilizarlas desde el principio del periodo de análisis, al existir una diferencia no significativa en los costos totales en este primer periodo de tiempo.

Derivado del análisis anterior, se buscó un TDPA bajo las mismas condiciones de la alternativa anterior (chechar anterior), que justifique económicamente en

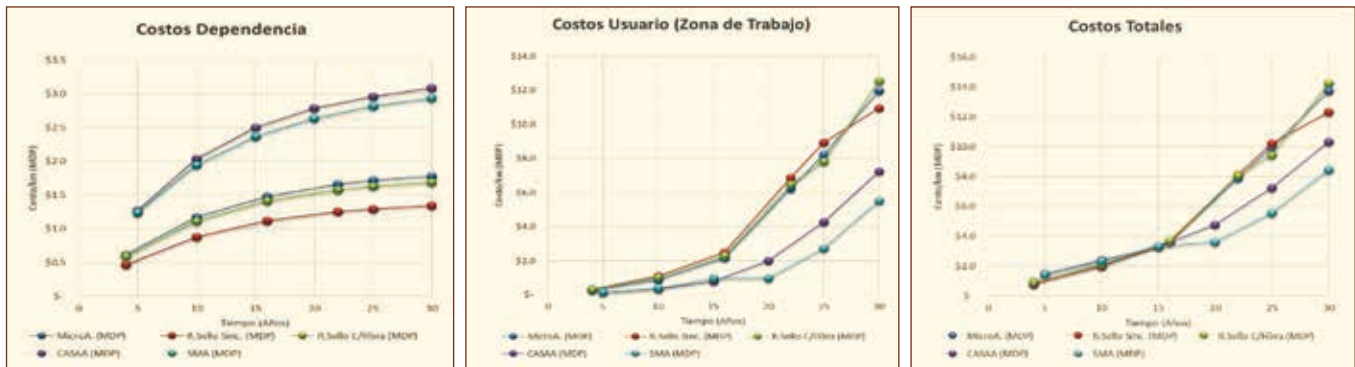


Figura 7. Costos del análisis LCCA, Caso 1, TDPA 20,000.

el periodo de análisis el uso de las capas de rodadura en frío consideradas, para el cual se encontró que con un TDPA de 15,000 vehículos, se alcanzaba esta consideración. La Figura 8 muestra cómo los costos totales son menores para las capas en frío en prácticamente todos los años de análisis hasta llegar al fin del periodo, en el cual comienzan a ser similares para las alter-

nativas en caliente. Por lo anterior podemos decir que para este caso particular de estudio se justificaría económicamente la utilización de las capas de rodadura en frío en todo el periodo de análisis, pero las características funcionales de las capas de rodadura en caliente y condiciones particulares del proyecto pueden ser un contrapeso importante para su selección.



VISE

INFRAESTRUCTURA CONCESIONES MEDIO AMBIENTE

EL
MUNDO QUE
IMAGINAS

Entronque Santa Fe (Guanajuato, Gto.)



atencionaclientes@vise.com.mx | (477) 215 9000 www.vise.com.mx

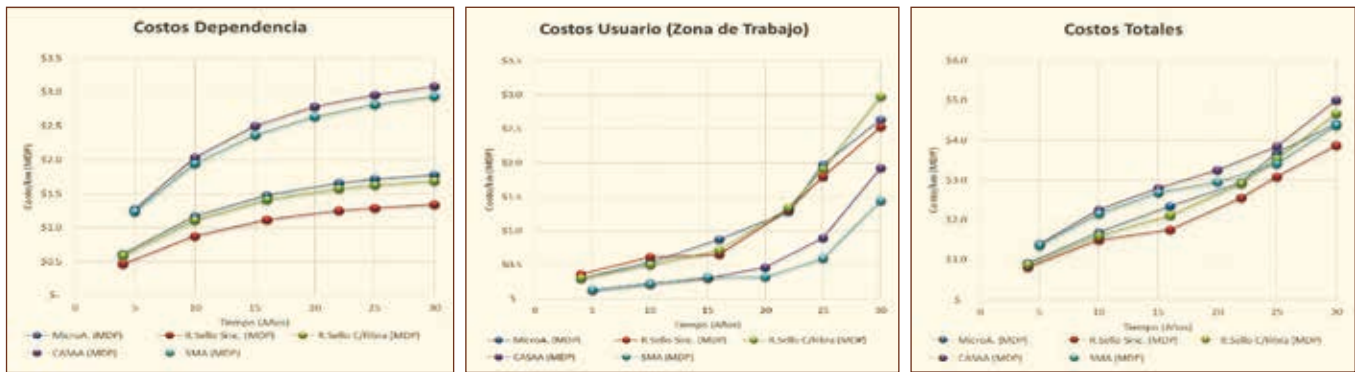


Figura 8. Costos del análisis LCCA, Caso 1, TDPA 15,000.

Análogamente se buscó un TDPA para el cual las alternativas de capas de rodadura en caliente sean económicamente viables para el periodo de diseño, y se encontró que para un TDPA de 28,000 vehículos se cumple con esta condición (Figura 9), por lo que para un tránsito igual o mayor a 28,000 vehículos es económicamente viable la utilización de capas de rodadura en caliente desde el inicio del periodo de

análisis, teniendo ahorros para el usuario de alrededor de 3.5, 15 y 25 MDP por kilómetro en los años 10, 20 y 30 respectivamente.

De los tres escenarios planteados anteriormente (TDPA de 20,000, 15,000 y 28,000), y para una carretera tipo A4, se pueden considerar alternativas que fácilmente pueden encajar en un esquema de concesión o incluso de corredores carreteros o carreteras federales.

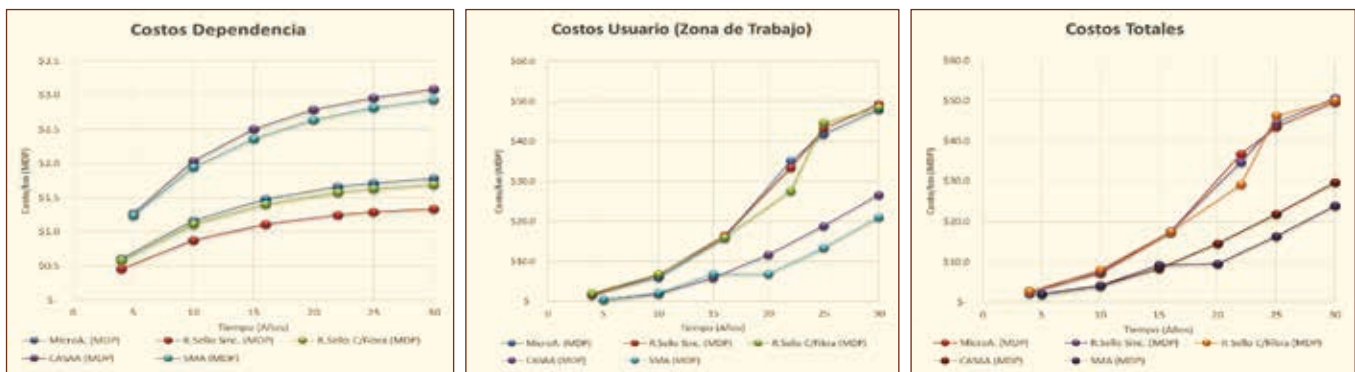


Figura 9. Costos del análisis LCCA, Caso 1, TDPA 28,000.

Análisis LCCA, caso 2

Complementariamente se realizó otro análisis de LCCA (caso 2), considerando condiciones vehiculares promedio de la red carretera federal libre y de cuota, así como la red estatal y de acuerdo con los datos viales de la dirección general de servicios técnicos (DGST), para el año 2015 se tenía un TDPA de 6,000 vehículos y un porcentaje de pesados de 20%, además que la mayor parte de la longitud de la red carretera es de tipo A2. Se utilizó la misma tasa de crecimiento de 4% que el caso anterior, y se consideró un terreno de tipo semi-montañoso, con una velocidad de operación de 90 km/hr. Los resulta-

dos del análisis se muestran en la Figura 10, en la cual se puede ver que los costos de la dependencia y los costos totales son mayores para las capas de rodadura en caliente durante todo el periodo de análisis. Esto justifica económicamente la utilización de capas de rodadura en frío en carreteras de tránsito medio y por consiguiente bajo, en estos escenarios los costos del usuario son menores que los costos de la dependencia. En la medida que se tenga un TDPA mayor al considerado, porcentajes de pesados mayores y/o tasas de crecimiento vehicular altas, el análisis se torna menos favorable para las capas de rodadura en frío. Aspectos funcionales por corregir/

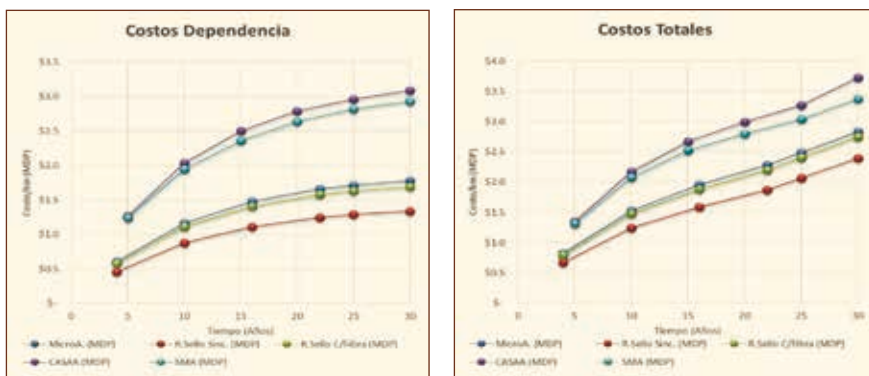


Figura 10. Costos del análisis LCCA, Caso 2, TDPA 6,000.

mejorar, como el índice de regularidad internacional (IRI) drenaje pluvial en zona de alta precipitación, son factores clave para decidir con base en criterios funcionales y económicos.

Conclusiones

La conservación de los activos carreteros, es una necesidad que debe ser abordada desde distintos puntos de vista tanto técnicos y económicos para poder detonar un desarrollo económico sostenible en el tiempo, todo esto acompañado de presupuestos adecuados a las necesidades actuales que demanda el sistema carretero nacional.

Las decisiones deben ir acompañadas de una evaluación beneficio-costos en el tiempo, en un periodo de análisis dado, para que se pueda justificar la inversión económica de las capas de rodadura empleadas. Consideraciones de tipo ambiental, de seguridad y confort al usuario, también deben ser analizadas.

La selección del tipo de capa de rodadura a emplear depende en gran medida del tránsito esperado (tipo de camino), debido a que, para caminos de bajo volumen de tránsito puede que no se justifique en términos del análisis económico de costo de ciclo de vida la inversión en capas de mayor costo, a menos que las diferencias económicas entre ambos tipos de capas de rodadura no sean significativas y puedan tener mayor influencia los aspectos de tipo funcionales, o las características particulares del proyecto. Por otro lado, en caminos de medio y alto volumen de tránsito vehicular, es técnica y económicamente viable el uso de capas de rodadura de mayores prestaciones y vida útil que se verá reflejado el beneficio en los ahorros a los usuarios por actuaciones más espaciadas en el tiempo.

Es necesario evaluar los costos de operación generados por el tránsito vehicular debido a las condiciones de la carretera en términos del IRI para valorar de forma integral si las propuestas de conservación son viables considerando todos los costos de operación implicados.

¿Quieres profundizar?

- [1] PIARC, 2016. *Conservar las carreteras de su país para fomentar el desarrollo*, s.l.: World Road Association.
- [2] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2017. *Producto interno bruto de México durante el cuarto trimestre de 2016*, Aguascalientes: INEGI.
- [3] Solorio, R., Hernández, R. & Garnica, P., 2017. Gestión de carreteras y HDM-4. *Vías Terrestres*, Marzo-Abril, Issue 46, pp. 12-16.
- [4] FHWA, 2015. *Towards Sustainable Pavement Systems: A Reference Document*, Washington, DC: Federal Highway Administration.
- [5] Chan, S., Lane, B. & Kazmierowski, T., 2010. *Pavement preservation - a solution for sustainability*. Washington, D.C., Transportation Research Board.
- [6] SCT, 2014. *Guía de procedimientos y técnicas para la conservación de carreteras en México*, México D.F.: Dirección General de Servicios Técnicos.
- [7] SCT, 2017. *Herramienta de Selección de Tratamientos de Conservación*. [En línea] Available at: <http://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/guias-tecnicas/>
- [8] Musselman, M. A., 2015. *A Review of the Alabama Department of Transportation's Policies and Procedures for Life-Cycle Cost Analysis for Pavement Type Selection*. Auburn (Alabama): Universidad de Auburn.
- [9] Solorio, J. R., Garnica, P., Montoya, M. & Hernández, R., 2016. *Metodología basada en el HDM-4 para la selección de metas de desempeño en la red federal de carreteras*, San Fandila, Qro.: Instituto Mexicano del Transporte.

Sobre el liderazgo

Falta autor

El **liderazgo** es el conjunto de habilidades gerenciales o directivas que un individuo tiene para influir en la forma de ser o actuar de las personas o en un grupo de trabajo determinado, haciendo que este equipo trabaje con entusiasmo hacia el logro de sus metas y objetivos. También se entiende como la capacidad de delegar, tomar la iniciativa, gestionar, convocar, promover, incentivar, motivar y evaluar un proyecto, de forma eficaz y eficiente, sea éste personal, gerencial o institucional (dentro del proceso administrativo de la organización).

El liderazgo no entraña una distribución desigual del poder, ya que los miembros del grupo no carecen de poder, sino que dan forma a las actividades del grupo de distintas maneras. Aunque, por regla general, el líder tendrá la última palabra.

Otro de los conceptos que está ganando terreno en los últimos años es el de **neuroliderazgo**, el cual hace referencia a una disciplina derivada de la **neuroeconomía** que se apoya en conocimientos derivados de la psicología y la neurociencia para formar mejores líderes y lograr una mejor administración empresarial.

La correlación entre el líder en atracción y en ideas es positiva. Pero por ser moderada debemos buscar los casos en que las funciones del liderazgo en atracción y en ideas están superadas. En particular, hay sugestivas informaciones sobre unos pocos grupos que indican que el iniciador más frecuente de comunicaciones no es tan atractivo como podrían esperarse de la alta correlación entre la atracción y liderazgo. A pesar de que los líderes en ideas tienen un 50 por ciento de probabilidades de ser los hombres más atractivos al finalizar la primera sesión del grupo, es bastante improbable que mantenga el alto puesto en atracción e ideas al promediar la cuarta sesión. Algunos autores sugieren que los líderes en el trabajo realizan cosas que desvían el afecto de los otros miembros. Dan a entender que el mayor iniciador puede no permitir a los otros miembros, oportunidades de reacción, comentario o realimentación, como contribuciones a las ideas del líder.

En opinión de expertos en desarrollo organizacional, existen muchos tipos de liderazgo. En opinión de otros, no es que existan varios tipos de liderazgo: el liderazgo es uno y, como los líderes, las clasificaciones corresponden a la





forma como ejercen o han adquirido la facultad de dirigir, circunstancia que no necesariamente implica que sea un líder. Según Max Weber hay tres tipos puros de liderazgo:

Líder carismático: es el que tiene la capacidad de generar entusiasmo. Es seleccionado como líder por su manera de dar entusiasmo a sus seguidores. Tienen a creer más en sí mismos que en sus equipos y esto genera problemas, de manera que un proyecto o la organización entera podrían colapsar el día que el líder abandone su equipo.

Líder tradicional: es aquel que hereda el poder por costumbre o por un cargo importante, o que pertenece a un grupo familiar de élite que ha tenido el poder desde hace generaciones. Ejemplos: un reinado.

Líder legítimo: Podríamos pensar en "líder legítimo" y "líder ilegítimo". El primero es aquella persona que adquiere el poder mediante proce-

dimientos autorizados en las normas legales, mientras que el líder ilegítimo es el que adquiere su autoridad a través del uso de la ilegalidad. Al líder ilegítimo ni siquiera se le puede considerar líder, puesto que una de las características del liderazgo es precisamente la capacidad de convocar y convencer, así que un "liderazgo por medio de la fuerza" no es otra cosa que carencia del mismo. Es una contradicción *per se*, lo único que puede distinguir a un líder es que tenga seguidores: sin seguidores no hay líder.

La palabra "liderazgo" en sí misma puede significar un grupo colectivo de líderes, o puede significar características especiales de una figura célebre (como un héroe). También existen otros usos para esta palabra, en los que el líder no dirige, sino que se trata de una figura de respeto (como una autoridad científica, gracias a su labor, a sus descubrimientos, a sus contribuciones a la comunidad).

Junto con el rol de prestigio que se asocia a líderes inspiradores, un uso

más superficial de la palabra "liderazgo" puede designar a entidades innovadoras, aquellas que durante un período toman la delantera en algún ámbito, como alguna corporación o producto que toma la primera posición en algún mercado.

También se define al líder como "la persona capaz de inspirar y asociar a otros con un sueño". Por eso es tan importante que las organizaciones tengan una misión con alto contenido trascendente, ya que es una manera muy poderosa de reforzar el liderazgo de sus directivos.

Existe una regla fundamental en el liderazgo que es la base para que un buen líder, cualquiera que éste sea, lleve a cabo un liderazgo efectivo. La mayoría de los autores la nombran la regla de oro en las relaciones personales, y es fácil, sencilla y muy efectiva: *No pongas a las personas en tu lugar: ponte tú en el lugar de las personas*. En pocas palabras, así como trates a las personas, así ellas te tratarán.

Habilidades en un líder

- **Comunicación verbal:** una persona con fuerte liderazgo es capaz de saber informar y comunicar lo que quiere a su equipo.
- **Escuchar:** la habilidad de escuchar permite al líder entender los problemas de las personas de su entorno, anticiparse a sus dudas y responder sus preguntas.
- **Persuadir:** las personas de buen liderazgo no piden a sus seguidores que simplemente sigan sus órdenes en forma ciega o vehemente. Primero los convencen que algo es bueno y se debe hacer.
- **Usar el pensamiento crítico:** sobre todo para tomar decisiones y resolver problemas. Los buenos líderes miden las acciones y posibles soluciones de acuerdo a sus costos y beneficios.
- **Delegar trabajo:** incluso si tienen todo el conocimiento práctico para cada tarea, lo cual es poco probable, las personas de fuerte liderazgo saben que es más productivo asignar trabajo a aquellos que pueden hacerlo igual de bien o mejor.
- **Organizar:** los líderes fuertes tienen la habilidad de ordenar sus tareas y las del resto para hacer un trabajo eficiente.
- **Asumir la responsabilidad:** los de fuerte liderazgo no solo asumen sus propios actos, sino los de su equipo. No culpan a otros por sus propios errores, y comparten los errores de otros.
- **Perseverar:** No importa cuán difícil se pongan las cosas y cuán frecuente sus planes no resultan como esperaban, los buenos líderes son tenaces y logran alcanzar sus objetivos.
- **Adaptarse al cambio:** Cuando las cosas no salen como se espera, la flexibilidad es clave. Las personas de fuerte liderazgo ajustan su plan a la coyuntura, mueven a su equipo y tienen más opciones de alcanzar el éxito.
- **Construir relaciones:** Los buenos líderes desarrollan buenas relaciones de trabajo con su equipo y sus jefes o gerentes.
- **Respetar:** Las personas de fuerte liderazgo no miran por encima del hombro a su personal a cargo; al contrario, muestran respeto hacia ellos.
- **Ayudar:** Los buenos líderes siempre dan una mano al que la necesita, sobre todo cuando se trata de alcanzar objetivos de trabajo.
- **Manejar las crisis:** los de buen liderazgo responden rápida y efectivamente cuando los problemas aparecen. 🍷





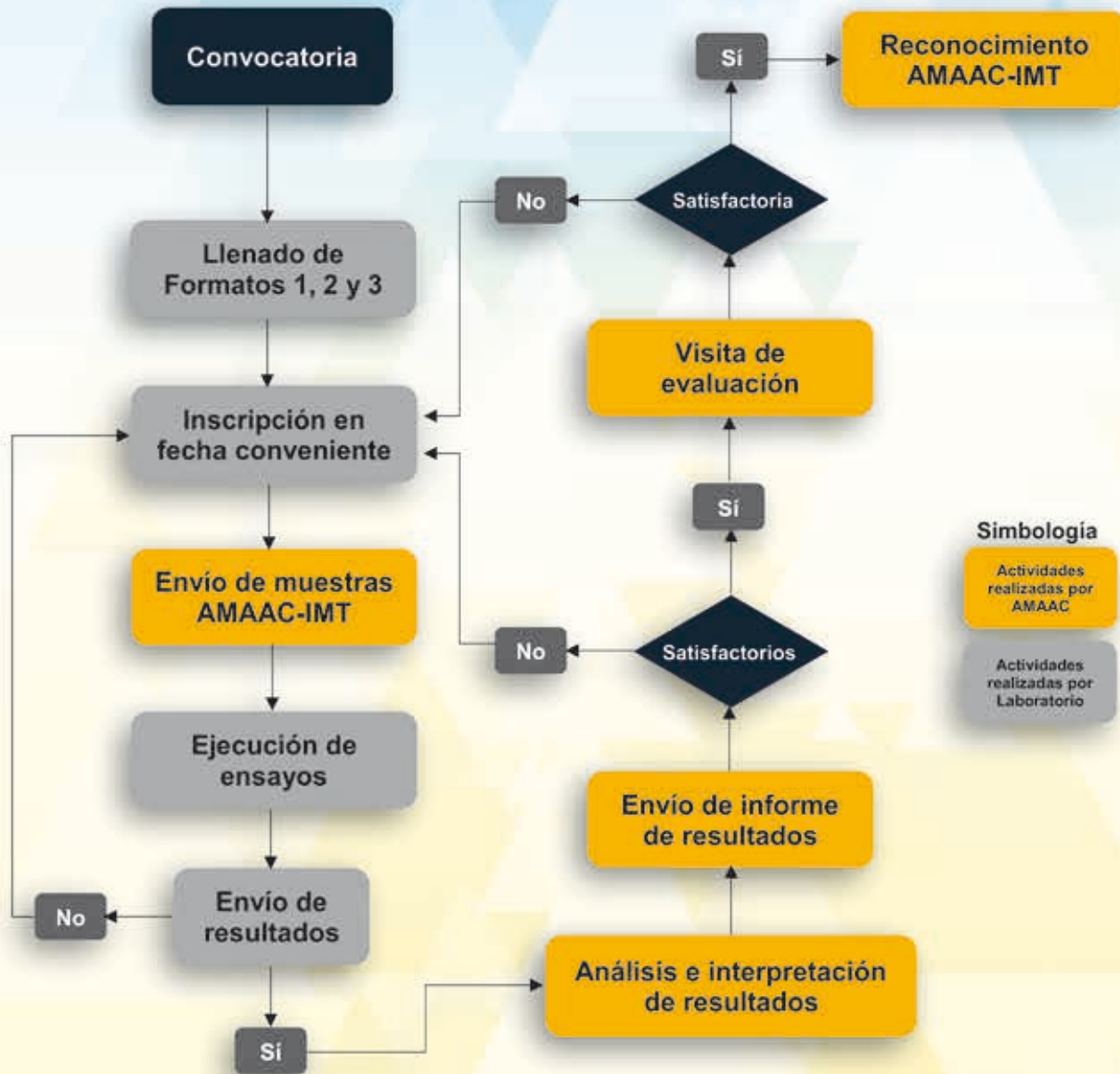
Asociación Mexicana
del Asfalto, A.C.



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

PROCEDIMIENTO PARA PARTICIPAR EN EL PROGRAMA INTERLABORATORIOS

DIAGRAMA DE FLUJO



Camino a Santa Teresa 187, Parque del Pedregal, Tlalpan 14010, Ciudad de México.

+52 (55) 5606 7962

amaac.org.mx

tecnico3@amaac.org.mx



@AMAACmx

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

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

GMC

- GRUPO MULTISERVICIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN -

TRABAJAMOS CON LA CONVICCIÓN DE
**MEJORAR A NUESTRO
MÉXICO**

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



ENERGÍA

- DIÉSEL, COMBUSTIBLE ALTERNO Y COMBUSTÓLEO
- TRANSPORTE ESPECIALIZADO
- PROYECTOS FOTOVOLTAICOS Y DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA



MANTENIMIENTO Y PROTECCIÓN

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



ASFALTOS NACIONALES E IMPORTADOS
DE NORTE A SUR DE MÉXICO.

www.gmarca.com

CAT 018007171800

BOLUCIONES
ASFÁLTICA

HELLOS

VIAL

Novocoast

petrien

DOCTOR
BACH

DRAVELOCK

SEALOFLEX

OMNIX

SMEDT

LUZSOL

PENETRA

TOPSEAL

ULTRALINK

BITUELASTIC