



DISEÑO DE ALTERNATIVAS DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS EN EL SUR DEL ESTADO DE SONORA

ELSA ELIZABETH MORALES MORALES, JOSÉ FRANCISCO GONZÁLEZ OCHOA, ISRAEL MIRANDA PASOS, ANA LILIA LEAL CRUZ

En este trabajo se analiza el comportamiento de la estructura de pavimento existente, identificando las variables que intervienen en la realización de los estudios de evaluación, con la finalidad de proponer una alternativa de rehabilitación de dicha estructura. La infraestructura carretera existente se construyó a un costo elevado en décadas pasadas; el incremento del flujo vehicular y el no tener una adecuada programación de los trabajos de mantenimiento han dado como resultado que actualmente se cuente con una red de caminos deteriorada, un mayor costo de transporte y un impacto en general negativo para la economía.

La identificación de las variables que intervienen en el proceso de evaluación de proyectos, así como los criterios que deben ser aplicados a cada una de ellas, conforman la base conceptual de toda metodología que tiene por objeto determinar una serie de indicadores de tipo económico. Estos indicadores constituyen una herramienta importante para que los responsables de la programación de inversiones de infraestructura carretera tomen decisiones para la optimización de los recursos disponibles. Una conservación adecuada de la carretera permitirá reducir los costos de operación de los vehículos que participan en el traslado de bienes y personas, además de incrementar la velocidad de operación que en términos económicos se traduce en una mayor rotación de capital en cualquiera de sus manifestaciones (dinero, fuerza de trabajo y mercancía).

M.I. ELSA ELIZABETH MORALES MORALES
Correo: emorales@dicym.uson.mx
M.I. JOSÉ FRANCISCO GONZÁLEZ OCHOA
Correo: gonzal@dicym.uson.mx
DR. ISRAEL MIRANDA PASOS
Correo: imiranda@dicym.uson.mx

DRA. ANA LILIA LEAL CRUZ
Correo: aliz932@gmail.com
Universidad de Sonora, Departamento de Ingeniería Civil y Minas

*Autor para correspondencia: Elsa Elizabeth Morales Morales
Correo electrónico: emorales@dicym.uson.mx
Recibido: 9 de marzo de 2013
Aceptado: 8 de julio de 2013
ISSN: 2007-4530



EPITEMUS: www.epistemus.uson.mx



INTRODUCCIÓN

En el tramo de Guaymas - Estación Don, el cuerpo B se estima que se construyó en 1950, su estructura de pavimento consistía en una capa de terracería con una superficie de rodamiento de revestimiento. En 1960 se modificó la estructura de pavimento, aprovechando la capa de revestimiento existente para que funcionara como una capa de base hidráulica y como superficie de rodamiento se tendió una capa de carpeta de mezcla elaborada en el lugar (mezcla en frío). Esta capa se deterioró por su uso y en 1984 se construyó una capa de carpeta de concreto asfáltico elaborada en caliente, que es la existente en la actualidad. El cuerpo A se construyó en el período que va de 1985 a 1988, el cual consistía en una estructura de pavimento formada por una capa subrasante, base hidráulica y carpeta de concreto asfáltico. Esta información se obtuvo con base en la experiencia del personal que ha trabajado en el sector carretero.

En ambos cuerpos se han realizado trabajos de conservación, como son: bacheos, riegos de sello, riegos de protección, carpetas de renivelación, estabilización de base con asfalto, estabilización de base con cemento portland, la cual se lleva a cabo para mitigar el deterioro de la superficie de rodamiento.

Las características geométricas de la carretera en el subtramo del km 80+000 al km 106+000 señalan que es un camino tipo A4S (de dos cuerpos, con dos carriles de circulación por sentido y con faja separadora), con ancho de carril de 3.50 m, acotamiento a ambos lados de 1.50 m, con faja separadora con ancho variable de 3.00 m a 10.00 m, presenta también una pendiente máxima de 2.5%, bombeo del 2%, grado de curvatura máximo de 3.5° y se encuentra ubicado en terreno lomerío. La velocidad de proyecto es de 100 km/h.

Con el análisis del subtramo en estudio se propondrán las alternativas de los trabajos de rehabilitación de la estructura de pavimento a fin de disminuir los problemas ocasionados por las fallas que se presentan en la superficie de rodamiento. De esta manera se tendrán beneficios en ahorros en tiempos de recorrido y se proporcionará seguridad y comodidad a los conductores.

DESCRIPCIÓN DE LAS CARRETERAS EN MÉXICO

Algunas carreteras que se construyeron hace más de sesenta años, para condiciones de tránsito radicalmente diferentes a las actuales, muestran debilidad estructural y problemas para su correcta conservación. En efecto, los vehículos de antaño transmitían esfuerzos relativamente pequeños, cuyo alcance vertical era también escaso, quizá no superaba los 30 ó 40 cm. En comparación, los vehículos de carga actuales producen esfuerzos mucho mayores, con valores significativos y profundidades más grandes, en el orden de 1 m e incluso más.

A continuación se presentan dos casos. El primero es cuando los materiales empleados en aquellos años para la construcción, especialmente en terracerías, eran de una calidad que hoy debe considerarse como inaceptable para capas que quedan bajo la influencia de las nuevas cargas. En las carreteras del país, las capas de terracerías son arcillosas, de baja resistencia y muy sensibles a cambios volumétricos debido a la variación en sus contenidos de agua, lo que conduce, obviamente, a carreteras de superficie muy deformable. El segundo consiste en que el bajo volumen de los vehículos que entonces se consideraban pesados, producía efectos de fatiga relativamente poco notables. En la actualidad, esos materiales débiles están al alcance del efecto de penetración de los modernos arreglos vehiculares y dejan

ver dramáticamente su baja resistencia; pero además, la repetición de cargas mucho más pesadas induce efectos de fatiga devastadores y causan deformaciones permanentes intolerables.



Estas condiciones imponen a la red básica mexicana condicionantes de conservación muy propia y, por supuesto, diferentes a las prevaecientes en otras redes carreteras en las que ya se ha realizado un esfuerzo de modernización que México aún no ha completado. Así pues, es necesaria una nueva estrategia de construcción de las carreteras para que se incorporen en el futuro a la red mexicana. Anteriormente, la filosofía de diseño de la sección estructural fue lograr una zona superior relativamente resistente, aceptando en forma progresiva materiales francamente débiles en la zona inferior, que se consideraban a salvo de la influencia de las cargas. Actualmente, para la conservación de dichas rúas, se requieren verdaderas acciones de reconstrucción en lo profundo, pues aquellas zonas débiles quedaron dentro de la zona crítica de esfuerzos. El cambio de diseño que se pondera para la época actual tiende a lo contrario: secciones convenientemente robustas en capas profundas. El pavimento no es una estructura que falle de un minuto a otro, capas superficiales débiles significan duraciones cortas, de manera que el criterio expuesto puede manejarse dentro de otro de inversiones diferidas. Fallas en lo profundo no se resuelven más que con costosísimas operaciones de reconstrucción.

La red básica actualmente tiene una longitud de 30,000 km que cubren un área de la geografía nacional en la que seguirán manteniéndose fuertes demandas de transporte. Esta red deberá de ser reforzada estructuralmente, ampliada y mejorada para afrontar demandas más exigentes. En muchos casos las vías actuales deben de ser sustituidas por otras nuevas más acordes con las crecientes demandas.

Las grandes inversiones que exigen las carreteras modernas requieren una creciente participación del capital

privado. El aspecto del financiamiento y de los mecanismos de recuperación correspondientes será cada vez más relevante. El punto álgido a buscar en estos mecanismos de financiamiento es el de lograr paquetes financieros que permitan disponer de recursos para proyectos en los que la recuperación económica será escasa en los primeros años de funcionamiento. Si la planeación nacional ha de adelantarse a la demanda o, por lo menos, ha de conducir a obras de aparición muy cercana a la necesidad, seguramente seguirá ocurriendo que carreteras muy importantes para el país comiencen con niveles de tránsito bajo pero susceptibles a desarrollos adecuados; de esta manera podrán afrontarse las primeras etapas de vida de las obras con cuotas o costos de mantenimiento razonables que no se transformen en un factor decisivo de su puesta en operación. Independientemente del desarrollo de una red productora de riqueza con capacidad estructural adecuada, buena cobertura y buena conservación, habrá de seguirse desarrollando una red alimentadora municipal y rural que, con sus propias funciones, redondee el panorama nacional del transporte carretero (1).

UBICACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO

Se localiza en las cartas topográficas Obregón, Guaymas y Huatabampo, escala 1:250,000, limitada por las coordenadas del tramo: Estación Don – Cd. Obregón, en el km 68+900 en la latitud Norte 26°14' y en la longitud Oeste 109°01', ASNM 53 (Figura 1) (2).



Figura 1. Localización del tramo en estudio (SCT, 2010).

ANÁLISIS DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO DEL TRAMO EN ESTUDIO

Los estudios básicos para la evaluación de la superficie de rodamiento son: calificación o índice de servicio actual, levantamiento de deterioros, estudio geotécnico y pruebas de laboratorio de suelos, análisis del tránsito y diseño de los espesores de la estructura de pavimento.

Calificación o Índice de Servicio Actual (ISA)

La calificación que se otorga a un tramo de la vialidad se referirá siempre a toda la sección considerada, por lo que ésta debe reflejar el estado promedio que guarda el tramo dentro de la propia sección. Las condiciones de transitabilidad de la superficie de rodamiento se calificaron en función de la comodidad y/o seguridad que experimenta el usuario al transitar por el camino. Se utilizó una escala del 0 al 5, en el cual el 0 se considera como camino intransitable; del 0 al 1 camino muy malo; del 1 al 2 camino malo; del 2 al 3 camino regular; del 3 al 4 camino bueno; del 4 al 5 camino muy bueno y 5 camino excelente (Tabla 1) (3).

Tabla 1. Índice de Servicio Actual (ISA).

DE KILÓMETRO	A KILÓMETRO	CALIFICACIÓN PROMEDIO
80+000	85+000	3,1
85+000	90+000	2,8
90+000	95+000	2,9
95+000	100+000	2,8
100+000	106+000	2,9

Se realizaron recorridos a lo largo del tramo en estudio para observar la superficie de rodamiento con la finalidad de apreciar y evaluar la extensión y severidad de los daños que presenta la superficie de rodamiento y la estructura de pavimento.

Levantamiento de deterioros

Los deterioros se clasificaron, para los fines de este trabajo, dentro de los siguientes cuatro grupos: textura, deformación, agrietamiento y mantenimiento realizado. El grado de severidad se midió de acuerdo a la siguiente escala: Muy ligera (con calificación de 1); Ligera (con calificación de 2); Moderada (con calificación de 3); Severa (con calificación de 4) y Muy severa (con calificación de 5). Igualmente se consideró la intensidad del deterioro (porcentaje de área afectada), la cual se califica como: Menor de 10% del área (Esporádica); 10% al 20% del área (Aislada); 20% al 50% del área (Frecuente); 50% al 80% del área (Muy frecuente) y del 80% al 100% del área (Total) (4).

En la superficie de rodamiento en el tramo estudiado se observaron los siguientes deterioros: la textura presenta una severidad de 3, las deformaciones se presentaron esporádicamente con severidad entre 1 y 2, el agrietamiento con severidad de 3 y mantenimiento (bacheo superficial y bacheo profundo) con severidad entre 2 y 3.

Los últimos trabajos de conservación en los tramos en estudio a nivel carpeta asfáltica se realizaron hace dos años; a la fecha no se ha realizado ningún trabajo de reconstrucción o colocado un refuerzo en la estructura de pavimento; se han realizado trabajos de riego de sello; el flujo vehicular se ha ido incrementando, presentándose un

alto porcentaje de vehículos pesados; el índice de servicio se encuentra en la etapa media al nivel de rechazo y esto se ha logrado mantener por arriba de este nivel por los trabajos de conservación rutinaria que se han realizado. La carpeta asfáltica presenta agrietamientos moderados por la oxidación y/o endurecimiento del cemento asfáltico lo cual es causado por su vida en servicio. Esto ocasiona que se vuelva permeable, originando deformaciones, desprendimiento y agrietamientos piel de cocodrilo.

Medición de la capacidad estructural del pavimento

Para conocer el comportamiento elástico de la estructura del pavimento bajo la acción de las cargas se efectuaron mediciones de rebote, utilizando una viga Benkelman y un camión de volteo con peso en el eje trasero de 8.2 Ton y presión de inflado de 5.8 kg/cm².

Con los datos obtenidos se determinó la deflexión percentil 80 por el método de California y la deflexión característica por el método del Instituto Norteamericano del Asfalto, para medir el espesor de refuerzo que necesita la estructura de pavimento actual (Tabla 2) (5).

Tabla 2. Levantamiento de deflexiones.

SUBTRAMO KM A KM		PERCENTIL 80 MÉTODO DE CALIFORNIA plg x 10-3	MÉTODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO plg x 10-3
80+340	80+820	30,6	34,8
83+940	84+420	44,5	53,3
84+280	84+760	39,3	44,9
87+940	88+420	27,5	31,6
89+760	90+240	38,0	41,7
90+080	90+560	31,6	34,8
93+780	94+260	32,9	36,2
95+080	95+560	42,8	49,8
97+480	97+960	32,5	37,1
99+040	99+520	39,9	46,1
100+000	100+480	43,1	50,2
102+140	102+620	43,3	52,0
105+360	105+840	25,5	32,4

Estudio geotécnico y pruebas de laboratorio

Con el objeto de conocer el tipo y la calidad de los materiales que actualmente forman la estructura de pavimento, así como los espesores de las diferentes capas que lo forman, se realizaron sondeos del tipo pozo a cielo abierto, se determinó el peso volumétrico del lugar, el contenido de humedad natural; se tomaron muestras representativas para enviarlas al laboratorio para realizar las pruebas de

Tabla 3. Espesores existentes de las capas de pavimento.

UBICACIÓN	ESPESOR		
	DEL SONDEO Km.	CARPETA (cm)	BASE (cm)
80+520	16,50	14,00	30,00
81+040	19,40	20,30	30,00
82+100	13,80	14,30	30,00
82+640	17,40	11,50	30,00
84+200	13,20	16,50	30,00
85+180	16,10	28,30	30,00
86+540	13,00	11,00	30,00
87+520	16,10	17,40	30,00
88+040	15,80	12,40	30,00
89+500	11,20	11,90	30,00
90+580	11,50	15,30	30,00
91+120	14,30	9,40	30,00
92+300	13,80	13,80	30,00
93+260	13,90	13,20	30,00
94+120	13,80	14,80	30,00

UBICACIÓN	ESPESOR		
	DEL SONDEO Km.	CARPETA (cm)	BASE (cm)
95+100	13,80	13,80	30,00
96+400	13,20	13,20	30,00
97+860	16,50	16,50	30,00
98+520	13,20	13,20	30,00
99+380	10,40	10,40	30,00
100+300	14,50	14,50	30,00
101+240	16,50	16,50	30,00
102+620	13,40	13,40	30,00
103+600	11,50	11,50	30,00
104+700	9,90	9,90	30,00
105+260	10,60	10,60	30,00
106+980	16,70	16,70	30,00
107+420	12,90	12,90	30,00
108+960	16,20	16,20	30,00

calidad correspondientes (Tabla 3).

Para localizar las zonas homogéneas, se realizaron las siguientes actividades: obtención del ISA, levantamiento de daños, medidas de deflexión y ejecución de los sondeos de exploración en los que se obtuvo información de la estructura de pavimento.

Con el objeto de conocer el tipo y la calidad de los materiales que actualmente forman la estructura de pavimento, así como los espesores de las diferentes capas que lo forman, se realizaron sondeos del tipo pozo a cielo abierto, se determinó el peso volumétrico del lugar, el contenido de humedad natural; se tomaron muestras representativas para enviarlas al laboratorio para realizar las pruebas de calidad correspondientes.

De los análisis de laboratorio se hacen los siguientes comentarios:

Capa de terracería: el material corresponde a una arena arcillosa (SC), con buenas características mecánicas para su uso, y el grado de compactación varía de 77.2% a 95.4%.

Cuerpo de terraplén: está formado por los materiales de préstamos laterales; el material corresponde a una arena arcillosa (SC), con buenas características mecánicas para su uso, y el grado de compactación varía de 79.9% a 99.0%.

Capa subrasante: corresponde a una capa de 30 cm; se construyó de manera similar a la de terracerías, ya que el material es adecuado también para utilizarse en esta capa, y el grado de compactación varía de 84.3% a 104.9%.

Capa de base hidráulica: corresponde a un material con características adecuadas para formar esta capa, es material procedente de banco de grava arena de arroyo;

tiene una clasificación de una grava arena limosa (GM-SM), los espesores varían de 8.0 cm a 35.0 cm y el grado de compactación varía de 86.3% a 107.2%.

Capa de base asfáltica: el material corresponde a la recuperación de la carpeta asfáltica y la capa de base hidráulica mezclada con emulsión asfáltica; los espesores varían de 9.0 cm a 25.0 cm y el grado de compactación varía de 93.8% a 103.2%.

Carpeta asfáltica: presenta espesores que varían de 3.4 cm a 33.3 cm, se encuentra oxidada, agrietada y está llegando al final de su vida útil.

Estudios del tránsito

Para determinar el análisis del tránsito se utilizaron los datos viales que edita la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, del año 2001 a 2012, y el número de clave de la autopista Estación Don - Nogales, que corresponde al 26445. La estación está ubicada en el km 128+000. El TPDA es de 6,652 vehículos/día, la composición vehicular es de vehículos tipo A = 73.6%, tipo B = 5.1%; tipo C = 21.3%; la tasa de crecimiento es de 0.43% y el coeficiente de distribución del tránsito es de 40% (6).

Para el diseño de las alternativas se consideraron los datos viales, los parámetros de resistencia obtenidos en el laboratorio y se aplicaron los métodos de diseño como el Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM, el Método de California, el Método AASHTO, el Método del Instituto Norteamericano del Asfalto y el Método de Fatiga de la UNAM; lo anterior para determinar los espesores de las capas que conformarán la estructura de pavimento. El resumen de los resultados se muestra en la tabla 4.



Tabla 4. Resumen de espesores de carpeta asfáltica.

TRAMO DE ANÁLISIS	PERÍODO DE DISEÑO (AÑOS)	ESPESOR (cm)					ESPESOR RECOMENDABLE (cm)	
		MÉTODO DEL INSTO. ING. DE LA UNAM	MÉTODO AASHTO	MÉTODO DE CALIFORNIA	MÉTODO DEL INSTO. NORT. DEL ASFALTO	MÉTODO DE FATIGA DE LA UNAM	CARPETA	BASE DEL ASFALTO
km 80+000 - 106+000	15	3,7	5,6	23,4	10,4	5,0	9,6	23,4

DISEÑO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA LA REHABILITACIÓN

Las tres alternativas que se consideran viables para la solución de las estructuras de pavimento analizadas apuntan hacia un mejoramiento de la base hidráulica que puede ser con cemento portland o emulsión asfáltica; la otra alternativa es mejorar la superficie de rodamiento utilizando carpeta de renivelación para el sellado de las grietas y posteriormente colocar una carpeta asfáltica.

Primer alternativa de rehabilitación

Cortar la carpeta asfáltica y la base hidráulica existente mediante disgregado con la máquina recuperadora RR-350 a la profundidad de 25.0 cm para formar una base estabilizada con cemento portland al 9.0% PVSM, compactada al 100%, y construir una carpeta de concreto asfáltico con asfalto modificado de 5 cm de espesor, compactada al 95%.

Segunda alternativa de rehabilitación

Cortar la carpeta asfáltica y la base hidráulica existente mediante disgregado con la máquina recuperadora RR-350 a la profundidad de 25.0 cm, adicionarle emulsión asfáltica superestable en proporción de 80 L/m³ para formar una base asfáltica de 25.0 cm de espesor, compactada al 100%, y construir una carpeta con concreto asfáltico con asfalto modificado de 6.0 cm de espesor, compactada al 95%.

Tercer alternativa de rehabilitación

Se realizará un bacheo de caja y posteriormente se tenderá una carpeta de renivelación de 8.0 cm con concreto asfáltico compactada al 95%, tender una malla geotextil y construir una carpeta de concreto asfáltico con asfalto modificado de 10.0 cm de espesor, compactada al 95%.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El problema principal de la red carretera nacional se encuentra en su conservación, rehabilitación y

modernización, ya que gran parte de ella se está operando con índices de servicio actual bajos, cercanos al nivel de rechazo, produciéndose en consecuencia un importante incremento en el costo global del transporte. Esta situación, se origina por falta de recursos suficientes y oportunos, con asignaciones del orden de una cuarta parte de las requeridas. Por lo anterior es grave en la red troncal básica.

Es importante que la conservación, rehabilitación o modernización de la red nacional, se refiera al manejo de los pavimentos, donde se pretenden agrupar los métodos de auscultación, los criterios para la selección y el tratamiento de los materiales, las normas que se utilizan para su caracterización, las soluciones de estructuración, los métodos de diseño de espesores, los procedimientos constructivos y los criterios o posibilidades de inversión. A este respecto ya se tienen avances considerables para la creación de un Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Rico Rodríguez, A., Mendoza Díaz, A. (1995). *Una estrategia para la conservación de la red carretera*, Instituto Mexicano del Transporte, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Publicación Técnica No. 11, San Fandila, Qro.
- 2) INEGI (2013). Cartas topográficas Obregón, Guaymas y Huatabampo, escala 1:250,000. Recuperado el 07 de Julio de 2013, de <http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?s=geo&e=26>.
- 3) Secretaría de Comunicaciones y Transportes-Instituto Mexicano de Transportes (1991). *Catálogo de deterioros en pavimentos flexibles de carreteras mexicanas*. Querétaro, Qro.
- 4) Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1997). *Normas para calificar el estado físico de un camino*. Unidad de Autopistas de Cuota. Sría. de Infraestructura. 26 p.
- 5) SEDESOL (2006). *Programa de Asistencia Técnica en Transporte Urbano para las Ciudades Medias Mexicanas*. Manual de Administración de Pavimentos en Vialidades. México, D.F. Tomo XIV.
- 6) Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2013). *Datos viales*. Recuperado el 07 de Julio de 2013, de <http://dgst.sct.gob.mx/index.php?id=600>.