

**IAG198-03-2013**  
**REFLEXIONES SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS DE**  
**LARGA DURACION**

Enrique Padilla Corona  
COSIC SA de CV México y Universidad Autónoma de Guadalajara  
Guadalajara, Jalisco, México.  
[enrique.padilla@cosic-mexico.com](mailto:enrique.padilla@cosic-mexico.com)

**Resumen**

En este artículo se presenta el comportamiento de dos pavimentos asfálticos de larga duración, contruidos en terrenos de cimentación diferentes y proyectados bajo criterios y condiciones distintas, uno de ellos tiene 28 años en operación y está ubicado sobre una zona lacustre con terracerías con una respuesta elástica alta (escorias volcánicas, tezontles) y un pavimento delgado, que ha tenido un buen comportamiento, y solo ha requerido hasta la fecha, mantenimiento superficial; el otro pavimento con 25 años en operación, ubicado en la zona urbana de Guadalajara, Jalisco, México, sobre un suelo de cimentación muy resistente, con terracerías de buena calidad y un pavimento de buen espesor, ha tenido un comportamiento excelente, con solo algunos muy pequeños deterioros superficiales; en el desarrollo del trabajo se presentan los estudios previos a la construcción de los pavimentos referidos, que incluyen la filosofía del proyecto, el análisis para elegir los materiales que se utilizaron, los procedimientos constructivos y además los estudios de comportamiento, el análisis y comparación de las características y resultados de éstos pavimentos, así como las conclusiones entre las que destaca la importancia del control de calidad, en el éxito de estos pavimentos.

**Resumo**

Neste artigo, apresento o comportamento de dois pavimentos asfálticos de longa duração, contruídos em terrenos de cimentação diferentes e projetados de acordo com critérios e condições diferentes; um deles tem 28 anos em operação e está aplicado sobre uma zona lacustre sem pavimentação e apresenta uma resposta elástica alta (escórias e pedras vulcânicas) e um pavimento fino, que tem apresentado um bom comportamento e que, até o momento, somente exigiu manutenção superficial. O pavimento que tem 25 anos em operação e que foi aplicado na zona urbana de Guadalajara, Jalisco, México, sobre um solo de cimentação muito resistente, com trechos sem pavimentação de boa qualidade e um pavimento de boa espessura, tem apresentado um comportamento excelente e deteriorações superficiais. No desenvolvimento do trabalho, são apresentados os estudos prévios à construção dos referidos pavimentos que incluem a filosofia do projeto, a análise para escolher os materiais utilizados, os procedimentos construtivos, além dos estudos de comportamento, a análise e a comparação das características e os resultados destes pavimentos, assim como as conclusões que destacam a importância do controle de qualidade para o sucesso destes pavimentos.

## **1. INTRODUCCION.**

El tema de los pavimentos asfálticos de larga duración, data de los años 1960s, y la práctica usual, es diseñarlos como pavimentos flexibles muy gruesos y con secciones asfálticas de gran espesor, más de 300 mm, para que durante su vida útil, reparar solamente la carpeta. El objetivo en este trabajo es presentar dos casos de pavimentos asfálticos, con estructuras diferentes y que han mostrado un comportamiento similar a los de larga duración.

## **2. PAVIMENTO DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA-COLIMA.**

### **2.1. Problemática.**

Cuando se decidió la construcción (1983), de la Autopista Guadalajara-Colima, se encontró que en una longitud de 35.0 km, la vía debía cruzar las zonas lacustres de Zacoalco y Sayula, que forman una cuenca cerrada. En estas zonas lacustres el terreno es sensiblemente plano y durante el periodo de lluvias se cubre con una capa uniforme de agua, que casi nunca alcanza un metro de altura, con un tirante medio, cerca de los 0.40 m y que se seca en primavera. (Padilla,1993)

Para atravesar estas zonas de inundación, el proyecto fijó la construcción de dos terraplenes, con un ancho de corona de 11.0 m, ancho de faja separadora de 30.0 m (Figura 1) y especificaciones que corresponden a velocidades de proyecto de 90.0 a 110.0 km/h, para lo cual fue necesario estudiar cuidadosamente la construcción de esos elementos para evitar los problemas que se tienen al desplantar cualquier obra en este tipo de formaciones geológicas.



**Figura 1. Aspecto de los dos cuerpos de la vía, en la zona de la laguna de Sayula, que se ubica en la región sur de Jalisco a 60 km. de Guadalajara.**

## **2.2. Características del subsuelo.**

De tres sondeos profundos hechos en la zona de la laguna de Sayula se pudo observar que desde la superficie y hasta las profundidades exploradas (35.0 m), se encuentra una formación constituida por arcillas de alta plasticidad en su mayor parte, de consistencia blanda a muy blanda, con una capa superficial de 2.3 a 5.4 m de espesor de consistencia media a firme y capas profundas de 18.8 a 22.9 y de 29.5 a 35.2 m, de consistencia firme a dura. El nivel freático se localizó a 1.2 m de profundidad.

En resumen, los suelos lacustres encontrados, fueron de baja a muy baja resistencia, debido a su alta plasticidad y contenidos de agua muy altos, por lo cual ofrecen características de compresibilidad altas.

## **2.3. Análisis de estabilidad de los terraplenes.**

Debido a que el primer problema que debía resolverse era el asentamiento de los terraplenes, se realizaron varios estudios para obtener la información que permitiera resolver este problema, entre los estudios hechos, se hicieron pruebas geotécnicas de laboratorio, pruebas especiales en escorias volcánicas, pruebas de placa, terraplenes de prueba, el análisis del comportamiento de dos caminos que tenían más de diez años en servicio y además varios estudios teóricos.

Los resultados de estas actividades, dió como resultado que se esperaba un asentamiento máximo de 120 mm, con un hundimiento diferencial de 50 mm, para los terraplenes contruidos con tezontle (escorias volcánicas), por lo cual se eligió este material para la construcción de los terraplenes.

También se analizaron los terraplenes en relación a la estabilidad de taludes, respecto al deslizamiento y de capacidad de carga del suelo de cimentación, se obtuvieron factores de seguridad mayores a 2.5 en el primer caso y de más de 4.0 en el segundo.

## **2.4. Características de los materiales utilizados.**

### **2.4.1. Terracerías.**

Debido al problema del terreno de cimentación blando, para disminuir la presión transmitida al terreno, se buscaron materiales ligeros con la resistencia suficiente para darle estabilidad a la estructura y después de estudios de campo y laboratorio, los materiales elegidos fueron escorias volcánicas (tezontles) para formar el cuerpo del terraplén colocando el material por medio de bandeado con tractor y una capa subrasante, hecha del mismo tezontle pero compactada al peso volumétrico máximo, obtenido en el ensaye de la mesa vibratoria vía húmeda.

### **2.4.2. Agregados para capas de pavimento.**

Al elegir la capa base hidráulica, debía diseñarse cuidadosamente para asegurar un comportamiento adecuado del pavimento, que es ofrecer una buena resistencia a las cargas de los vehículos, así como mantener su integridad estructural a través de los diversos climas durante su vida de operación.

De acuerdo a las consideraciones anteriores, se escogió como agregado para formar la base, un canto rodado de origen basáltico y que mediante el tratamiento de trituración parcial y cribado, cumplía totalmente las especificaciones vigentes.

Para la carpeta de dos riegos, el agregado utilizado fue un basalto triturado, transportado de la ciudad de Guadalajara, lavado para eliminar la presencia de polvo. El espesor final del tratamiento doble fue de 12.7 mm y esta capa aporta a la estructura vial, protección al intemperismo, reduce el desgaste y la permeabilidad y proporciona a los vehículos una buena superficie contra el deslizamiento.

## **2.5. Diseño del pavimento.**

Para el diseño estructural del pavimento, se utilizó el método de diseño del Instituto de Ingeniería de la UNAM (Corro et al, 1980), que utiliza un modelo de comportamiento a la fatiga, considerada esta, como deformación permanente acumulada, se supone que la carretera tiene una resistencia relativa uniforme en todas las capas de la estructura y llega a la falla funcional, cuando ha soportado el número de cargas especificado para la vida de proyecto.

Al aplicar el método, se encontró que la capa subrasante ofrecía valores de resistencia, medidos en la prueba de valor relativo de soporte, mayores a 30% con los cuales y considerando una vida de proyecto de 15 años y tránsito diario inicial de 5000 vehículos, se encontró que un espesor de pavimento de 350 mm, era suficiente por lo cual, tomando en cuenta, que se iban a tener terraplenes con respuestas elásticas de consideración se optó por manejar un pavimento flexible, que consistió en 350 mm de base hidráulica y una carpeta de dos riegos.

## **2.6. Procedimiento constructivo.**

La formación de los terraplenes se llevó a cabo acomodando las escorias volcánicas, mediante el paso de un tractor D-6 tres veces por cada punto de la superficie de la primera capa, con un espesor aproximado de 1.0 m, con el procedimiento “punta de lanza”, que consiste en tirar material hacia adelante por medio de camiones y enseguida bandearlo con el tractor; esta secuencia se llevó a cabo inclusive en las zonas inundadas sin ningún problema.

La capa subrasante de 300 mm de espesor, se construyó de acuerdo al proyecto, es decir de tezontle compactado al 100% de su peso volumétrico máximo en la prueba de mesa vibratoria; para facilitar su acomodo y no degradar excesivamente al material, se tendió en dos capas de 150 mm de espesor cada una.

La base hidráulica formada con materiales triturados de origen basáltico, se tendió en dos capas de 150 y 200 mm compactos, respectivamente. El proceso terminó con la aplicación de la carpeta de riegos.

Hay que resaltar que en todas las etapas de la construcción, se llevó a cabo, un control de calidad muy riguroso.

## **2.7. Comportamiento.**

Al entrar en operación estos tramos, durante marzo de 1985, se inició el monitoreo de la vía, a base de tomar medidas de resistencia de conjunto con viga Benkelman y equipo Dynaflect;

determinación de secciones transversales con perfilógrafo y estimaciones subjetivas de calidad de rodamiento, el comportamiento mostrado hasta febrero de 2013, se describe a continuación.

En relación a las medidas de deflexión, desde la medida inicial con viga Benkelman, deflexión máxima media = 0.96 mm, se comprobó cómo se había previsto, que los terraplenes mostraban una respuesta elástica alta. En el análisis de las medidas de deflexión realizadas durante los 28 años de vida de servicio de la vía, se observó que la evolución de la deflexión ha sido pequeña y con poca influencia del aspecto climático. Esto es importante porque se comprueba que los tirantes de agua aledaños al camino, no influyen significativamente en la resistencia de la estructura vial y por lo tanto la vía ofrece un comportamiento uniforme, durante todo el año.

En relación con las medidas de roderas, las máximas son del orden de 12 mm, dimensión pequeña, debido a la realización de los trabajos de mantenimiento, que se han aplicado en periodos de 3 a 5 años, con los cuales, se renivelan las roderas.

En relación a las distorsiones longitudinales producidas por asentamientos de los terraplenes, se midieron a partir de perfiles transversales y reglas, en agosto de 1988, se obtuvieron deformaciones máximas de 35 mm, con una longitud afectada muy pequeña del orden del 4% de la longitud total del tramo, estas medidas son congruentes con los pronósticos de asentamientos. Al realizarse estas medidas los terraplenes tenían 52 meses de estar construidos y de acuerdo al diseño se había llegado al 94 % de proceso de consolidación.

La calificación media inicial de estos tramos varió de 3.8 a 4.0 y mientras que en la última medición que se hizo en Febrero de 2013, se obtuvo una calificación media de 3.1, variando de 2.7 a 3.2 con pocos baches, algunos agrietamientos y roderas. En general, se han tenido labores de mantenimiento, cada cuatro años en promedio; en algunos subtramos, se ha llegado a colocar carpeta asfáltica de 50 mm, de espesor combinada con fresado, aunque en buena parte se han seguido aplicando riegos de sello solamente. En la Figura 2, se muestra un aspecto de la vía, el 14 de febrero de 2013. El índice para calificar los pavimentos es el llamado Índice de Servicio Actual, valuado a través de la opinión subjetiva de un grupo de expertos.



**Figura 2. Aspecto de la vía, el 14 de Febrero de 2013.**

### **3. PAVIMENTO EN EL ENTRONQUE EL ALAMO.**

#### **3.1 Problemática.**

El entronque El Álamo es uno de los más importantes de la ciudad de Guadalajara, Jalisco en México, cuando se modernizó (1986 – 1988). El ramal 10-22, uno de los más importantes de este entronque (Padilla,1990), fue el más complicado de realizar ya que se debió sostener el servicio a más de 18,000 vehículos diarios en 6 carriles de circulación; el proyecto indicó la construcción de un cuerpo nuevo de 43.2 m de corona para sustituir el cuerpo antiguo de 30.0 m de calzada., elevando la nueva rasante hasta 4.0 m sobre la anterior. El cuerpo nuevo incluye 5 carriles de circulación en cada sentido, mas acotamientos y un camellón central para separar el sentido de los movimientos (Figura 3). Toda la problemática descrita, causó que para el diseño del pavimento, se buscara tener una estructura resistente que necesitara tareas de mantenimiento mínimas y enfocadas a la capa de desgaste, lo que mantendría la comodidad de los usuarios del entronque y además a costos mínimos.(Padilla, 2011)



**Figura 3. Aspecto del ramal 10-22 en los últimos trabajos de construcción.**

#### **3.2. Características del terreno de cimentación.**

De acuerdo a la exploración geotécnica, el perfil de suelos a lo largo del ramal referido y aunque es heterogéneo, se puede dividir el subsuelo en cuatro estratos principales; el superficial de espesor variable corresponde mayormente a las terracerías del ramal anterior y está formado por arenas y limos pumíticos con resistencia media y espesor de 5.0 a 12.0 m, esta capa está bien compactada y consolidada con el tiempo; subyaciendo al anterior, se encuentra un depósito formado por tezontles alterados y boleos grandes de origen basáltico con espesor variable de 6.0 a 10.0 m; la tercer capa está formada por suelos finos de resistencia baja a media; a continuación se encontró un estrato de espesor indefinido formado por materiales basálticos (tobas brechoides,

basalto fracturado), el nivel de aguas freáticas, se localizó a más de 20.0 m de profundidad; en el análisis del perfil estratigráfico mostrado, se encontró que se tiene una buena resistencia para desplantar la ampliación y elevación del cuerpo nuevo.

### **3.3. Características de los materiales utilizados.**

#### **3.3.1. Terracerías.**

Para construir las terracerías que se requerían para la rasante del nuevo ramal, después de analizar varias alternativas, se eligieron dos tipos de materiales: arenas pumíticas y escorias volcánicas.

Las arenas pumíticas son suelos de origen piroclástico, de naturaleza vitrea y pumítica, que se presentan en tamaños que van de limos a gravas, por lo cual tienen como propiedades principales ser resistentes, ligeros, degradables, de absorción alta, friccionantes, no plásticos y colores del blanco al amarillo, según el contenido de sílice. Las escorias volcánicas, generalmente están formadas por fragmentos de lava básica, vacuolas de baja densidad, porosas, erizada de aristas y puntas. Tienen como propiedades ser ligeros, degradables, de absorción alta, sumamente friccionantes y colores de negro a rojizo, según el grado de oxidación. Las características de estos dos materiales hacen que para el grado de acomodo que se alcanza en carreteras ofrecen valores muy altos en pruebas de Valor Soporte de California (CBR), del orden de 39 % o más en las arenas pumíticas y de 70 % o más en las escorias volcánicas, por lo cual al colocar en las nuevas terracerías estos materiales, se le dió al pavimento un terreno de cimentación firme y relativamente homogéneo.

#### **3.3.2. Agregados para capas de pavimentos.**

Para preparar los agregados a base de trituración, se eligió roca basáltica de alta calidad.

Al elegir la base hidráulica para formar parte del pavimento se tomó en cuenta que para obtener un buen funcionamiento de esta capa era necesario, considerar varias condiciones como son: el espesor de la capa, el grado y la humedad de compactación, el tamaño máximo de partícula, el porcentaje de finos y el procedimiento constructivo para evitar en lo posible su degradación. En este caso se eligió una base hidráulica, colocada al 100 % de compactación Porter.

Para fabricar la carpeta asfáltica, se eligió el mismo agregado pétreo basáltico, para elaborar concreto asfáltico en caliente, con tamaño máximo de agregado de 19 mm.

### **3.4. Diseño de pavimento.**

Para el diseño estructural del pavimento, se utilizaron dos enfoques:

- Se tomó un modelo (Corro, et al 1980), ya referido en el capítulo 2.
- Se tomó un método desarrollado a partir de la experiencia local en terracerías de suelos pumíticos y de escorias volcánicas (tezontle) en donde se utiliza un modelo de tres capas, elástico lineal, en el cual los materiales son caracterizados con pruebas de placa para obtener el módulo de Young y para la relación de Poisson, se utilizan valores típicos. El enfoque de diseño, considera el agrietamiento por fatiga en la carpeta y la deformación permanente como los mecanismos de falla más significativos (Padilla, 1982).

El resultado de la aplicación del método del Instituto de Ingeniería, fue, para la vida de proyecto de 20 años y un tráfico de diseño de  $27.6 \times 10^6$  ejes equivalentes de 80.4 kN, se requería un índice

de espesor de 550 mm, por lo que se eligió una carpeta asfáltica de 100 mm de espesor con una base hidráulica de 350 mm, descansando el pavimento en una subrasante de 300 mm de espesor. Se hizo la revisión con el método de capas elásticas y se tuvo como resultado, que el diseño propuesto tendrá una vida útil de 18.5 años y un tránsito equivalente de  $24.1 \times 10^6$  ejes de 80.4 kN, duración aceptable para estas condiciones por lo tanto se aprobó el proyecto descrito.

### **3.5. Procedimiento constructivo.**

Para la parte de terracerías que se desplantaron en terreno natural, se realizó un despalme de 200.0 mm. La superficie descubierta y el cuerpo del terraplén se compactaron al 90 % de su peso volumétrico máximo, la capa de transición con espesor de 500.0 mm, se compactó al 95%, mientras que la capa subrasante con espesor de 300.0 mm, se compactó al 100 %. Para la parte correspondiente al cuerpo antiguo, se escarificó la superficie y se recompactó, construyendo a continuación las nuevas terracerías, hasta el nivel de capa subrasante, como ya se expuso.

Sobre la capa subrasante, se construyeron las capas de pavimento, la base hidráulica con un espesor total de 350 mm, fue compactada al 100 % de su peso volumétrico máximo.; sobre la base se colocó una carpeta de concreto asfáltico con un espesor de 100 mm, en la superficie de rodamiento y 50 mm en los acotamientos.

### **3.6. Comportamiento.**

A mediados de 1988, entró en operación total el entronque El Álamo, incluso el ramal 10-22, y antes de abrir al tránsito se hicieron medidas de evaluación que incluyeron: medidas de resistencia con viga Benkelman, determinación de secciones transversales con perfilógrafo y estimaciones subjetivas de la calidad de rodamiento, con el uso del concepto de calificación actual.

Las medidas con viga Benkelman se realizaron tomando la deflexión superficial máxima para una carga aproximada de 49.0 kN y los resultados fueron una deflexión característica de 0.46 mm, que indica una alta resistencia de la estructura.

Las medidas iniciales de rodera, tuvieron un valor máximo de 3.7 mm y un valor medio de 2.9 mm, valores que se debieron básicamente a pequeños defectos causados por el proceso constructivo. La calificación actual inicial tuvo un valor de 4.3 congruente con el buen terminado que tuvo la superficie de rodamiento.

Después de la apertura del ramal, debido a las condiciones prevalecientes, no fue posible realizar medidas físicas por dos razones, una los altos volúmenes de tránsito que usan el ramal y la otra, las condiciones excelentes que ha mostrado el pavimento en estos 25 años de servicio, razón por la cual, solo se ha calificado periódicamente, en la actualidad tiene una calificación de 3.6. En resumen este pavimento no ha requerido refuerzo y los escasos deterioros superficiales que ha sufrido el ramal 10-22, han sido tan pequeños, que su efecto no se ha reflejado en la operación de la vía. (Figura 4). El mantenimiento solo ha consistido en dos riegos de taponamiento en 25 años de operación.





**Figura 4. Aspecto actual de la superficie de rodamiento. (Febrero 2011)**

#### **4. DISCUSION.**

De acuerdo a la definición de Newcomb et al (2002), el concepto de pavimento perpetuo de larga duración, se ha establecido a través del comportamiento de pavimentos asfálticos gruesos y bien construidos que aunque diseñados para ser comparables en comportamiento con pavimentos flexibles convencionales, la resistencia mayor con la profundidad y tener secciones muy gruesas de asfalto, han mostrado que confinar a las capas superiores del pavimento, permite la renovación periódica de la capa superficial y reemplazarla rápidamente. Esta práctica de reparar solamente la carpeta, ofrece varias ventajas de la rehabilitación en términos de velocidad en la reparación, menor costo por retardo de usuario y menor costo de reconstrucción.

Para lograr una vida de servicio larga (Nunn, 1997) se establece que es necesario que la carpeta sea bien construida con asfalto y materiales pétreos de buena calidad y una buena cimentación, de manera que los deterioros no resulten de una mala construcción y/o de materiales inadecuados.

De acuerdo a lo expresado tanto la estructura de la autopista Guadalajara - Colima, como la del ramal 10 -22 del entronque El Álamo, han tenido un comportamiento similar al de los pavimentos asfálticos de larga duración, pero con una estructuración totalmente diferente, ya que en el primer caso, se tuvo un terreno de cimentación blando que se superó con un diseño adecuado y sobre las terracerías se colocó un pavimento flexible con materiales de alta calidad, con un control de calidad muy cuidadoso y además, una carpeta asfáltica de 12 mm de espesor, en vez de capas asfálticas mayores a 300 mm, como se utilizan en los pavimentos de larga duración, mientras que en el caso del pavimento del ramal 10 – 22, la diferencia mayor es el uso de la carpeta asfáltica de 100 mm de espesor en contraste con la experiencia internacional que fija, en general, más de 300 mm de espesor de capas asfálticas.

A pesar de las diferencias relatadas, en los dos pavimentos presentados, las labores de mantenimiento se han concentrado básicamente a la carpeta, igual meta que tienen en su filosofía los pavimentos de larga duración.

## **5. CONCLUSIONES.**

Después de más de 28 años en operación del tramo ubicado del km 14+000 – 49+000, de la autopista Guadalajara – Colima, y de 25 años en el ramal 10-22 del entronque El Alamo, se concluye para las dos estructuras estudiadas, que tanto el diseño y la construcción fueron adecuados, ya que ambas vías, han rebasado con creces sus vidas de proyecto respectivas y se encuentran actualmente en muy buenas condiciones de servicio.

Con estos dos casos, se muestra que se pueden tener más pavimentos de larga duración, con estructuraciones diferentes, siempre y cuando se realice un diseño adecuado a las condiciones particulares de cada proyecto y además, se tenga un sistema constructivo eficiente, apoyado por un control de calidad y supervisión minuciosas y finalmente con labores de mantenimiento oportunas y de calidad.

## **6. REFERENCIAS.**

- Corro, S., Magallanes, R., Prado, G., “Instructivo para el diseño estructural de pavimentos flexibles para carreteras”. Instituto de Ingeniería, UNAM, México D.F., 1980.
- Newcomb, D.E., Huddleston, A.J., Buncher, M., “U.S. perspective on design and construction of perpetual asphalt pavements”, Ninth International Conference on Asphalt Pavements, Copenhagen, Denmark, 2002.
- Nunn, M., “Long-life flexible roads”, Eighth International Conference on Asphalt Pavements, International Society for Asphalt Pavements, Seattle, Washington, U.S.A. 1997.
- Padilla, E., “Comportamiento de un pavimento flexible de larga duración”, XVI Congreso Iberoamericano del Asfalto, Rio de Janeiro, Brasil, 2011.
- Padilla, E., “Diseño estructural de terraplenes carreteros en zonas lacustres, XII Congreso Mundial IRF, Madrid, España, 1993.
- Padilla, E., “Uso de anclas verticales (micropilotes) para contener temporalmente una excavación”, XV Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, San Luis Potosí, México, 1990.
- Padilla, E., “Pavement design on pumice subgrades. A method that combines layered elastic theory and plate bearing tests”, Second Transportation Research Workshop, Phoenix, Arizona, U.S.A., 1982.