



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

**FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL**

VÍAS TERRESTRES

**SUSTITUCIÓN DE PAVIMENTO FLEXIBLE A PAVIMENTO RÍGIDO
EN LA CARRETERA 57, DEL KILÓMETRO 207 AL 212.**

TESINA

PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A N:

**EDUARDO HUANTE VARGAS
HUGO ALBERTO OSORNIO MARINES**

DIRIGIDO POR:

M.C. RUBÉN RAMÍREZ JIMÉNEZ

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QRO., ABRIL DE 2014

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.

ÍNDICE GENERAL

I. **Introducción**

II. **Antecedentes**

2.2. Historia de los pavimentos en México.

2.3. Antecedentes de pavimentos rígidos en el mundo.

2.4. Programa Nacional de Infraestructura

2.5. Inversión federal en la red carretera en Querétaro.

III. **Objetivo.**

IV. **Justificación.**

IV.1. Durabilidad

IV.2. Aspectos vehiculares

IV.2.1. Composición vehicular.

4.2.1.1. Tipo especial.

4.2.1.2. Tipo A

4.2.1.3. Tipo B

4.2.1.4. Tipo C

4.2.2. Clasificación de vehículos.

4.2.2.1. Eje sencillo.

4.2.2.2. Eje tándem

4.2.2.3. Eje trídem

4.2.2.4. Importancia del tráfico pesado

4.2.3. Clasificación de carreteras.

4.2.3.1. Arterias principales o primarias.

- 4.2.3.2. Arterias colectoras
- 4.2.3.3. Arterias secundarias
- 4.2.3.4. Vías locales

IV.3. Costos.

IV.4. Capacidad de carga.

IV.5. Ahorros.

IV.6. Fallas en pavimentos flexibles.

IV.6.1. Fisuras y grietas por fatigamiento.

IV.6.2. Deterioro superficial.

IV.6.2.1. Parches deteriorados.

IV.6.2.2. Baches en carpetas asfálticas y tratamientos superficiales.

IV.6.2.3. Roderas.

IV.6.2.4. Desgaste.

V. **Descripción del problema**

V.1. Análisis de la demanda vehicular

V.1.1. Tránsito diario promedio anual

V.1.2. Composición vehicular y direccionalidad

V.1.3. Proyección del aforo vehicular

V.2. Evaluación económica

V.2.1. Evaluación privada. Rentabilidad del proyecto.

V.2.2. Evaluación social. Beneficios VS. Costos de la población.

V.2.3. Tabla comparativa de costos.

5.3 Tramo de estudio.

5.4 Fallas presentadas en el tramo de estudio.

5.5 Tren ligero Querétaro-Ciudad de México y su impacto en el parque vehicular.

VI. Fundamentación teórica.

VI.1. Pavimento.

VI.2. Factores que afectan el comportamiento de los pavimentos.

VI.3. Tipos de pavimentos.

VI.3.1. Pavimentos rígidos.

VI.3.1.1. Capas.

VI.3.1.1.1. Losa.

VI.3.1.1.2. Base.

VI.3.1.1.3. Subrasante, subyacente y cuerpo de terraplén.

VI.3.1.2. Proceso constructivo.

VI.3.1.3. Aplicaciones de los pavimentos rígidos.

VI.3.1.4.

VI.3.2. Pavimentos flexibles.

VI.3.2.1. Riego de sello

VI.3.2.2. Carpeta asfáltica.

VI.3.2.3. Base.

VI.3.2.4. Sub-base.

VI.3.2.5. Subrasante.

VI.3.2.6. Cuerpo de terraplén.

VI.4. Ventajas y desventajas del pavimento rígido.

VI.5. Ventajas y desventajas del pavimento flexible.

VII. Ejemplos de diseño de pavimento flexible.

VIII. Conclusiones.

IX. Referencias.

X. Índice de imágenes

XI. Índice de tablas

I. INTRODUCCIÓN

Esta tesina va dirigida al público en general, no únicamente a los que estén interesado en las vías terrestres, esto con el fin de dar a conocer un mejor punto de vista acerca de las diferentes formas de construir un camino que sea cómodo, seguro y transitable en toda las épocas del año.

Se darán a conocer dos sistemas para la construcción de un camino, uno denominado pavimento flexible y el otro pavimento rígido, teniendo como objetivo conocer sus ventajas y desventajas respectivamente, también se hace hincapié en el costo de la ejecución de dichos pavimentos, donde se involucran varios factores como el tiempo de vida útil, el costo de mantenimiento entre otros.

Otro tema muy importante; la problemática de los pavimentos, en él se habla de los factores que pueden afectar al pavimento durante su proyecto, ejecución y mantenimiento después de estar en funcionamiento, por qué se generan fallas más comunes como son: la piel de cocodrilo, baches, etc. los cuales se explican de manera particular y concreta, para que se tenga una mejor idea acerca del funcionamiento de los pavimentos.

De modo que, se muestra como mejor opción al pavimento rígido realizado con concreto hidráulico ya que hoy en día, gracias al avance científico y tecnológico que abarca desde los estudios que se realizan en los materiales pétreos que intervienen en la elaboración del concreto, hasta la maquinaria empleada en la elaboración y construcción del pavimento, también se opta por hacer un estudio más detallado, el cual abarca temas como el diseño, cálculo por medio de dos métodos diferentes los cuales son de la ASSHTO y el de la PCA.

Por último presentan la factibilidad y los beneficios de la sustitución por pavimento rígido en el tramo comprendido entre los kilómetros 207 y 212 de la carretera federal 57, que actualmente cuenta con pavimento flexible, esto con el fin de darle un periodo de vida más prolongado, abatiendo el costo del mantenimiento.

II. ANTECEDENTES

Desde que el hombre tuvo la necesidad de trasladarse de un lugar a otro, éste se ha preocupado por proveerse de los medios que les proporcionen rapidez y comodidad creando el vehículo que lo transportara y el camino sobre el que circule, para el caso del transporte terrestre.

Es por eso que se ha dado a la tarea de buscar formas que mejoren estas condiciones naturales de terreno; a diferencia de los primeros caminos, ahora se presentan frecuencias de vehículos y cargas mayores. Esto ha exigido que la ingeniería busque y desarrolle nuevas técnicas para el buen aprovechamiento de los materiales que se encuentran cerca de los caminos por construir con el objeto de lograr una buena economía y durabilidad en su construcción.

De aquí se desprende la gran importancia que juega el buen estado que debe guardar las redes carreteras de todo el país y principalmente la superficie de rodamiento, que, después de todo, es la que presta el servicio y está en contacto con el usuario.

Es por ello, que a la par con las nuevas técnicas de diseño se han desarrollado también nuevas técnicas de rehabilitación de pavimentos, entre los que se juegan un papel muy importante las que tienen como objeto principal, la rehabilitación de la carpeta asfáltica o de losas de concreto.

Es cierto que, para la planeación de una carretera hay que tener en cuenta una serie de consideraciones que no podemos pasar por alto ya que en determinado momento influyen en nuestra planeación de la vía. Algunas de estas consideraciones que conocemos son las geográficas, geológicas, económicas, sociales, políticas, etc.

2.2. Historia de los pavimentos en México.

La historia de los caminos en México, es la historia del esfuerzo del hombre que aplicando su ingenio sobre la naturaleza, cambió el entorno de la tierra de acuerdo a sus necesidades.

- Las antiguas brechas, labradas por los pies desnudos de nuestros antepasados indígenas.



Figura 2.1 Caminos prehispánicos

- Con la conquista en 1519 Hernán Cortés trae consigo dieciséis caballos y algunas mulas, además de su tripulación y artillería. La introducción de caballos y mulas para el transporte de mercancías, impulsó el trazo de nuevos caminos. Los caminos se revestían de tal forma para que las ruedas no se incrustaran en el terreno empleando empedrados.

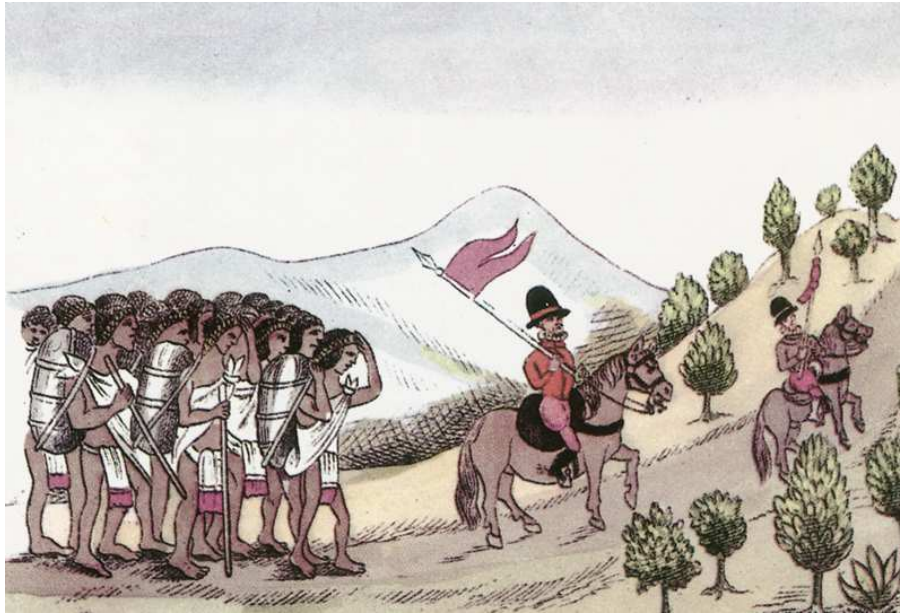


Figura 2.2 Caballos españoles en caminos prehispánicos

- Las antiguas brechas, fueron sustituidas por los caminos reales, hasta llegar a las modernas carreteras de asfalto.
- Con la llegada del automóvil a México, durante la presidencia de Venustiano Carranza expide una ley para comunicaciones y obras públicas que obligaba a la construcción de los caminos carreteros y la inspección de los privados. El 2 de Noviembre de 1924, es inaugurada la calzada que une la Ciudad de México con el poblado de San Ángel, hoy Av. de los Insurgentes.



Figura 2.3 Avenida de los insurgentes, México, DF (1924)

- En Septiembre de 1926 el Presidente Carranza inaugura la Carretera México – Puebla, ese día se produjo en el país, el primer embotellamiento a consecuencia de aproximadamente 2000 automóviles que circularon por la carretera para estrenarla.



Figura 2.4 Carretera México-Puebla (1926)

- En 1952 se inauguran las primeras autopistas en México, la México – Cuernavaca con una longitud de 62 km. y la Amacúza – Iguala con 51 km. su administración y operación se otorgaron inicialmente a la empresa que

las construyó, en 1956 la empresa cambio de nombre a Caminos Federales de Ingresos S.A. de C.V.



Figura 2.5 Autopista México-Puebla (1962)

- Para 1970 se podría considerar que todos los estados estaban unidos a través de la red federal o red troncal.
- En 1971 se inicia el programa de Caminos de Mano de Obra.
- El presidente Carlos Salinas de Gortari, a partir del año de 1988, dio impulso a la construcción de las autopistas por toda la república mexicana.
- Entre 1989- 1994 existían 2,500 KM de autopistas mediante la inversión privada.
- Para el año 2000 totalizó 333 mil 247 kilómetros de carreteras
- En 2003 México cuenta con una red carretera de aproximadamente 325,000 Km de caminos de todos tipos.

- En el 2011 la longitud total de la red nacional de carreteras en México es de 370,000 km., incluye las carreteras de todo tipo.
- En el 2013 la longitud de la red nacional de carreteras en México es de 423,000 km, incluyendo las carreteras federales y estatales de cuota y libres, los caminos locales y rurales.

2.3. Antecedentes de pavimentos rígidos en el mundo.

En muchos países del mundo se han utilizado por muchos años los pavimentos de concreto hidráulico tanto para proyectos carreteros como para vías de comunicación urbanas, tal es el caso de Estados Unidos, Canadá, Alemania, España, Francia, Italia, Bulgaria, Etc. De diferentes formas estos países han contribuido para que los métodos de diseño se hayan ido perfeccionando en base a los estudios realizados en el tiempo, así mismo se ha evolucionado en las técnicas de construcción y de evaluación de los pavimentos de concreto hidráulico. Todas las experiencias recopiladas durante más de 50 años han servido de base para la tecnología actual de pavimentos y obviamente se sigue experimentando e investigando para mejorar y perfeccionar las técnicas actuales.

En los países de América Latina se han utilizado los pavimentos de concreto principalmente para vialidades urbanas, sin embargo las tecnologías de diseño y construcción utilizadas normalmente no habían sido las más actualizadas. El país de Latinoamérica que más pronto inició su incursión en las nuevas tecnologías de pavimentación fue Panamá esto en consecuencia de la fuerte influencia tecnológica que tuvieron de los Estados Unidos por su presencia en el Canal. Posteriormente algunos otros países empezaron a utilizar estas tecnologías tanto en especificaciones como en procedimientos constructivos, sin embargo el desarrollo más importante se ha dado durante la última década, la de los noventas. Países como: Brasil, Chile, México, Argentina, han empezado a utilizar

ampliamente estas nuevas tecnologías en el desarrollo de sus Carreteras, Autopistas y Vialidades Urbanas.

En menor escala pero con una fuerte tendencia de crecimiento lo están haciendo países como Venezuela, Colombia, Uruguay, Guatemala, El Salvador y Bolivia, sin embargo esta tendencia parece estar ampliándose a todos los países de América Latina.

En las gráficas siguientes podemos observar de manera aproximada el porcentaje de la red carretera pavimentada de estos países que ya cuenta con concreto hidráulico como superficie de rodamiento, así como el número de kilómetros construidos por país con estas nuevas tecnologías en Carreteras y Autopistas.

2.4. Programa Nacional de Infraestructura.

Este Programa nace con el propósito de avanzar con la infraestructura necesaria hacia un país mejor, propone dar pasos decisivos para que los intercambios productivos eleven la competitividad de la economía, llevar servicios básicos a un mayor número de familias, favorecer la integración de mercados, propiciar un desarrollo regional más equilibrado y generar los empleos que demandan millones de mexicanos.

La situación de México según los datos proporcionados por este Programa es:

- 1) De acuerdo con el Foro Económico Mundial 2006 - 2007 por la competitividad de su infraestructura, durante dichos años, México se ubicaba en el lugar 64 de 125 países.

- 2) A nivel sectorial, México ocupa el lugar 65 en ferrocarriles, 64 en puertos, 55 en aeropuertos, 73 en electricidad, 51 en telecomunicaciones y 49 en carreteras.
- 3) En América Latina, México se ubica en 7° lugar, atrás de Barbados (28), Chile (35), Panamá (46), Jamaica (53), El Salvador (54) y Uruguay (58). A nivel sectorial, México es 3° en ferrocarriles, 11° en puertos, 8° en aeropuertos, 14° en electricidad, 9° en telecomunicaciones y 6° en carreteras.

2.5. Inversión federal en la red carretera en Querétaro.

El día 5 de Diciembre de 2013 se publicaron en el diario oficial de la federación las licitaciones carreteras para el 2014, formando parte de una inversión para el actual sexenio (2013-2018) que asciende a \$386,000 mdp.

Se contemplan 258 licitaciones, las cuales representan 2,048 kms (1.8% de los Kms pavimentados en México) incluyendo puentes, entronques, libramientos y otros tipos de construcciones. La inversión resulta 34.0% superior a la que se realizó en 2013.

Para Querétaro se destinará 0.20% de dicha inversión, concentrándose principalmente en la modernización de la carretera Portozuelo Palmillas.

III. OBJETIVO

El objetivo de ésta tesina es exponer los pavimentos flexibles y rígidos, así como su proceso constructivo, el cual comprende varias etapas, como lo son: diseño, ejecución y mantenimiento de los mismos; así como las diferentes aplicaciones que poseen, regidos a las normas y especificaciones vigentes para su construcción.

En esta tesina se hace una reflexión sobre el comportamiento de los pavimentos flexibles y rígidos, con el propósito de establecer algunos elementos comparativos entre ellos; llegando a la conclusión que al sustituir el concreto asfáltico por concreto hidráulico en el tramo señalado traerá mayores beneficios tanto sociales como económicos. Y servirá como parte-aguas para la implementación del mismo en vialidades con alto aforo vehicular en Querétaro.

IV. JUSTIFICACION

IV.1 . Durabilidad.

La durabilidad es un aspecto cada vez más importante a nivel mundial.

Los diseños de los pavimentos rígidos se especifican para una vida útil:

- En México de 20 a 25 años.
- En Estados Unidos los están llevando a periodos de 30 a 40 años.
- En Europa no es raro que se diseñen para 50 años o más.

IV.2 . Aspectos vehiculares.

IV.2.1 Composición vehicular.

Esta clasificación permite distinguir en forma precisa la categoría física del camino, ya que toma en cuenta los volúmenes del tránsito sobre el camino al final del periodo económico del mismo (20 años) y las especificaciones geométricas aplicadas (S.T.C.) clasifica técnicamente a las carreteras de la manera siguiente:

4.2.1.1. Tipo Especial: para tránsito promedio diario anual superior a 3,000 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 360 vehículos o más (o sea un 12% del T.P.D.). Estos caminos requieren de un estudio especial, pudiendo tener corona de dos o de cuatro carriles en un solo cuerpo, designándoles A2 y A4, respectivamente, o empleando 4 carriles en dos cuerpos diferentes designándoles como A4,S.

4.2.1.2. Tipo A: para un tránsito promedio diario anual de 1,500 a 3,000, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 180 a 360 vehículos (12% del T.P.D.).

4.2.1.3. Tipo B: para un tránsito promedio diario anual de 500 a 1,500, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 60 a 180 vehículos (12% del T.P.D.).

4.2.1.4. Tipo C: para un tránsito promedio diario anual de 50 a 500, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 6 a 60 vehículos (12% del T.P.D.).

4.2.2. Clasificación de vehículos.

4.2.2.1 Eje sencillo: Es un eje cuyos extremos lleva una o dos ruedas sencillas.



Figura 4.1 Eje sencillo

4.2.2.2 Eje Tándem: Constituido por dos ejes sencillos con rueda doble en los extremos.



Figura 4.2 Eje tándem.

4.2.2.3. Eje Trídem: Constituido por tres ejes sencillos con rueda doble en los extremos.



Figura 4.3 Eje trídem

4.2.2.4 Importancia del tráfico pesado.

El daño producido a un pavimento por un camión semi-remolque de 36 Ton. Equivale a 9,523 automóviles.

En las décadas de los 50s y 60s, el porcentaje de camiones pesados era del 6% respecto al tráfico total.

Actualmente, la concentración de camiones pesados es del 25 al 40%.

En México, el coeficiente de daño medido de camiones pesados, es 4 veces mayor que en los Estados Unidos.



Figura 4.4 Equivalencia de daño entre camión pesado y vehículo.

4.2.3 Clasificación de carreteras.

4.2.3.1. Arterias principales o primarias.- Son vialidades que llevan grandes volúmenes de tránsito alrededor de la ciudad. Son caminos de acceso controlado, las intersecciones entre las calles locales, colectores y vías primarias están normalmente a desnivel. En esta categoría se encuentran las vialidades siguientes: Av. 5 de Febrero; autopista México –Querétaro; Boulevard Bernardo Quintana y carretera Libre a Celaya.}

4.2.3.2. Arterias colectoras.- Son vialidades que se conectan con el sistema de arterias principales. Generalmente tienen franja separadora central y presentan un alto volumen de tránsito. Las vialidades consideradas en esta categoría son: Av. Zaragoza, Av. Universidad, Av. Corregidora, Blvd. de la Luz, Av. Constituyentes, Av. Pie de la Cuesta, Av. Luis Pasteur, Carretera a Huimilpan (tramo urbano), Av. Revolución, Blvd. De las Américas, entre otras.

4.2.3.3. Vías Secundarias.- Son las que se enlazan a las vías locales con las arterias principales y arterias colectoras más próximas. Proporcionan un mayor acceso a propiedades colindantes. Las vialidades con estas características son: Ezequiel Montes, Guerrero, Juárez, Av. Tecnológico, Av. Circunvalación, Paseo Constitución, Felipe Ángeles, entre otras.

4.2.3.4. Vías Locales.- Son las que facilitan el tránsito en las colonias y proporcionan el acceso directo a las propiedades. Se conectan directamente

con las vías secundarias y tienen bajos volúmenes de tránsito. Ejemplo de estas vialidades son Paseo del Jacal, Morera, Camelinas, entre otras.

4.3 Costos

En una visión general, el costo inicial de una carretera es esto sólo como parte del costo total del proyecto, por lo que se considera el concepto del “costo del ciclo de vida”, que incluye:

a. Costos de construcción inicial:

Costo de construcción inicial	
Diseño	2%
Indemnizaciones	28%
Movimientos de tierra	35%
Pavimento	15%
Est. Complementario	7%
Señalización e iluminación	13%

Tabla 4.1. Costo de construcción inicial

b. Costos de conservación.

c. Costos del usuario.

El impacto de lo anterior es sumamente significativo, como lo denotan los siguientes datos:

- En México, los costos del transporte representan el 5% del PIB.
- En un camino con al menos 50 vehículos diarios de circulación, los costos de operación serán mayores que la suma de los costos construcción inicial y de conservación durante su vida útil

En una estimación para valuar el orden de magnitud, en un tramo de 100km con un TPDA de 3,600 (28% pesados), un pavimento malo costaría al país 56,000

millones de pesos cada año en exceso del costo de operación de un camino en buenas condiciones.

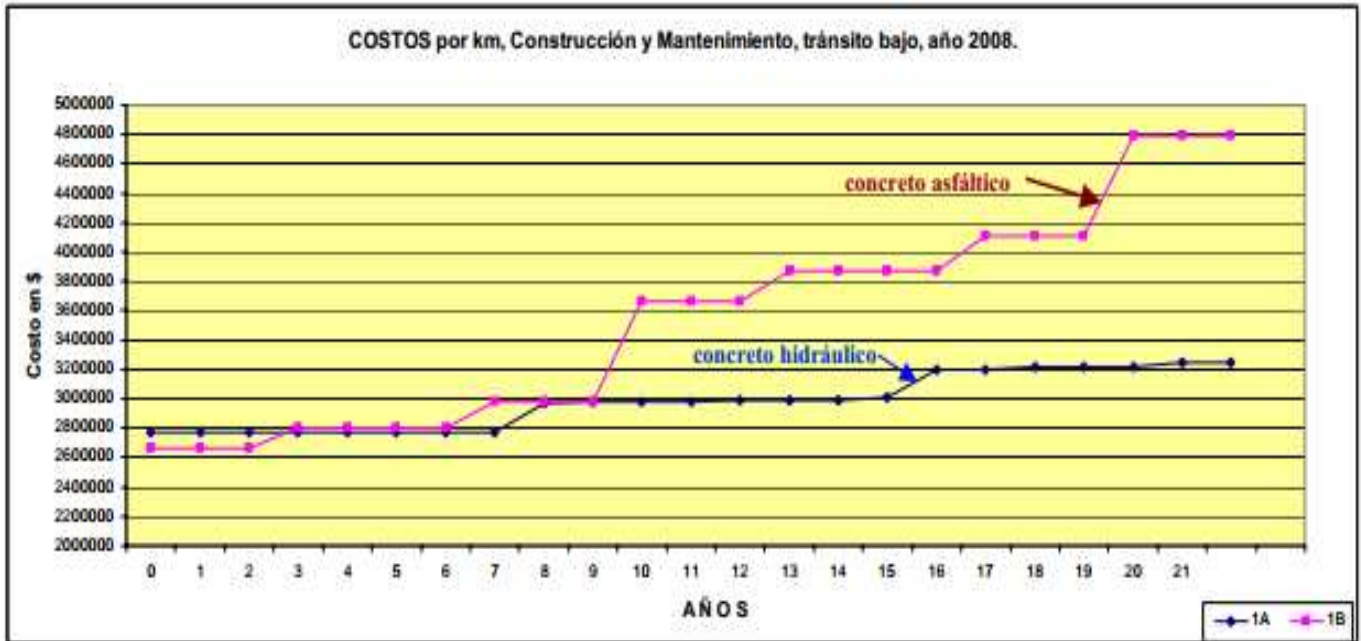


Tabla 4.2. Tabla costo-mantenimiento con tránsito bajo

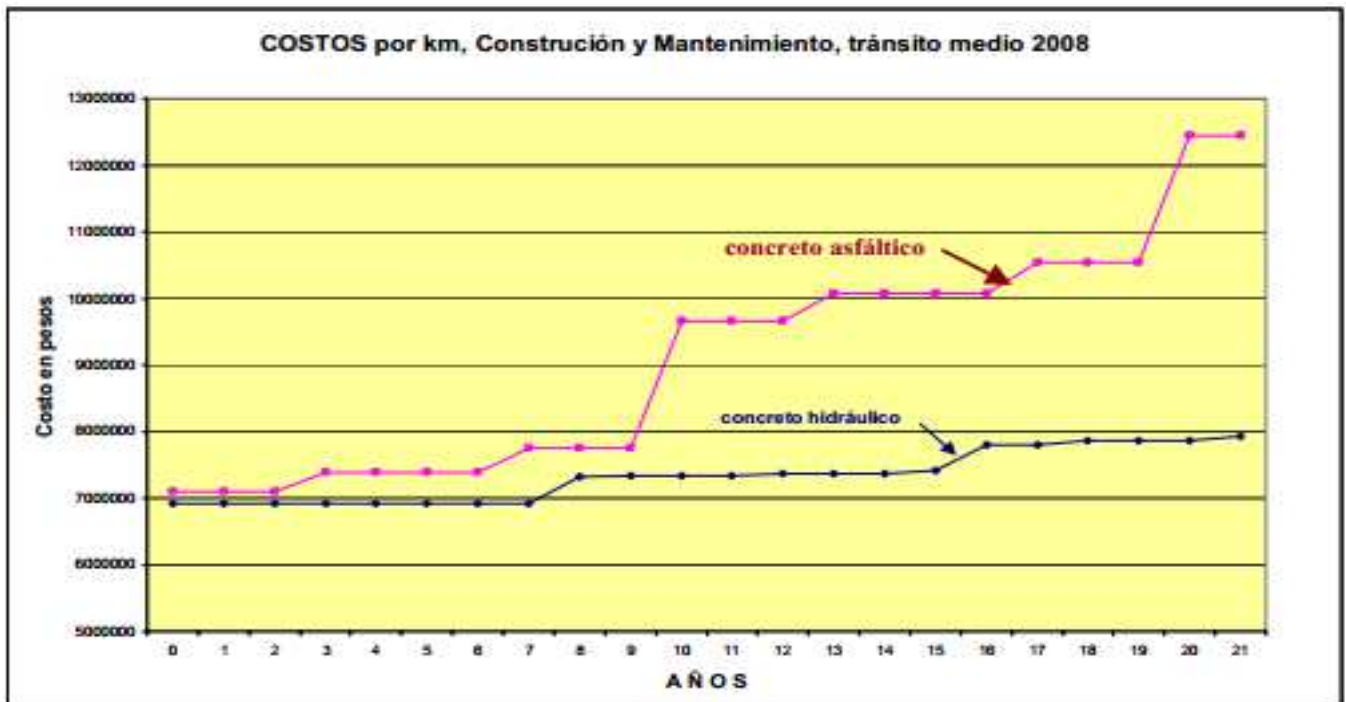


Tabla 4.3. Tabla costo-mantenimiento con tránsito medio.

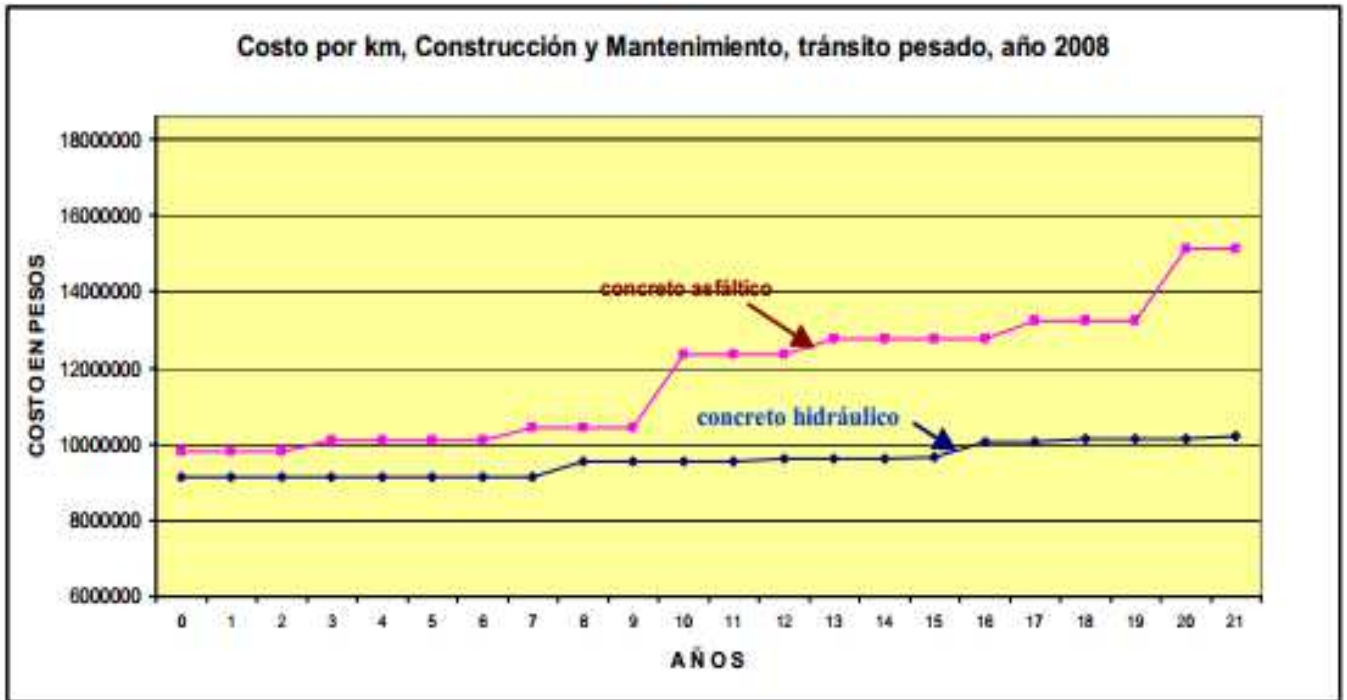


Tabla 4.4. Tabla costo-mantenimiento con tránsito pesado.

Como se aprecia en las gráficas, el pavimento rígido presenta el menor costo total en las opciones analizadas, partiendo de la subrasante propuesta con valor de VRS de 20%; sin embargo, para otras condiciones de subrasante, se podrán obtener otras conclusiones diferentes. En todos los casos, el pavimento rígido es favorecido en cuanto a costos de mantenimiento. En cuanto a los costos de construcción se determinó que para condiciones de tránsito moderado y tránsito más intenso y pesado, el costo del pavimento rígido resulta menor que el flexible.

4.4 Capacidad de carga.

Al incrementar el espesor del pavimento de concreto en 2.5 cm, incrementamos al doble la capacidad de carga de ese pavimento.

Un pavimento de 30,5 cm de espesor puede soportar un 400% más que un pavimento de 25,5 cm y cuesta solamente un 20% más.

4.5 **Ahorros.**

La alternativa de construcción de pavimentos rígidos se vuelve más relevante, principalmente por su bajo costo de conservación y algunos otros ahorros:

- Hasta el 20% en combustibles de camiones.
- Entre 20 y 25% en iluminación de vialidades urbanas.
- Una mejora de 3% en la eficiencia de consumo de combustible en los vehículos de EE.UU., ahorraría aproximadamente 46.5 millones de toneladas de CO por año, el equivalente a las emisiones totales de un país como Dinamarca.

4.6 **Fallas en pavimentos flexibles.**

Los tipos de fallas presentes en una estructura de pavimento flexible son:

- Fisuras y Grietas por fatigamiento.
- Deterioro superficial.

4.6.1 Fisuras y grietas por fatigamiento.

Son una serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, generalmente ubicadas en zonas donde hay repeticiones de carga. La fisuración tiende a iniciarse en el fondo de las capas asfálticas, donde los esfuerzos de tracción son mayores bajo la acción de cargas, en donde desarrollan un parecido con la piel de cocodrilo. Este tipo de daño no es común en carpetas asfálticas colocadas sobre pavimentos de concreto.

Posibles Causas:

La causa más frecuente es la falla por fatiga de la estructura o de la carpeta asfáltica principalmente debido a:

- ✓ Espesor de estructura insuficiente.
- ✓ Deformaciones de la subrasante.
- ✓ Rigidización de la mezcla asfáltica en zonas de carga (por oxidación del asfalto o envejecimiento).
- ✓ Problemas de drenaje que afectan los materiales granulares.
- ✓ Compactación deficiente de las capas granulares o asfálticas
- ✓ Deficiencias en la elaboración de la mezcla asfáltica: exceso de mortero en la mezcla, uso de asfalto de alta penetración (hace deformable la mezcla), deficiencia de asfalto en la mezcla (reduce el módulo).



Figura 4.5 Piel de cocodrilo.



Figura 4.6 Fisura por fatigamiento.

4.6.2 Deterioro superficial.

4.6.2.4 Parches deteriorados.

Los parches corresponden a áreas donde el pavimento original fue removido y reemplazado por un material similar o diferente, ya sea para reparar la estructura (a nivel del pavimento asfáltico o hasta los granulares) o para permitir la instalación o reparación de alguna red de servicios (agua, gas, etc.)

Posibles Causas:

- Procesos constructivos deficientes.

- Sólo se recubrió la zona deteriorada sin solucionar las causas que lo originaron.

- Deficiencias en las juntas.

- Parche estructuralmente insuficiente para el nivel y características de la subrasante.

Mala construcción del parche (base insuficientemente compactada, mezcla asfáltica mal diseñada).



Figura 4.7. Parche deteriorado.



Figura 4.8. Mala construcción de parches.

- Baches en carpetas asfálticas y tratamientos superficiales.

Cavidad, normalmente redondeada, que se forma al desprenderse mezcla asfáltica. Para considerarla como bache al menos una de sus dimensiones un mínimo debe tener de 150 mm.

Posibles Causas:

- ✓ Pavimento estructuralmente insuficiente para el nivel y características de la subrasante.

- ✓ Drenaje inadecuado o insuficiente.

- ✓ Defecto de construcción.

- ✓ Derrame de solventes (bencina, aceite, etc.) o quema de elementos sobre el pavimento.

- ✓



Figura 4.9. Bache.



Figura 4.10. Bache causado por defecto de construcción.

4.6.2.5 Roderas.

Es una depresión de la zona localizada sobre la trayectoria de la llanta de los vehículos.

Con frecuencia se encuentra acompañado de una elevación de las áreas adyacentes de la zona deprimida y de fisuración. Un Ahuellamiento significativo puede llevar a la falla estructural del pavimento y posibilitar el hidroplaneo por almacenamiento de agua.

Posibles Causas:

El Ahuellamiento ocurre principalmente debido a una deformación permanente de alguna de las capas del pavimento o de la subrasante, generada por deformación plástica del pavimento asfáltico o por deformación de la subrasante debido a la fatiga de la estructura ante la repetición de cargas.

La deformación plástica de la mezcla asfáltica puede darse por una compactación inadecuada de las capas durante la construcción, por el uso de asfaltos blandos o agregados redondeados.



Figura 4.11. Roderas muy pronunciadas.



Figura 4.12. Pequeñas roderas en pavimentos flexibles.

4.6.2.6 Desgaste.

Corresponde al deterioro del pavimento ocasionado principalmente por la acción del tránsito, agentes abrasivos o erosivos. Se presenta como pérdida del ligante y mortero. Suele encontrarse en las zonas por donde transitan los vehículos. Este daño provoca aceleración del deterioro del pavimento por acción del medio ambiente y del tránsito.

Posibles Causas:

- El desgaste superficial generalmente es un deterioro natural del pavimento, aunque si se presenta con severidades medias o altas a edades tempranas puede estar asociado a un endurecimiento significativo del asfalto.
- Falta de adherencia del asfalto con los agregados.
- Deficiente dosificación de asfalto en la mezcla
- Acción intensa del agua u otros agentes abrasivos además del tránsito.



Figura 4.13. Desgaste de una avenida hasta llegar a capas inferiores.



Figura 4.14 desgaste de un camino de dos carriles.

5.1. Análisis de la demanda vehicular.

5.1.1. Tránsito diario promedio anual.

La demanda está constituida por los vehículos que circulan por las carreteras actuales. Al número total de vehículos que circulan en promedio al día por un cierto punto de una carretera, se le denomina Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA). Para la preparación del estudio resulta importante contar con el TDPA actual, ya que es el aforo vehicular base que se utiliza para proyectar la situación sin proyecto.

En el caso de carreteras federales, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes publica los Datos Viales de muchas de las carreteras del país y calcula el TDPA. Esta información generalmente está desagregada por tipo de vehículo y sentido de circulación. Sucede lo mismo con las carreteras estatales, donde la Junta de Caminos de cada una de las entidades federativas, realiza generalmente conteos vehiculares en ciertos puntos de los caminos a su cargo.

5.1.2. Composición vehicular y direccionalidad.

El TDPA deberá desagregarse para cada tipo de vehículo y sentido de circulación. La composición vehicular que se recomienda utilizar en el estudio es la siguiente: Automóviles ligeros, camionetas o pick up's, autobuses de pasajeros, camiones de carga unitarios o tipo torton y camiones de carga articulados o trailers

5.1.3. Proyección del aforo vehicular.

Debido a que los proyectos carreteros presentan beneficios crecientes en el tiempo, se deberá realizar una proyección a lo largo del tiempo del aforo vehicular o TDPA. La SCT generalmente dispone de tasas de crecimiento vehicular o bien, se puede hacer una estimación haciendo crecer el TDPA base, tomando como base las estimaciones del Producto Interno Bruto (PIB) nacional o estatales.

De acuerdo a los aforos tomados por la SCT en la ciudad de Querétaro, se analizan los obtenidos en puntos relacionados con el tramo de estudio, como son el libramiento hacia la carretera libre a Irapuato, el libramiento a Bernardo Quintana y de la estación localizada en el kilómetro 207 de la carretera federal 57; mostrando los siguientes resultados.

QUERETARO - IRAPUATO (CUOTA)										
AÑO	ESTACIÓN		CLASIFICACION VEHICULAR EN PORCIENTO							
	KM	TDPA	A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R2	OTROS
2006	0	17030	75.6	9.4	6.5	4.2	4.4	2.6	0	3
	0	16875	74.9	5	5.7	4.4	3.7	3.3	0	3
2007	0	17738	77	4	4.7	3.6	4.7	2.7	0.1	3.2
	0	17093	75.3	4.2	4.8	4.7	4	3.6	0.1	3.3
2008	0	16406	66.5	2.9	1.9	1.4	6.6	4.2	10.6	5.9
	0	16123	63.7	3.4	1.9	1.8	7.2	5	10.4	6.6
2009	0	17348	70.5	3.9	5.9	1.4	6.6	4.2	5.6	1.9
	0	17339	68.9	4.4	5.7	1.8	7.2	5	5.4	1.6
2010	0	18082	60.1	1.6	13.7	7.9	12.2	2.9	1	0.6
	0	17315	58.5	1.5	14.4	8.1	12.7	3.2	1	0.6
2012	0	48903	92.3	0.1	2.7	0.3	1.2	2.1	0.3	0.5
	0	47050	91.4	0.1	2.9	0.3	1.4	2.4	0.3	0.7
2013	0	52329	92.1	0.2	2.3	0.4	1.2	2.1	0.3	0.5
	0	52330	91.3	0.2	2.8	0.4	1.3	2.3	0.3	0.5

SCT-DIRECCIÓN DE SERVICIOS TÉCNICOS-DATOS VIALES

Tabla 5.1. Aforo en el tramo Querétaro-Irapuato

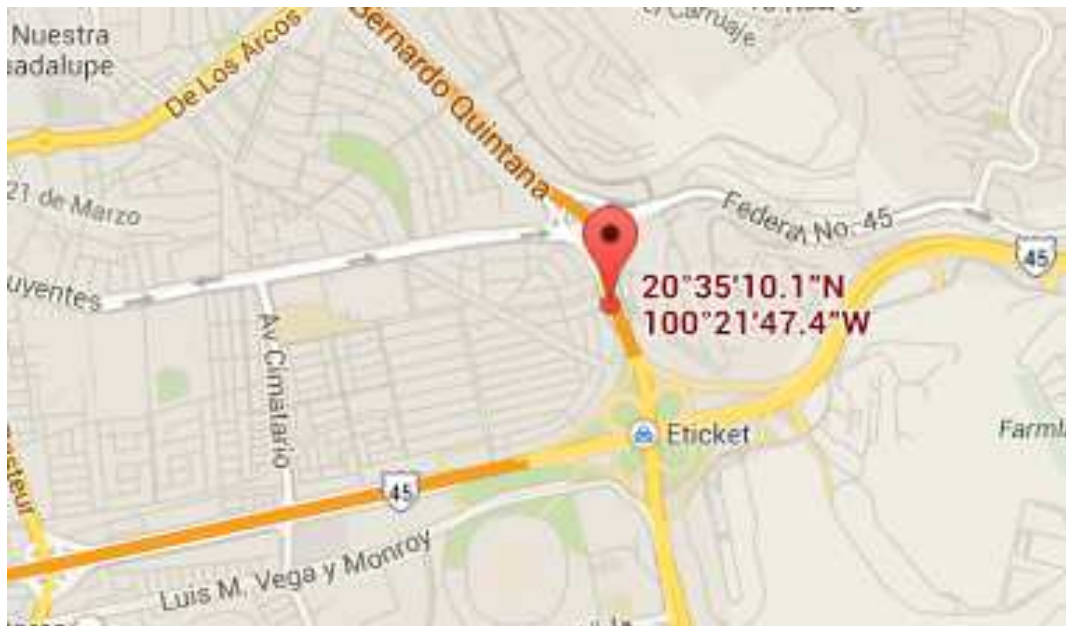


5.1 Localización de estación carretera cuota a Irapuato.

ENTRONQUE CARRETERA 57-BERNARDO QUINTANA										
AÑO	ESTACIÓN		CLASIFICACION VEHICULAR EN PORCIENTO							
	KM	TDPA	A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R2	OTROS
2006	0	27221	80.8	2.5	8.4	3.2	2.1	1.4	0	1.6
	0	26868	76.4	2.8	9.7	4.4	3.2	1.9	0	1.6
2007	0	29094	77.9	3.1	8.4	3.1	2.4	2	0.6	2.5
	0	25849	78.4	3.3	8	3.2	2.7	2	0.3	2.1
2008	0	27039	78.7	3.7	7.4	3	2.8	2	0.3	2.1
	0	26872	78.1	3.5	7.8	2.9	2.4	2.1	0.6	2.6
2009	0	26312	73.2	4.3	7.6	2.6	3.7	2.7	4.5	1.4
	0	28293	71.8	4.5	7.5	3	3.4	3.1	5.7	1
2010	0	30134	73.5	4.5	7.7	2.6	3.7	2.8	4.6	0.6
	0	29698	71.6	4.7	7.6	3.1	3.5	3.2	5.8	0.5
2012	0	36529	93.3	0.1	0.7	0.1	0.9	3.3	0.3	0.6
	0	35551	92.6	0.1	0.7	0.1	1.1	3.6	0.3	0.6
2013	0	40989	93.5	0.1	0.7	0.1	0.6	3.2	0.3	0.3
	0	40444	93.5	0.1	0.8	0.1	0.6	3.4	0.3	0.3

SCT-DIRECCIÓN DE SERVICIOS TÉCNICOS-DATOS VIALES

Tabla 5.2 Aforo en el tramo entronque Carretera 57-Bernardo Quintana.

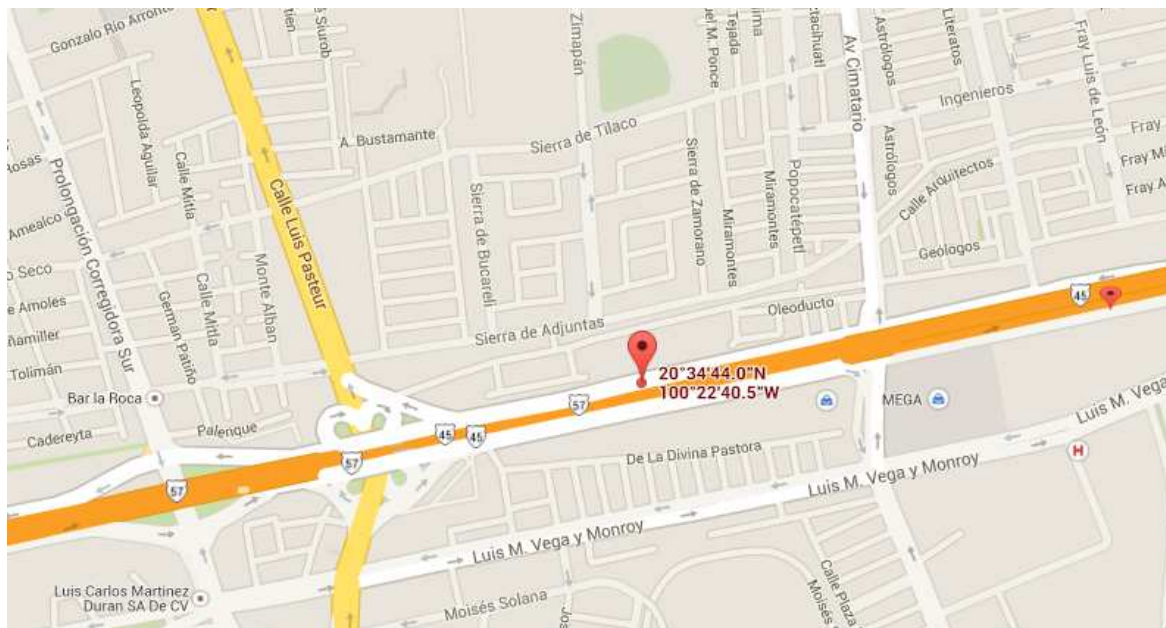


5.2 Localización de estación de aforo Bernardo Quintana

MEXICO - QUERETARO (CUOTA) KM 207										
AÑO	ESTACIÓN		CLASIFICACION VEHICULAR EN PORCIENTO							
	KM	TDPA	A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R2	OTROS
2006	207	23987	64.2	9.4	4	5.3	9	5.7	0	2.4
	207	23992	71.8	5.1	3.9	4.7	5.3	6.3	2	2.9
2007	207	27695	67.4	4.9	3.7	2.8	8.4	3.2	5.9	3.7
	207	27675	61.2	4.9	5.4	3.6	10.5	3.5	6.3	4.6
2008	207	28662	62.4	4.4	3.6	3.4	10.4	3.9	7.3	4.6
	207	28088	63.2	4.3	3.8	3.6	10.6	3.6	6.3	4.6
2009	207	28436	65.6	3.9	5.9	7.3	12.3	1.5	3.2	0.3
	207	30032	64.4	4.2	6.3	7.2	12.3	1.3	4	0.3
2010	207	30421	57.7	4.2	6.9	7.3	17.2	1.8	4.3	0.6
	207	32501	59.3	4.4	7	6.7	15.6	1.8	4.6	0.6
2011	207	44836	58.9	5.7	11.5	7.1	9.2	2	4.4	0.7
	207	42986	55.8	5.7	12.4	7.7	10.1	2.3	4.8	0.8
2012	207	45965	68.7	6.2	14.9	1.9	4.5	2	1.1	0.1
	207	43765	68	7.1	13.4	0.2	5.1	2.2	1.2	0.1
2013	207	46984	69.9	6	14.2	1.8	4.6	1.9	1	0.1
	207	43744	66	7	15	2.1	4.8	2.2	1.2	0.1

SCT-DIRECCIÓN DE SERVICIOS TÉCNICOS-DATOS VIALES

Tabla 5.3. Aforo en el tramo México- Querétaro



5.3 Localización de estación de aforo km 207

Como se muestra, el TDPA en 7 años casi se ha duplicado en ésta vía, por lo que es necesario tomar en cuenta estos datos para asegurar una mayor durabilidad en la vía.

5.2 **Evaluación económica.**

Existen dos tipos de evaluación económica para saber si un proyecto es factible, dependiendo el tipo de pavimento que se utilizará:

5.2.2 **Evaluación Privada: RENTABILIDAD DEL PROYECTO.**

- Destinada a evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión desde el punto de vista de una entidad privada.
- Analiza flujos de ingresos (peajes, pagos por contratos) vs. egresos a cargo del privado (costos de construcción y/o conservación).
- Incidencia del costo financiero de obtención del capital de trabajo.

5.2.3 **Evaluación Social: BENEFICIOS VS COSTOS DE LA POBLACIÓN.**

- Analiza la rentabilidad social de un proyecto, y debería tener en cuenta todos los costos involucrados
- Incorpora el análisis de los costos de operación vehicular y tiempos de viaje

5.1.3 A continuación se muestra una tabla comparativa de los costos generados al hacer un pavimento rígido y uno flexible.

Tipo de tránsito y pavimento		Costos, millones de pesos				
		construcción	conservación	operación	rescate	A valor presente (1)
ligero	R	2,7	0,8	97,3	1,1	19,3
	F	2,6	3,3	98,6	1,0	19,7
mediano	R	6,9	1,7	462,1	2,7	65,3
	F	7,1	8,4	468,9	2,8	87,2
alto	R	9,1	1,8	1242,0	3,6	219,6
	F	9,7	8,4	1263,1	3,9	223,7

Tabla 5.4. Comparación costos de pavimento rígido y flexible.

5.3 Tramo de estudio

El tramo que se está analizando consta de 5 kilómetros que actualmente se encuentran con pavimento flexible. Las grandes cargas a la que se somete diariamente, sumado al excesivo peaje que ésta presenta, hace que tenga muchas fallas y, por ende, halla que tener mantenimiento continuamente. Dicho mantenimiento le cuesta al estado una gran cantidad de dinero anualmente, dejando a un lado la molestia y pérdida de tiempo por los usuarios de dicha autopista.

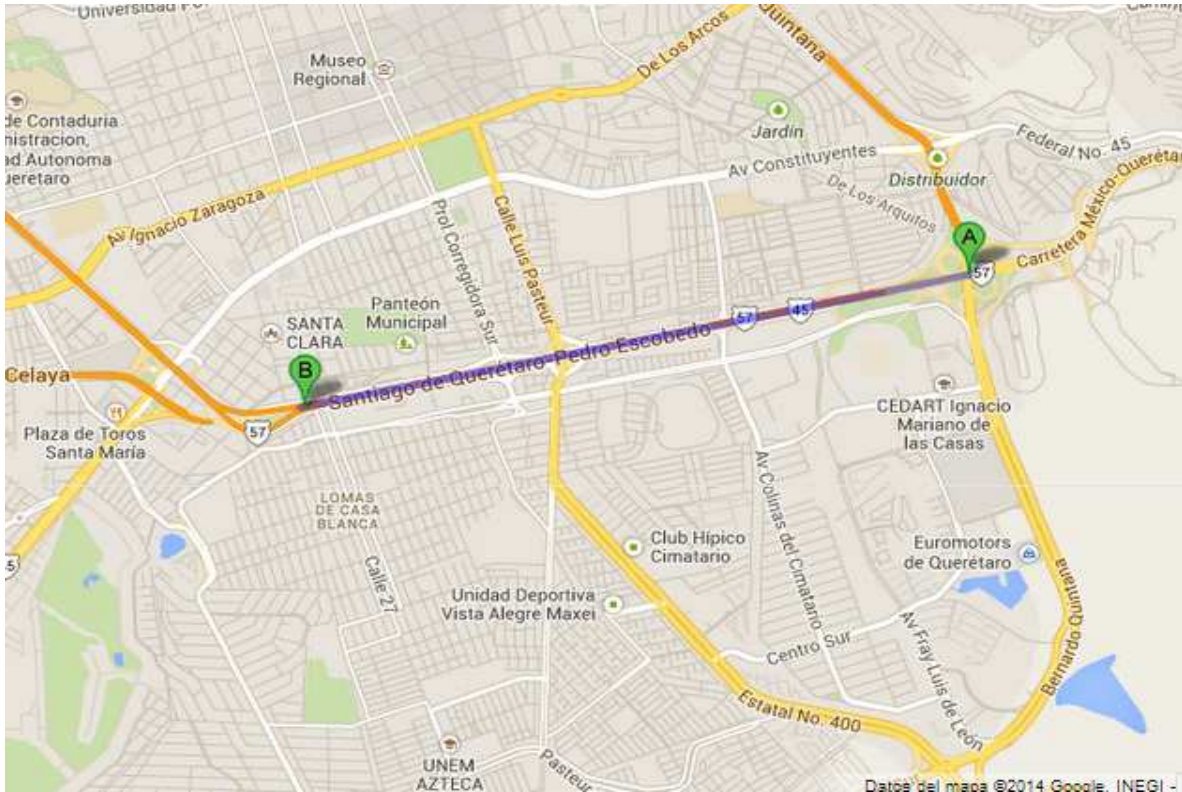


Figura 5.4 localización del tramo de estudio.

5.4 Fallas presentadas en el tramo de estudio.

Como ya sabemos, la carretera 57 es una de las más transitadas en el país, por lo que las cargas que recibe son muy grandes; esto conlleva a que se presenten diferentes tipos de fallas (anteriormente explicadas) en dicha carretera. A continuación presentaremos algunas imágenes satelitales de fallas presentadas en el tramo a estudiar.



Figura 5.5 Desgaste.



Figura 5.6 Bache



Figura 5.7 Bache



Figura 5.8 Agrietamiento transversal.



Figura 5.9 Deterioro de parches.



Figura 5.10 Roderas

5.5 Tren ligero Querétaro-Ciudad de México y su impacto en el parque vehicular.

Con una inversión aproximada de 43 mil millones de pesos, provenientes de recursos públicos y privados, el subsecretario de Transporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Carlos Almada López, anunció la construcción y habilitación del tren rápido Querétaro-Ciudad de México, éste será un medio que pretende eficientar el transporte con la reducción del tiempo de traslado. El cual sería de aproximadamente hora y media.

Una vez finalizada la construcción del tren antes mencionado, se debe considerar el crecimiento en el parque vehicular en la ciudad de Querétaro, lo que tendrá como consecuencia la necesidad de construir nuevas carreteras, por otro lado, se presentará un mayor desgaste de las carreteras transitadas actualmente, por lo que será necesario emplear métodos constructivos que aseguren una mayor durabilidad y reduzcan los tiempos perdidos por constantes mantenimientos. Por lo que sobra mencionar la factibilidad del empleo de concreto hidráulico en las vías principales.

6.2 Pavimento.

Capa o conjunto de capas de materiales apropiados comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento, cuyas funciones son proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito.

6.3 Factores que afectan el comportamiento de los pavimentos.

- Tránsito y carga.
- Medio ambiente.
- Materiales.
- Criterios de deterioro.

6.4 Tipos de pavimentos.

6.4.2 Pavimentos rígidos.

La superficie de rodamiento de un pavimento rígido es proporcionada por losas de concreto hidráulico, las cuales distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes, que trabajan en conjunto con la que recibe directamente las cargas. Por su rigidez distribuyen las cargas verticales sobre un área grande y con presiones muy reducidas. Salvo en bordes de losa y juntas sin pasajuntas, las deflexiones o deformaciones elásticas son casi inapreciables.

Este tipo de pavimento no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural. Es te punto de vista es el que influye en los sistemas de cálculos de pavimentos rígidos, sistemas que combinan el espesor y la resistencia de concreto de las losas, para una carga y suelos dados.

Aunque en teoría las losas de concreto hidráulico pueden colocarse en forma directa sobre la subrasante, es necesario construir una capa de subbase para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento al pasar los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla en la losa. La sección transversal de un pavimento rígido está constituida por la losa de concreto hidráulico y la sub-base, que se construye sobre la capa subrasante.

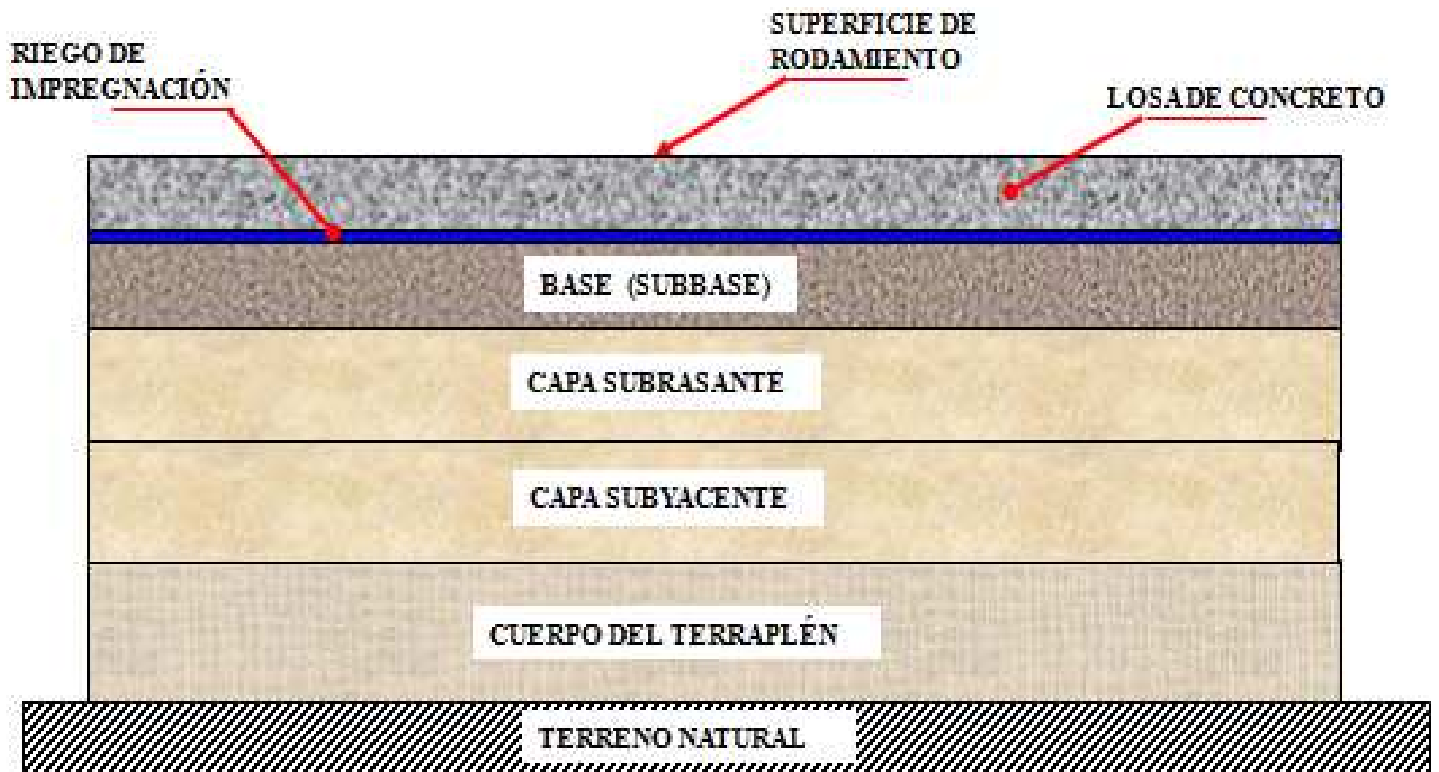


Figura 6.1. Capas de pavimento rígido

6.4.2.4 **Capas.**

6.3.1.1.1. Losa.

- Capa de concreto hidráulico limitada por juntas o bordes y colocada inmediatamente encima de la sub-base.
- Se diseñan con un $f'c = 200-400 \text{ kg/cm}^2$.
- Los factores que afectan al espesor de la losa son principalmente los niveles de carga que han de soportar, presión de inflado de las llantas, módulo de reacción del suelo de apoyo y las propiedades mecánicas del concreto que en ellas se utilice.
- Proporcionar una superficie de rodamiento adecuada.
- Soportar las cargas aplicadas por el tránsito y transmitir a la capa de apoyo esfuerzos cuya magnitud no exceda su capacidad de soporte.
- Resistir los efectos abrasivos del tránsito.

6.3.1.1.2.1.1. Base

- Proporcionar a la losa una superficie de apoyo continua y resistente.
- Proporcionar sub-drenaje al pavimento.
- Prevenir el fenómeno de bombeo.

- Facilitar la construcción de la losa.

6.3.1.1.3. Capa Subrasante, Capa Subyacente y Cuerpo del Terraplén:

- Las funciones de las capas subrasante, subyacente y el cuerpo del terraplén de un estructura con pavimento rígido son similares a las de un pavimento asfáltico.

6.3.1.2. Proceso constructivo.

1. Conformar terracerías con respecto al trazo y niveles especificados en el proyecto. Es conveniente pedir asesoría a un laboratorio calificado en la materia para que realice revisiones periódicas de las superficies mediante, los estándares de supervisión, referentes al valor relativo de soporte (VRS) y al espesor y grado de compactación de los suelos.
2. El segundo paso consiste en elaborar el cimbrado, cuidando que se coloque siguiendo el alineamiento y los niveles que indique la brigada de topografía. Una vez terminado el proceso, será preciso revisar nuevamente los niveles de la cimbra con un topógrafo especializado.
3. Para el tendido del concreto se deberá, primero, humedecer la superficie que recibirá la mezcla, con el fin de evitar que el suelo absorba agua del concreto. Posteriormente, el material deberá esparcirse por todo lo ancho del pavimento.
4. Una vez colocado el concreto, se procede a elaborar el vibrado y perfilado, que consiste en acomodar las orillas pegadas a la cimbra, mediante el uso de un vibrador manual.

Posteriormente, deberán insertarse las barras para sujetar al concreto, con la ayuda de un escantillón que señale exactamente la mitad del espesor. Por último, se pasará la regla vibratoria que dará el acabado final al pavimento.

5. El texturizado deberá efectuarse mediante el uso de una tela de yute húmeda, que será arrastrada en sentido longitudinal al pavimento. En su defecto, puede usarse pasto sintético.

6. Para el curado del concreto deberá emplearse una membrana de la marca y cantidad que especifique el proyecto.

En el proceso de curado deberá utilizarse un aspensor manual. Este procedimiento se realizará en seguida del texturizado.

7. El corte de juntas se realiza con máquinas especiales que cuentan con discos de diamante y elaboran incisiones en el concreto de forma transversal y longitudinal.

8. La limpieza de juntas se hace mediante la inyección de agua a presión sobre las incisiones. Posteriormente se secarán los bordes con aire, se colocará un agente sellador dentro de la junta y una cintilla de respaldo.

6.3.1.3. **Aplicaciones de los pavimentos rígidos.**

A. **Aeropistas:** En los aeropuertos, donde se demanda un mínimo de prórroga para la utilización del pavimento terminado, se ha empleado un sistema de apertura rápida; éste consiste en el colado secuencial del pavimento en la reconstrucción de pistas aéreas y plataformas.

- B. Vialidades urbanas: La reconstrucción de vialidades urbanas se ha convertido en uno de los principales problemas, pues además del tiempo y costo, afectan al tránsito vehicular. Sin embargo, con los pavimentos de concreto de apertura rápida, estos problemas se minimizan ostensiblemente.
- C. Zonas residenciales: El uso de pavimentos de concreto en zonas residenciales aumenta día con día, debido a la reducción del tiempo de curado en la mezcla. Se ha demostrado que lo más eficiente para disminuir el cierre de accesos, es la construcción con base en cimbra deslizante a todo lo ancho de la calle. En los estacionamientos de las casas particulares, por ejemplo, se ha logrado limitar a sólo 24 horas el impedimento para que los residentes metan sus automóviles.
- D.

6.3.1.4. **Daños en estructuras con pavimento rígido.**

a) Fisura transversal o diagonal

Descripción: Fracturamiento de la losa que corre aproximadamente perpendicular al eje del pavimento, o en forma oblicua a este, dividiendo la misma en dos planos.

Posibles Causas: Son causadas por una combinación de los siguientes factores: excesivas repeticiones de cargas pesadas (fatiga), deficiente apoyo de las losas, asentamientos de la fundación, excesiva relación longitud / ancho de la losa o deficiencias en la ejecución de éstas.



Figura 6.2 Agrietamiento transversal

b) Fisura Longitudinal:

Descripción: Fracturamiento de la losa que ocurre aproximadamente paralela al eje de la carretera, dividiendo la misma en dos planos.

Posibles causas: Son causadas por la repetición de cargas pesadas, pérdida de soporte de la fundación, gradientes de tensiones originados por cambios de temperatura y humedad, o por las deficiencias en la ejecución de éstas y/o sus juntas longitudinales.



Figura. 6.3 Agrietamiento longitudinal.

c) Fisura de Esquina.

Descripción: Es una fisura que intersecciona la junta o borde que delimita la losa a una distancia menor de 1.30 m a cada lado medida desde la esquina. Las fisuras de esquina se extienden verticalmente a través de todo el espesor de la losa.

Posibles Causas: Son causadas por la repetición de cargas pesadas (fatiga de concreto) combinadas con la acción drenante, que debilita y erosiona el apoyo de la fundación, así como también por una deficiente transferencia de cargas a través de la junta, que favorece el que se produzcan altas deflexiones de esquina.



Figura 6.4. Fisura de esquina.

e) Levantamiento de losas.

Descripción: Sobre-elevación abrupta de la superficie del pavimento, localizada generalmente en zonas contiguas a una junta o fisura transversal.

Posibles causas: Son causadas por falta de libertad de expansión de las losas de concreto, las mismas que ocurren mayormente en la proximidad de las juntas transversales. La restricción a la expansión de las losas puede originar fuerzas de compresión considerables sobre el plano de la junta. Cuando estas fuerzas no son completamente perpendiculares al plano de la junta o son excéntricas a la sección de la misma, pueden ocasionar el levantamiento de las losas contiguas a las juntas, acompañados generalmente por la rotura de estas losas.



Figura 6.5 Levantamiento de losa.

f) Hundimiento

Descripción: Depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área localizada del mismo; puede estar acompañado de un fisuramiento significativo, debido al asentamiento del pavimento.

Posibles causas: Este tipo de deformación permanente del pavimento, con o sin agrietamiento puede ocurrir cuando se producen asentamiento o consolidación en la subrasante, por ejemplo, en terraplenes cuando existen condiciones muy desfavorables para la fundación, o bien en zonas contiguas a una estructura de drenaje o de retención donde puede ocurrir el asentamiento del material de relleno

por deficiente compactación inicial o bien por movimiento de la propia estructura. También pueden ser originadas por deficiencias durante el proceso de construcción de las losas.



Figura 6.6 Hundimiento

g) Parchados y reparaciones para servicios públicos

Descripción: Un parche es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado, ya sea con un material similar o eventualmente diferente, para reparar el pavimento existente, también un parchado por reparación de servicios públicos es un parche que se ha ejecutado para permitir la instalación o mantenimiento de algún tipo de servicio público subterráneo.

Los parchados disminuyen la serviciabilidad de la pista, al tiempo que pueden constituir indicadores, tanto de la intensidad de mantenimiento demandado por una carretera, como la necesidad de reforzar la estructura de la misma. En muchos casos, los parchados, por deficiente ejecución dan origen a nuevas fallas. Si bien los parches por reparaciones en servicios públicos se deben a causas bien diferentes, los niveles de severidad se definen en forma idéntica.



Figura 6.7 Parchado

6.4.3 **Pavimentos flexibles.**

Una carpeta constituida por una mezcla asfáltica proporciona la superficie de rodamiento; que soporta directamente las solicitaciones del tránsito y aporta las características funcionales. Estructuralmente, la carpeta absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los verticales, ya que las cargas de los vehículos se distribuyen hacia las capas inferiores por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa.



Figura 6.8. Capas de pavimento flexible

6.3.2.1. Riego de sello.

- Proporcionan una superficie de rodamiento antiderrapante.
- Aumentar la impermeabilidad.
- Evitar reflejos.
- Soportar los efectos abrasivos del intemperismo.
- Resistir los efectos abrasivos del tránsito.

6.3.2.2. Carpeta asfáltica.

- Proporciona una superficie de rodamiento cómoda y segura.
- Soportar las cargas y transmitirlos adecuadamente a la base.
- Servir como capa impermeable, constituyendo una protección para la base.

6.3.2.3. Base.

- Soportar los esfuerzos impuestos por las cargas aplicadas en la superficie del pavimento y distribuirlos adecuadamente, de manera que las capas inferiores los puedan resistir.
- Proporcionar sub-drenaje al pavimento.

6.3.2.4. Sub-base.

- Abaratar los costos de la base.

6.3.2.5. Subrasante.

- Absorber las cargas que le transmite la sub-base y transmitirlos a un nivel adecuado a la capa subyacente o al cuerpo del terraplén.

6.3.2.6. Cuerpo de terraplén

- Proporcionar los niveles que requiere la estructura.
- Es de espesor variable y en muchos casos se construye con material del terreno natural.

6.4. Ventajas y desventajas del pavimento rígido.

Ventajas:

- El concreto refleja la luz, lo que aumenta la visibilidad y puede disminuir los costos de iluminación en las calles hasta un 30%, en cantidad de luminarias y consumo de energía.
- El concreto no se ahuella nunca, por lo tanto no hay acumulación de agua y, por ende, tampoco se produce hidroplaneo. Por otra parte, se disminuye el efecto "spray", que es el agua que despiden los vehículos que van adelante sobre el parabrisas del de atrás, impidiendo la visibilidad.
- Es fácil darles "rugosidad" a los pavimentos de concreto durante su construcción, para generar una superficie que provea de mayor adherencia.
- La rigidez del concreto favorece que la superficie de rodado mantenga la planeidad.
- La lisura es el factor más importante para los usuarios. Actualmente, los pavimentos de concreto se pueden construir más suaves que los de asfalto.
- A diferencia del asfalto, el concreto puede soportar cargas de tráfico pesadas sin que se produzca ahuellamiento, deformaciones o lavado de áridos.

- La superficie dura del concreto hace más fácil el rodado de los neumáticos. Estudios han demostrado que aumenta la eficiencia de combustible de los vehículos.
- El concreto se endurece a medida que pasa el tiempo. Después del primer mes, el concreto continúa lentamente ganando 40% de resistencia durante su vida.
- El concreto tiene una vida promedio de 30 años.
- Los pavimentos de concreto frecuentemente sobrepasan la vida de diseño y las cargas de tráfico.
- Los pavimentos de concreto se pueden diseñar para que duren desde 10 hasta 50 años, dependiendo de las necesidades del sistema.

Las técnicas de restauración de pavimentos pueden extender su vida hasta tres veces la de diseño.

- Los pavimentos de concreto tienen un mayor valor a largo plazo debido a su mayor expectativa de vida con los mínimos requerimientos de mantenimiento.

- La durabilidad del concreto disminuye la necesidad de reparación y/o mantenencias anuales, en comparación con pavimentos asfálticos.
- Los pavimentos de concreto se pueden construir y dar al tránsito en tiempos reducidos, incluso de hasta 12 horas.

Desventajas:

- Tiene un costo inicial mucho más elevado que el pavimento flexible.
- Se deben tener cuidado en el diseño.

6.5. Ventajas y desventajas del pavimento flexible.

Ventajas:

- Su construcción inicial resulta más económica.
- Tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años.

Desventajas:

- Para cumplir con su vida útil requiere de un mantenimiento constante.
- Las cargas pesadas producen roderas y dislocamientos en el asfalto y son un peligro potencial para los usuarios. Esto constituye un serio problema en intersecciones, casetas de cobro

de peaje, donde el tráfico está constantemente frenando y arrancando.

- Las roderas llenas de agua de lluvia en estas zonas, pueden causar deslizamientos, pérdida de control del vehículo y por lo tanto, dar lugar a accidentes y a lesiones personales.
- Las roderas, dislocamientos, agrietamientos por temperatura, agrietamientos tipo piel de cocodrilo (fatiga) y el intemperismo, implican un tratamiento frecuente a base de selladores de grietas y de recubrimientos superficiales.
- Las distancias de frenado para superficies de concreto son mucho mayores que para las superficies de asfalto sobre todo cuando el asfalto esta húmedo y con huellas.
- Una vez que se han formado huellas en un pavimento de asfalto, la experiencia ha demostrado, que la colocación de una sobrecarpeta de asfalto sobre ese pavimento noevitará que se vuelva a presentar.
- Las huellas reaparecen ante la incapacidad de lograr una compactación adecuada en las huellas que dejan las ruedas y/o ante la imposibilidad del asfalto de resistir las presiones actuales de los neumáticos y los volúmenes de tráfico de hoy en día.

6.6. **Recomendaciones para prolongar la vida útil de un pavimento rígido.**

- Evaluar las vialidades y determinar el grado de severidad de los diferentes deterioros para implementar reparaciones menores y garantizar la vida útil de la estructura de pavimento rígido.
- Conocer las diferentes técnicas constructivas que garanticen un nivel de serviciabilidad de la vía.
- Realizar pruebas de laboratorio de los suelos que se encuentren en el lugar, de tal manera que se verifique que si son apropiados para la cimentación de la estructura o que si se requiere de suelos de mejores propiedades.
- Realizar el sellado de las juntas longitudinales y transversales con materiales compresibles (silicón) para evitar la filtración de agua y materiales incompresibles.
- Antes de iniciar las reparaciones de una vía determinada, en un tiempo de antelación de 60 días se debe de realizar una investigación en el campo, con el fin de definir los límites de las áreas a reparar y plasmar esa información en los planos de la vía.
- Garantizar la transferencia de cargas de la estructura de pavimento, implementando pasajuntas de acuerdo a especificaciones técnicas.
- Poner en práctica un buen procedimiento de curado el cual consistirá en aplicar un compuesto de curado en los momentos en que el agua de exudación se ha evaporado de la superficie del pavimento.
- En las reparaciones que se efectúen cerca de una junta longitudinal, transversal o intersección entre ellas; se deberá insertar una lámina incompresible, como por ejemplo una lamina de fibra, con el objeto de prevenir la adherencia de los concretos de la reparación con los circundantes y así evitar posibles descascamientos.

- Para asegurar un buen comportamiento de las reparaciones se debe de tener en cuenta:
 - Dimensiones de la reparación.
 - Método de remoción (demolición o izado).
 - Condiciones de drenaje.
 - Diseño de la transferencia de carga (cantidad y tamaño de las dovelas).
 - Materiales que están en la reparación (dovelas, mortero o epóxico, concreto, sellante).
 - Tipo de Tráfico característico en la zona.
 - Condiciones de construcción y control de calidad

VII. EJEMPLO DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE.

Para obtener el diseño de espesores a partir de las características del tránsito y de los materiales disponibles se empleará el programa DISPAV 5, desarrollado por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).



Dado que el tránsito en el tramo a estudiar presenta una gran afluencia, se aplicará el diseño de un camino de altas especificaciones.

- Contando con las características de resistencia de los materiales considerados en el proyecto (VRS de suelos y Módulo de rigidez de la capa asfáltica), también se cuenta con los datos del TDPA (Tránsito Diario Promedio Anual) en el tramo de proyecto; así como la composición de dicho tránsito. El periodo de proyecto será de 20 años, con una tasa de crecimiento anual 4%. Éste porcentaje se obtuvo de muestras tomadas en la red nacional por IMT.

TRÁNSITO ACUMULADO EN VEHÍCULOS TDPA

Introduzca los siguientes datos :

TDPA en el carril del proyecto (en vehículos) :

Tasa de crecimiento anual del tránsito en % :

Periodo de proyecto, en años :

y el tipo de camino

Utilizar Norma del decreto publicado el 7 de enero de 1997

Actualizar pesos según la Norma NOM-012-SCT-2008

(Ventana D3)

- Composición del tránsito: tomando en cuenta los datos viales obtenidos de la SCT, mostrados en la tabla 5.1 para el año 2013.

COMPOSICIÓN DEL TRÁNSITO

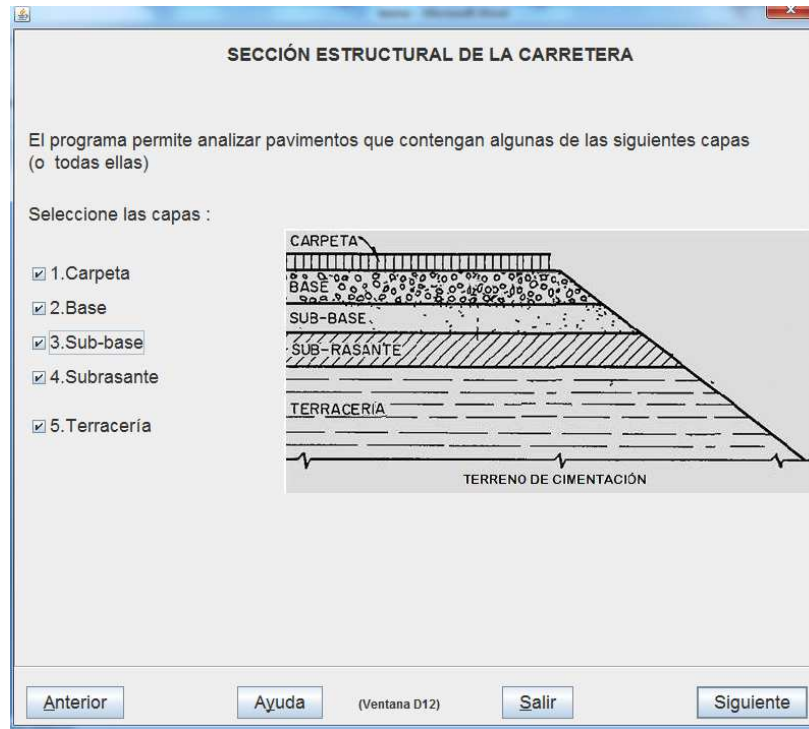
Introduzca el porcentaje de cada tipo de vehículo.

Auto	Tractocamión articulado
A: <input type="text" value="69.9"/>	T2-S1: <input type="text"/>
Autobús	T2-S2: <input type="text"/>
B2: <input type="text" value="6.5"/>	T3-S2: <input type="text" value="4.6"/>
B3: <input type="text"/>	T3-S3: <input type="text" value="1.9"/>
B4: <input type="text"/>	
Camión	Tractocamión doblemente articulado
C2: <input type="text" value="14.2"/>	T2-S1-R2: <input type="text"/>
C3: <input type="text" value="1.8"/>	T3-S1-R2: <input type="text"/>
C2-R2: <input type="text"/>	T3-S2-R2: <input type="text" value="1"/>
C3-R2: <input type="text"/>	T3-S2-R3: <input type="text"/>
C2-R3: <input type="text"/>	T3-S2-R4: <input type="text"/>
C3-R3: <input type="text"/>	T3-S3-S2: <input type="text"/>

La suma hasta el momento es de 99.9%
La suma debe ser igual a 100 %

(Ventana D4)

- Se tomarán en cuenta 5 capas, como se muestra en la figura:



- Se ingresan los valores considerados en las características de los materiales:

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Capa	VRSz %	VRSp %	Módulo de Rigidez (Kg/cm2)	Poisson
1.Carpeta			30000	0.35
2.Base granular (min.80%)	100	100.0	3265	0.35
3.Sub-base (min.25%)	40	30.0	1719	0.45
4.Subrasante (min.15%)	20	20.0	1058	0.45
5.Terracería (min.3%)	5	5.0	401	0.45

Se proponen valores para las relaciones de Poisson de cada capa, puede modificarlas si así lo desea.

(Ventana D13)

- Analizando los primeros resultados que nos arroja el programa, se observa que no cumplen con los parámetros de diseño (deformación y fatiga).

RESULTADOS FINALES DEL PROYECTO

Camino de altas especificaciones. Nivel de confianza en el diseño: 85.0%

Para un tránsito de 216.4 millones de ejes estándar Vida Previsible

Capa	H cm	VRSz %	E kg/cm2	Poisson	Def	Fatiga
1.Carpeta	12.6		30000	0.35		7.5
2.Base granular	28.3	100.0	3265	0.35	> 150	
3.Sub-base	15	40.0	1719	0.45	> 150	
4.Subrasante	69.4	20.0	1058	0.45	> 150	
5.Terracería	Semi-inf.	5.0	401	0.45	> 150	

	Vida Previsible	Transito Proyecto
Deformación	> 150	216.4
Fatiga	7.5	143.1

El diseño no es adecuado.

Tiene las siguientes opciones:

(Ventana D16)

- El resultado de la revisión indica que la vida previsible es inferior al tránsito de proyecto por fatiga. Se requiere modificar el diseño para que la vida

previsible coincida, aproximadamente, con el tránsito de proyecto. El programa proporciona tres opciones al usuario. Utilizaremos la opción de “emplear base asfáltica”.

RESULTADOS FINALES DEL PROYECTO

Camino de altas especificaciones. Nivel de confianza en el diseño: 85.0%

Para un tránsito de 216.4 millones de ejes estándar Vida Previsible

Capa	H cm	VRSz %	E kg/cm2	Poisson	Def	Fatiga
1.Carpeta	12.6		30000	0.35		7.5
2.Base granular	28.3	100.0	3265	0.35	> 150	
3.Sub-base	15	40.0	1719	0.45	> 150	
4.Subrasante	69.4	20.0	1058	0.45	> 150	
5.Terracería	Semi-inf.	5.0	401	0.45	> 150	

	Vida Previsible	Transito Proyecto
Deformación	> 150	216.4
Fatiga	7.5	143

El diseño no es adecuado.

Tiene las siguientes opciones:

- Elija una opción
- Imprimir Resultados
- Elija una opción
- Cambiar módulo de carpeta
- Cambiar espesores
- Emplear base asfáltica

Anterior

- Se debe fijar el espesor inicial para la nueva capa tomando el cuenta el T.M.A., tránsito de proyecto, etc. También es necesario proporcionar el módulo de rigidez de la nueva capa y la relación de Poisson.

Introducir los valores necesarios para la base asfáltica

Tome en cuenta un espesor mínimo de 10 cm. por motivos constructivos

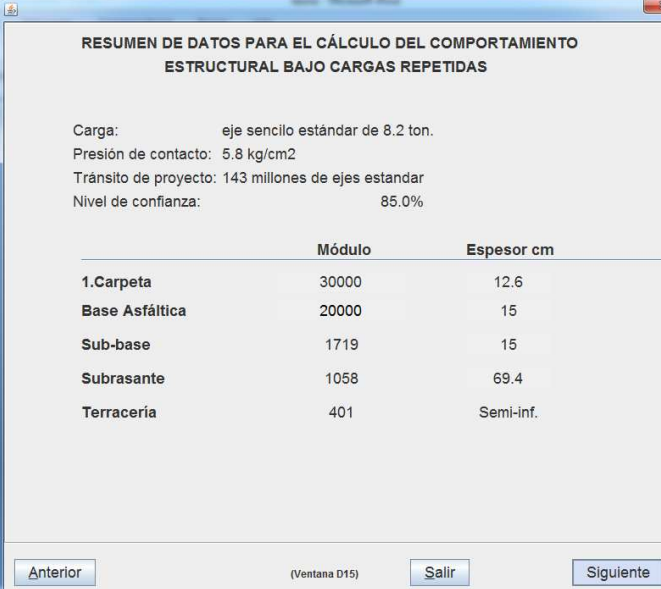
Capa	H(cm)	CBR	E(kg/cm2)	Poisson
Carpeta	12.6		30000.0	0.35
Base asfáltica	15		20000	0.35
Base granular	28.3	100.0	3265.5	0.35
Sub-base	15	40.0	1719.4	0.45
Subrasante	69.4	20.0	1058.4	0.45
Terracería	Semi-inf.	5.0	401.1	0.45

Por limitaciones del modelo el número de capas analizadas debe limitarse a un máximo de cinco; por tanto tiene que eliminar alguna de las capas. Seleccione la capa a eliminar:

- Seleccione una capa
- Seleccione una capa
- Base granular
- Sub-base
- Subrasante

Ayuda (www.mh) Salir Siguiente

- El número máximo de capas a analizar son cinco, por lo que se deberá eliminar una de ellas. Desde el punto de vista estructural, el comportamiento de la base asfáltica se ve influenciada por la capa continua a ella. Se decide eliminar la capa de base granular y construir la base asfáltica sobre la sub-base.



RESUMEN DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL BAJO CARGAS REPETIDAS

Carga: eje sencillo estándar de 8.2 ton.
Presión de contacto: 5.8 kg/cm²
Tránsito de proyecto: 143 millones de ejes estándar
Nivel de confianza: 85.0%

	Módulo	Espesor cm
1.Carpeta	30000	12.6
Base Asfáltica	20000	15
Sub-base	1719	15
Subrasante	1058	69.4
Terracería	401	Semi-inf.

Anterior (Ventana D15) Salir Siguiente

- Dados los resultados finales que arroja el programa, la vida previsible es inferior al tránsito de proyecto tanto por fatiga como por deformación. Así que se decide aumentar el espesor de la base asfáltica en 5 cm.

RESULTADOS FINALES DEL PROYECTO

Camino de altas especificaciones. Nivel de confianza en el diseño: 85.0%

Para un tránsito de 216.4 millones de ejes estándar Vida Previsible

Capa	H cm	VRSz %	E kg/cm2	Poisson	Def	Fatiga
1.Carpeta	12.6		30000	0.35		> 150
Base Asfáltica	15		20000	0.35		35.4
Sub-base	15	40.0	1719	0.45	> 150	
Subrasante	69.4	20.0	1058	0.45	> 150	
Terracería	Semi-inf.	5.0	401	0.45	> 150	

	Vida Previsible	Transito Proyecto
Deformación	> 150	216.4
Fatiga	35.4	143

El diseño no es adecuado.

Tiene las siguientes opciones: Elija una opción

Imprimir Resultado

Elija una opción

Elija una opción

Cambiar módulo de carpeta

Cambiar espesores

Emplear base asfáltica

Anterior

RESUMEN DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL BAJO CARGAS REPETIDAS

Carga: eje sencillo estándar de 8.2 ton.

Presión de contacto: 5.8 kg/cm2

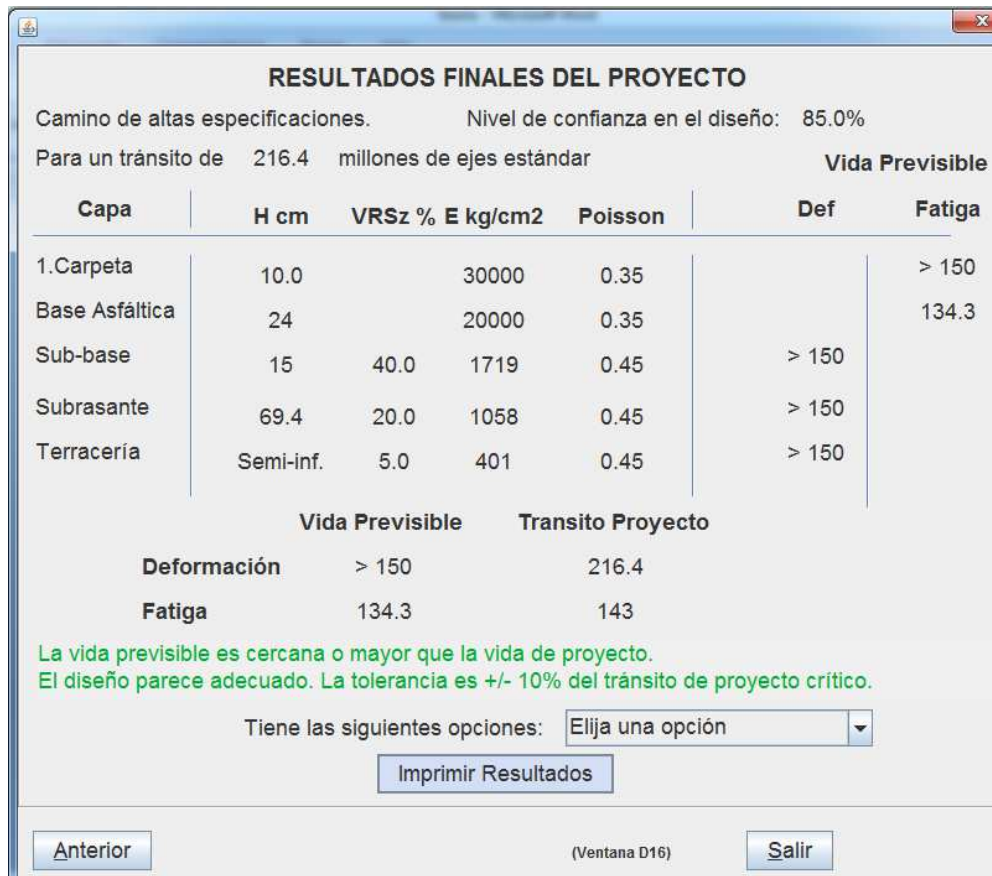
Tránsito de proyecto: 143 millones de ejes estándar

Nivel de confianza: 85.0%

	Módulo	Espesor cm
1.Carpeta	30000	<input style="width: 50px;" type="text" value="10"/>
Base Asfáltica	20000	<input style="width: 50px;" type="text" value="24"/>
Sub-base	1719	<input style="width: 50px;" type="text" value="15"/>
Subrasante	1058	<input style="width: 50px;" type="text" value="69.4"/>
Terracería	401	Semi-inf.

(Ventana D15)

Salir
Siguiete



Una vez que el programa detectó que los espesores fueron los óptimos para su buen funcionamiento, se logra la siguiente tabla comparativa donde se exponen los diferentes espesores de las capas.

CAPA	ESPESORES (cm)	
	no pasa	pasa
carpeta asfáltica	12.6	10
base asfáltica	-	24
base granular	28.3	-
sub-base	15	15
subrasante	69.4	69.4

En base a la tabla anterior, se muestran unos espesores de capas bastante elevados. Considerando costos de acarreo de materiales, disponibilidad de bancos de material cercanos y sobretodo gastos de mantenimiento para pavimento flexible, podemos concluir que, dadas las características del tránsito en el tramo analizado, la implementación de un pavimento rígido resultará más conveniente a largo plazo por los factores antes mencionados.

VIII. CONCLUSIONES

El pavimento rígido empieza a resultar referente a medida que los tránsitos van siendo mayores, respondiendo esa conclusión al común sentir de la técnica. Esta preferencia va acentuándose para tránsitos de 20 mil vehículos o mayores. Debe notarse a este respecto que en cualquier caso los pavimentos rígidos requieren de acciones de conservación mayor mas espaciadas (menos acciones en el periodo de 30 años considerado) y que esas acciones implican costos no considerados en este trabajo y que se deben a dilaciones y molestias del tránsito durante los periodos de reparación. Este hecho tiene a acentuar la ventaja del uso de los pavimentos rígidos bajo tránsitos importantes.

En general, el costo de construcción inicial y el de la conservación en el periodo de 30 años es mayor en los pavimentos rígidos que en los flexibles, si bien para tránsitos elevado el rígido presenta un ahorro en operación que le permite resultar más ventajoso en el balance total.

Aún no se toma verdadera conciencia de que hacer mantención o conservación de pavimentación es mucho más barato que reparar el mismo pavimento, además de ahorrarnos millones de pesos, se puede ofrecer más serviciabilidad y confortabilidad a los conductores.

Para que los fondos destinados a mantención sean ocupados en forma eficiente, es necesario inspeccionar los pavimentos frecuente y minuciosamente. Tan pronto ha sido determinada la necesidad de hacer reparaciones, éstos deben hacerse inmediatamente, ya que los pavimentos continúan deteriorándose día a día, produciendo así una conducción peligrosa.

Es necesario determinar primero la causa que produjo el daño en el pavimento, para poder realizar una reparación correcta, pudiendo así evitar una recurrencia.

Un mantenimiento oportuno y continuo es necesario para preservar la inversión y mantener el pavimento en completo servicio al público.

IX. REFERENCIAS

1. "Pavimentos de concreto para carreteras." Volumen I. -Manuel Zárate Aquino, Aurelio Salazar Rodríguez y José A. Tena Colunga. 1a. edición México 2001. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
2. "Manual del ingeniero civil." Tomo III. Frederick S. Merritt 4a. edición en español 2004. Editorial McGRAW-HILL.
3. "Manual de diseño y construcción de pavimentos de concreto". Cemex Concretos, S.A de C.V. 2a. edición, México 2001.
4. "Proyecto y construcción de carreteras." - Tomo I - Vehículos, suelos, cálculo estructural - Georges Jeuffroy - 2a. edición española traducida de la 2a. edición francesa. Barcelona,1977. Editorial - Editores técnicos asociados, S.A.
5. Artículo "Pavimentos de concreto sobre asfalto" de la revista IMCYC No. 191 Marzo-Abril 1984. Dr. Jorge Gómez Domínguez.
6. Tesis "Deterioro en pavimentos flexibles y rígidos"; Ricardo Javier Miranda Rebolledo; Facultad de ciencias de la ingeniería, Universidad Austral de Chile, 2010 Valdivia, Chile.
7. Folleto "El líder mundial en pavimentos de concreto"; Centro de Tecnología Cemento y Concreto, Ciudad de México, México; 2013 CEMEX.
8. "Análisis Comparativo De Pavimentos Rígidos Y Flexibles", Cámara Nacional del Cemento (CANACEM), 2010 México.
9. Dirección general de servicios técnicos, Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Datos viales 2006-2013.
<http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST>
10. "Pavimentos de concreto hidráulico", Gerencia Técnica, Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto (IMCYC), 2009. México.

11. "Guia para el diseno y construccion de pavimentos rigidos", Salazar, Aurelio. IMCYC Mexico 1998.
12. "Ingenieria de Transito, Fundamentos y Aplicaciones", Cal y Mayor, Rafael. Alfaomega Grupo Editor, Mexico 1998.

13. "Algunos aspectos comparativos entre pavimentos flexibles y rígidos" , publicación técnica No.103, Instituto Mexicano del Transporte (IMT), 1998, San Fandila, Qro.

X. ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 2.1 Caminos prehispánicos.....	8
Figura 2.2 Caballos españoles en caminos prehispánicos.....	9
Figura 2.3 Avenida de los insurgentes.....	10
Figura 2.4 Carretera México-Puebla (1926).....	10
Figura 2.5 Autopista México-Puebla (1962).....	11
Figura 4.1 Eje sencillo.....	17
Figura 4.2 Eje tándem.....	17
Figura 4.3 Eje trídem.....	18
Figura 4.4 Equivalencia de daño entre camión pesado y vehículos.....	18
Figura 4.5 Piel de cocodrilo.....	25
Figura 4.6. Fisura por fatigamiento.....	25
Figura 4.7. Parche deteriorado.....	26
Figura 4.8. Mala construcción de parches.....	27
Figura 4.9. Bache.....	28
Figura 4.10. Bache causado por defecto de construcción.....	28
Figura 4.11. Roderas muy pronunciadas.....	29
Figura 4.12. Pequeñas roderas en pavimentos flexibles.....	30
Figura 4.13. Desgaste de una avenida hasta llegar a capas inferiores.....	31
Figura 4.14 desgaste de un camino de dos carriles.....	31
Figura 5.1 Localización de estación carretera cuota a Irapuato.....	33
Figura 5.2 Localización de estación de aforo Bernardo Quintana.....	34
Figura 5.3 Localización de estación de aforo km 207 carretera federal 57.....	35
Figura 5.4 localización del tramo de estudio.....	38
Figura 5.5 Desgaste.....	39
Figura 5.6 Bache en el tramo de estudio.....	39
Figura 5.7 Bache en el tramo analizado.....	40
Figura 5.8 Agrietamiento transversal.....	40
Figura 5.9 Deterioro de parches.....	41
Figura 5.10 Roderas.....	41.

Figura 6.1. Capas de pavimento rígido.....	44
Figura 6.2 Agrietamiento transversal.....	49
Figura. 6.3 Agrietamiento longitudinal.....	50
Figura 6.4. Fisura de esquina.....	50
Figura 6.5 Levantamiento de losa.....	51
Figura 6.6 Hundimiento.....	52
Figura 6.7 Parchado.....	53
Figura 6.8. Capas de pavimento flexible.....	54

XI.ÍNDICE DE TABLAS.

<i>Tabla 4.1. Costo de construcción inicial.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 4.2. Tabla costo-mantenimiento con tránsito bajo.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 4.3. Tabla costo-mantenimiento con tránsito medio.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 4.4. Tabla costo-mantenimiento con tránsito pesado.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 5.1. Aforo en el tramo Querétaro-Irapuato.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 5.2 Aforo en el tramo entronque Carretera 57-Bernardo Quintana.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 5.3. Aforo en el tramo México- Querétaro</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 5.4. Comparación costos de pavimento rígido y flexible.....</i>	<i>38</i>