



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**LA IMPORTANCIA DE CUMPLIR LOS NIVELES DE SERVICIO DE
LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA EN MÉXICO**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTA

IVÁN MONTES DE OCA ESCANDÓN

JULIO CÉSAR PALACIOS CRUZ

ASESOR

ING. SERGIO MACUIL ROBLES



MÉXICO, D.F.

2013



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

MTRO. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
PRESENTE

MONTES DE OCA ESCANDON IVAN de nacionalidad MEXICANA con número de cuenta
305288730

Me permito solicitar su autorización para presentar mi examen profesional de la carrera de:

INGENIERÍA CIVIL

En virtud de que he cumplido con todos los requisitos académicos establecidos en el plan de estudios de la carrera enunciada, aprobada por el H. Consejo Universitario.

La presente solicitud la formulo estando en conocimiento de que la revisión documental se efectuará previa, simultánea o posteriormente a la presentación del examen profesional motivo de esta solicitud y que la Dirección General de Administración Escolar expedirá mi título profesional siempre que mi expediente documental esté regular y completo.

A T E N T A M E N T E

Cd. Universitaria, D.F. a 31 de Octubre de 2013.

Firma del alumno

DATOS DEL ALUMNO

Lugar de nacimiento: **DISTRITO FEDERAL**

Fecha de Nacimiento : **10 de Mayo de 1989**

Domicilio:
Calle **CERRADA MICHOACAN NO. 15** Col. **HEROES DE PADIERNA** C.P. **10700** Delegación o
Municipio **MAGDALENA CONTRERAS** Ciudad **DISTRITO FEDERAL** Estado **DISTRITO
FEDERAL**

Teléfonos:
Domicilio: **56521314**
Oficina :
Celular : **5518541479**

Correo Electrónico : **ivanmdoe@hotmail.com**

ALUMNO

Solicitud



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

MTRO. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
PRESENTE

PALACIOS CRUZ JULIO CESAR de nacionalidad MEXICANA con número de cuenta 408076748

Me permito solicitar su autorización para presentar mi examen profesional de la carrera de:

INGENIERÍA CIVIL

En virtud de que he cumplido con todos los requisitos académicos establecidos en el plan de estudios de la carrera enunciada, aprobada por el H. Consejo Universitario.

La presente solicitud la formulo estando en conocimiento de que la revisión documental se efectuará previa, simultánea o posteriormente a la presentación del examen profesional motivo de esta solicitud y que la Dirección General de Administración Escolar expedirá mi título profesional siempre que mi expediente documental esté regular y completo.

A T E N T A M E N T E

Cd. Universitaria, D.F. a 31 de Octubre de 2013.

Firma del alumno

DATOS DEL ALUMNO

Lugar de nacimiento: **DISTRITO FEDERAL.**

Fecha de Nacimiento : **28 de Diciembre de 1986**

Domicilio:

Calle **RICARDO MONGES LOPEZ MZ 162 LT 9 Col. DEL MAR C.P. 13270** Delegación o Municipio
TLAHUAC Ciudad **DISTRITO FEDERAL** Estado **DISTRITO FEDERAL**

Teléfonos:

Domicilio: **58452160**

Oficina :

Celular : **0**

Correo Electrónico : **julcespc@hotmail.com**

ALUMNO

Solicitud

Dedicado

*A nuestros familiares, amigos
y novias por el apoyo brindado.*

Agradecimientos

Agradecemos a las personas que contribuyeron en su realización de esta obra, la cual es el esfuerzo en conjunto de cada una de ellas que directamente ayudaron en la integración de los elementos que conforman el presente trabajo, así como la dedicación y la atención que en todo momento nos han ofrecido.

Agradeciendo de manera especial y sincera al Ing. Sergio Macuil Robles, al Ing. Víctor López Radilla y a Gil Eduardo Chávez Valentín por su apoyo y capacidad así como su disponibilidad para el desarrollo de la tesis, facilitándonos los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo...

Hacemos una especial mención a las instituciones involucradas en nuestra formación, agradeciendo infinitamente a nuestra Alma máter la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), asimismo a nuestra querida Facultad de Ingeniería (FI), a la empresa Ingenieros Civiles Asociados (ICA), y a la Auditoría Superior de la Federación (ASF,) la cual hubiese sido imposible sin la participación de ellas. Sintiéndonos muy afortunados de contar con su ayuda.

A nuestras familias que nos han impulsado en alcanzar éste logro y poder así ostentar el título de Ingeniero Civil.

Por ello MUCHAS GRACIAS!!!

ÍNDICE

1.	Introducción	3
1.1	La conservación de carreteras en México y su importancia	4
1.1.1	Desarrollo económico	4
1.1.2	Desarrollo Social.....	5
1.1.3	Sustentabilidad y medio ambiente	6
1.2	El entorno mundial de las carreteras	6
2.	Generalidades de los pavimentos	10
2.1	Tipos de pavimentos	10
2.1.1	<i>Pavimentos flexibles</i>	11
2.1.2	<i>Pavimentos rígidos</i>	19
2.1.3	<i>Pavimentos mixtos</i>	25
2.1.4	<i>Pavimentos articulados</i>	26
2.2	Elementos estructurales que integran un pavimento.....	26
2.3	Comparación del uso de pavimentos flexibles y rígidos.	28
3.	Índices de desempeño que impactan en la operación de las carreteras.....	34
3.1	Análisis de los indicadores de la superficie de rodamiento.	34
3.1.1	Índice Internacional de Rugosidad (IRI).	35
3.1.2	Deformaciones permanentes (Roderas)	41
3.1.3	Coefficiente de fricción (CF).	43
3.2	Indicadores de los elementos estructurales.	46
3.3	Comparativa de los indicadores de acuerdo a los esquemas de concesión.	50
4.	Principales fallas físicas que presenta una carretera	60
4.1	Tipos de falla.	60
4.1.1	Deterioros en pavimentos flexibles.....	61
4.1.2	Deterioros en pavimentos rígidos.	76
5.	La Conservación de Carreteras.....	93
5.1	La visión del mantenimiento y conservación	93
5.2	Trabajos de Conservación.	94
5.2.1	Conservación Rutinaria.	95

5.2.2	Conservación Periódica	104
5.2.3	Reconstrucción o reparación mayor	118
6.	Diferentes procedimientos, Tendencias	125
6.1	Pavimentos (nuevas mezclas)	125
6.2	Geosintéticos.....	132
6.3	Sistemas Inteligentes del Transporte (ITS).....	137
7.	Conclusiones.....	143
	Bibliografía	145

1. Introducción

Para México y todo el mundo la infraestructura del transporte constituye un elemento detonante e indispensable para el crecimiento económico, la competitividad y la integración social. Un ejemplo claro de lo anterior es la infraestructura del transporte carretero, ya que en la medida que se amplía su cobertura y se mejora su estado físico, los tiempos de viaje se acortan, la seguridad y la comodidad se incrementan y, en consecuencia, se generan importantes ahorros y beneficios para los usuarios, lo que deriva en efectos favorables para la economía y el bienestar social.

La principal función del transporte carretero es permitir la comunicación y el intercambio de bienes y servicios entre regiones. En México es el principal modo para el desplazamiento de pasajeros y productos a través del territorio nacional, lo cual lo convierte en un instrumento básico para la integración del espacio económico y social del país, provocando que todos los sectores de la economía sean beneficiados: el agrícola, el ganadero, el industrial, el comercial, el turístico y el energético.

Sin embargo, a pesar de que la cobertura del sistema carretero ha ido creciendo en los últimos años es importante tomar en cuenta que el crecimiento de la economía y del ingreso, las tendencias demográficas, la necesidad de contar con servicios de transporte cada vez más eficientes y confiables en todo el territorio, permiten anticipar que la demanda nacional de transporte por carretera seguirá creciendo en todas las regiones del país.

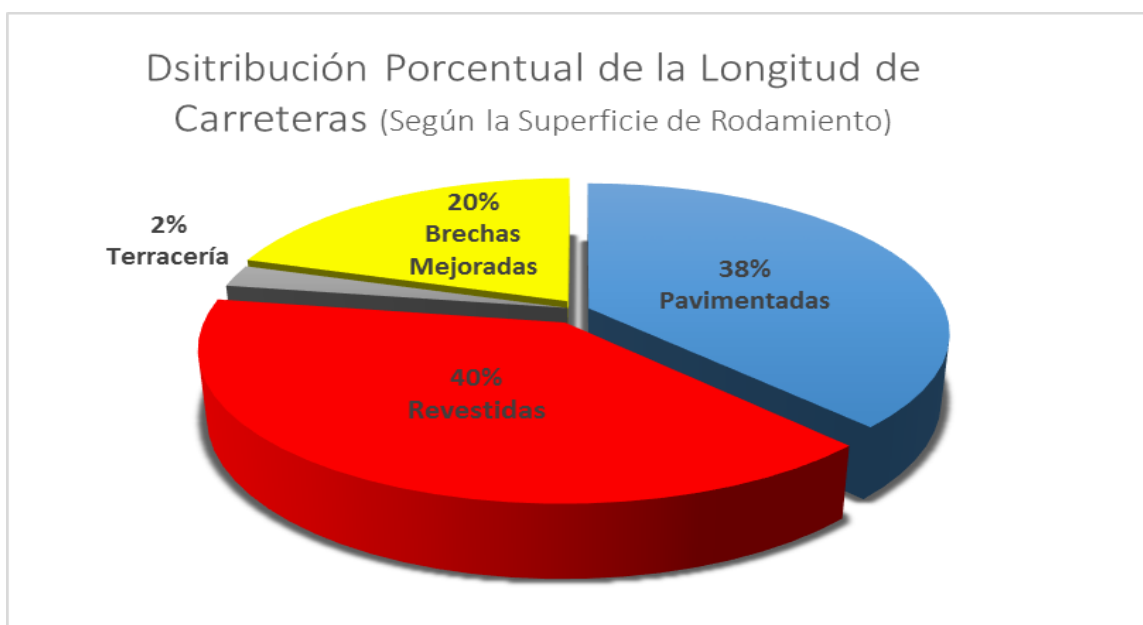
Por esta razón, uno de los principales objetivos de México es lograr una amplia cobertura, calidad y seguridad en las vías de comunicación a nivel nacional, elevando las prioridades del desarrollo de las comunidades rurales, el uso eficiente de los recursos, la protección al medio ambiente y el desarrollo de proyectos eficientes que integren los estados del país mediante entronques, distribuidores y libramientos, además de fomentar el empleo temporal en las zonas beneficiadas.

Por otro lado, dadas las limitaciones presupuestales que afectan y seguirán afectando al subsector, pueden causar rezagos en la infraestructura del país, lo cual afectaría en la calidad de vida de la población y reduciría la competitividad económica debido a que no se invertiría lo suficiente. Por ello, cada vez es más importante diseñar e instrumentar esquemas de financiamiento, además de mejorar los ya existentes que, con la participación del sector privado y de gobiernos estatales y municipales se permita el desarrollo de proyectos de infraestructura carretera y se impulse la generación de oportunidades y empleos.

1.1 La conservación de carreteras en México y su importancia

1.1.1 Desarrollo económico

A lo largo de varios años en México se ha desarrollado una importante infraestructura para el sistema de transporte de carga y personas, comunicando a varias regiones y comunidades del país. De acuerdo al anuario estadístico más reciente que proporciona la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT.2011), la red carretera nacional tiene una longitud total de 374,262 km integrado por 141,361 km de carreteras pavimentadas, 148,782 km de carreteras revestidas, 8,805 km de terracerías y 75,314 km de brechas mejoradas.



Gráfica 1.1 Fuente: Anuario Estadístico. SCT 2011. Elaboración propia.

A partir la década de los 90's hasta la fecha, el mantenimiento a la infraestructura del transporte en México y en particular a la red carretera ha adquirido una gran importancia para el gobierno del país, esto es un indicador de que cada vez son más los gobiernos que están tomando conciencia que, mantener en óptimas condiciones las vías de comunicación para el transporte es vital para garantizar la competitividad, impulsar el desarrollo económico y la calidad de vida de los habitantes del país.

Para que cualquier país pueda lograr los tres aspectos antes mencionados (competitividad, desarrollo económico y calidad de vida) tiene que impulsar los diferentes sectores de la industria y una forma de lograrlo es conservar en buen estado las vías de comunicación terrestres para permitir el correcto funcionamiento de las diferentes actividades económicas del país. Por ejemplo: para las actividades primarias (ganadería, pesca, agricultura, minería,

explotación forestal) se facilita el acceso de los productos y herramientas que son necesarias para realizar estas actividades. En las actividades secundarias se posibilita que las materias primas sean desplazadas de su lugar de origen a los lugares donde se llevan a cabo los procesos productivos, y en lo que la actividad terciaria se refiere se permite que los bienes producidos por las actividades primarias y secundarias sean distribuidos a los puntos de venta, tanto en la propia región como en el extranjero (exportación). Como puede observarse en el ejemplo la infraestructura y el transporte carretero juegan un papel fundamental en las diferentes etapas de las actividades económicas, por lo que tener en buen o mal estado una carretera afecta de manera directa tanto en los costos de transporte de los productos terminados como en el valor de los mismos, los cuales pueden aumentar o disminuirse. Cuando los costos finales de los productos son más bajos se van creando estímulos para la expansión de mercados y abastecimiento de las empresas.

En México, la industria del transporte y siendo más específicos el sector carretero juega un papel fundamental para la economía del país, ya que a través de ellas se desplaza el 96,4% de los pasajeros y el 57,5% de la carga en el país.

Por lo tanto resulta necesario abordar de forma eficaz las problemáticas que resulten de los deterioros de los elementos de una carretera, ayudados de normas, experiencia, tecnologías, innovaciones (en materiales y procedimientos de conservación) para asegurar las condiciones ideales de tránsito y seguridad de las redes carreteras.

La red carretera de México y en general de cualquier país representa un capital de gran valor, en el cual los gobiernos invierten millones de dólares a lo largo de los años para crearla. Por esa razón resulta necesario que las entidades responsables dispongan de una estrategia en donde cuenten con todo lo necesario para garantizar una gestión óptima del patrimonio vial.

Es por eso que una adecuada planificación e implementación de los planes en la conservación de carreteras se traduce en beneficios significativos, tanto desde el punto de vista técnico (realizar mantenimiento preventivo de las carreteras), como económico (disminución en los costos globales de mantenimiento y de operación de los vehículos). Los programas de conservación de carreteras son, sin duda alguna, un factor de valorización de este capital físico.

1.1.2 Desarrollo Social

La infraestructura de un país o de una región tiene una incidencia muy directa sobre la calidad de vida de sus residentes. Por una parte, la infraestructura básica (abastecimiento de agua, redes de saneamiento, etc.) garantizan un nivel adecuado de satisfacción de algunas necesidades, mientras que la infraestructura del transporte y los trabajos que ayudan a mantener el buen estado de esta, es decir, “la conservación” garantiza que los desplazamientos puedan ser llevados a cabo con un adecuado grado de satisfacción por parte de los interesados. En este sentido, algunas variables que se pueden emplear para valorar el grado de satisfacción de los

usuarios de las infraestructuras de transporte son: las velocidades de recorrido, los tiempos de viaje, las prestaciones, la congestión, el medio ambiente, la seguridad, entre otras.

Por lo anterior la conservación de carreteras juega un papel importante en el crecimiento económico en mejoras de calidad de vida de la población. En el caso de las zonas rurales (con frecuencia las más atrasadas), una carretera en buenas condiciones constituye el único modo de mantener contacto con poblaciones más desarrolladas, en las que existen mayores servicios, productos, oportunidades de trabajo, etc, permitiendo a los habitantes de esas zonas tener una mejor condición de vida.

1.1.3 Sustentabilidad y medio ambiente

La infraestructura del transporte genera una mejor integración de los estados ya que una adecuada red de transporte dentro de un país o de una región, permite resolver situaciones de necesidad o emergencia con mucha más eficacia.

Entre los problemas más frecuentes que ostentan actualmente muchas regiones de México es la falta de carreteras en buenas condiciones, esto impide que las zonas involucradas no puedan ser sustentables y así enfrentar adecuadamente los retos económicos. Por otro lado en las regiones sureñas del país la comunicación suele llegar a ser ineficiente o nula en épocas de lluvia o huracanes, pues las pocas vías terrestres y además en mal estado son arrasadas o deterioradas por las lluvias, ríos, deslaves, inundaciones, etc, dejando incomunicadas a varias poblaciones por largos periodos de tiempo.

Por esta razón la ampliación y preservación de las carreteras es de suma importancia, tanto de continuar con la provisión directa de servicios a la población como con los mecanismos que traducen el crecimiento económico.

Considerando lo anterior se comprende la importancia estratégica que tiene para la economía del país la conservación de su infraestructura carretera. En la medida en que la red opere en condiciones más favorables de fluidez y de seguridad del tránsito, aumentará su capacidad de proporcionar un transporte eficiente, con los consecuentes beneficios a la sociedad.

1.2 El entorno mundial de las carreteras

Resulta evidente que si México quiere ser competitivo en el entorno económico mundial con países desarrollados como Estados Unidos, Francia, España, Alemania; debe implementar nuevas tecnologías, procedimientos y sistemas que ayuden a mejorar el estado de las carreteras; alguna manera de realizar esto es tratar de imitar las estrategias de planeación y evaluación utilizadas en los países desarrollados para aplicarlas al sistema carretero de nuestro país.

Mundialmente existen varios países que son los principales aportadores científicos en las técnicas de mantenimiento y administración de las carreteras, estas aportaciones se han difundido a través de los demás países para obtener una adecuada relación entre vías de comunicación, territorio y población.

Estados Unidos.

La principal corriente proviene de EEUU, quien cuenta con la mayor extensión de carreteras en el mundo, en cuanto a la tecnología es de las más avanzadas a nivel mundial con modernos sistemas de gestión de pavimentos, además de sus estrictos reglamentos de tránsito que permiten una adecuada preservación de sus vías terrestres, puesto que establece una serie de límites en relación con el peso y las dimensiones de los vehículos pesados para el transporte con el fin de evitar el deterioro excesivo.

La tecnología contribuye a que el sector carretero cumpla con los objetivos en relación con el uso eficiente de las infraestructuras y los sistemas de gestión del transporte. Por ejemplo, los sistemas de logística inteligente permiten reducir el número de trayectos sin carga de los camiones, el sistema de navegación por satélite, y otras herramientas de navegación permitirán reducir el tiempo de los trayectos, proporcionaran información en tiempo real para minimizar la congestión y ofrecerán la posibilidad de hacer un seguimiento de los vehículos y cargamentos, además de evitar el robo de mercancías.

Unión Europea (UE).

Mientras que en la Unión Europea los sistemas inteligentes para la operación y conservación de las vías terrestres se han implementado exitosamente desde hace varios años. En Europa se financia una serie de programas de investigación y desarrollo, y trabaja en una serie de normas para vehículos e infraestructuras para facilitar el desarrollo del transporte eléctrico (por ejemplo, puntos de carga accesibles). La implementación de los nuevos sistemas de propulsión híbridos y eléctricos supone un gran reto para el futuro y solamente será posible mediante una estrategia coordinada del sector de los autos en el ámbito europeo. La industria europea se mantiene a la vanguardia en estas tecnologías para aumentar su participación en los mercados internacionales.

Brasil.

Por otra parte, en Latinoamérica países como Brasil, el cual se está configurando como uno de los principales países emergentes de la zona, el impulso que se va a generar por la celebración de grandes eventos como el mundial de fútbol 2014, juegos olímpicos 2016, entre otros, va a llevar asociado un importante proceso de modernización de infraestructuras, y de adaptación de los sistemas tecnológicos para facilitar la gestión de las mismas, y mejorar la coordinación entre los responsables de su explotación.

El gobierno brasileño sabe que es fundamental contar con rutas modernas y en buen estado de conservación para lograr un crecimiento económico sostenido, por lo que se propone acelerar el desarrollo de la infraestructura para mejorar la competitividad del país. La economía brasileña ha ido en aumento ya que tanto las empresas internacionales como nacionales tienen un fuerte interés en tener competitividad, lo que arroja una mayor capacidad de recuperación económica así como un desarrollo mucho más generalizado en todo el país.

China.

En el continente Asiático, China se está posicionando mundialmente como el país más desarrollado, cuando se observa la actividad constructiva que hay en dicho país, se presta una gran atención a los trabajos de gran escala que están presentes en la comunicación. En éste país las infraestructuras son prioridad tanto para los políticos como para los industriales chinos. Carreteras, aeropuertos, estaciones energéticas, redes de alcantarillado, etc., invirtiendo en sus infraestructuras como fórmula para aumentar el desarrollo económico de las regiones más débiles de su zona central y occidental. La inversión más visible en infraestructura en China han sido las carretas y autopistas.

Panorama mundial de las carreteras.

En el XXIV Congreso Mundial de Carreteras realizado en la Ciudad de México en el 2011 se estableció que las necesidades de financiamiento y modernización de transporte en el mundo irán en aumento en los próximos 30 años, por lo que se deberá buscar esquemas de financiamiento que respondan a estas necesidades.

El porcentaje del PIB destinado a las inversiones de infraestructura en los países mencionados son los siguientes: En Estados Unidos se invierte menos en infraestructura como porcentaje del PIB (2%) en comparación con China, y Europa, que gastan 9% y 5% del PIB, respectivamente. Brasil destina el 3.3 % del PIB en infraestructura. Mientras que México invierte 5% del PIB en el desarrollo de infraestructura carretera¹.

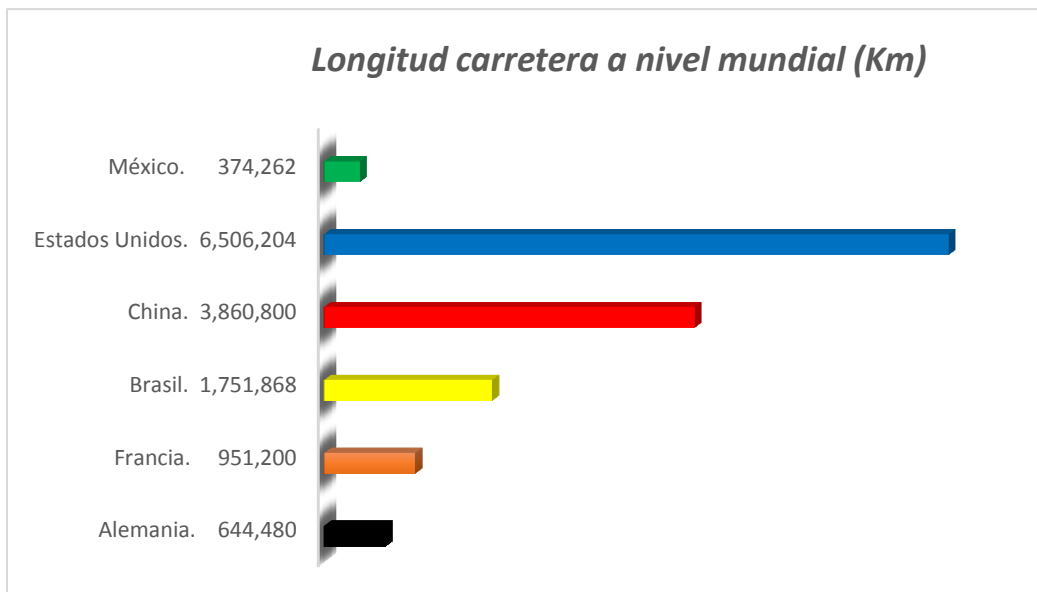
Como ya se mencionó Estados Unidos es uno de los países que menos invierte en infraestructura con un 2% del PIB, esto no quiere decir que se esté distanciando de los demás países que invierten mucho más, al contrario, EEUU tiene un crecimiento generalizado ya que dispone de sistemas de desarrollo mucho más eficientes. Su capacidad de innovación (potencial científico-tecnológico), las características de la población (nivel intelectual), la integridad de sus sistemas de transporte, etc, son factores que dan el potencial de innovación y aprovechamiento eficiente de sus recursos, tanto en la construcción como en la conservación de carreteras.

Para explicar de una manera más amplia lo anterior se debe tomar en cuenta que el sistema carretero es víctima de su propio éxito, es decir, el disponer de una mayor red vial, aumenta

¹ Fuente BBVA. XXIV Congreso mundial de carreteras.

considerablemente la cantidad de autos y como consecuencia los conductores se ven obligados a circular en vías cada vez más congestionadas. Esto produce grandes desafíos como garantizar la movilidad de los usuarios en carreteras más seguras y que a su vez se mantengan las condiciones ideales, disminuir de forma significativa los accidentes de tráfico, reducir los contaminantes como el CO2 procedentes del transporte con la finalidad preservar el medio ambiente y atenuar el impacto del cambio climático sobre las generaciones futuras, así como reducir el uso de combustibles fósiles utilizando nuevos tipos de energía, etc.

Por ello los países desarrollados como Estados Unidos, a pesar de tener una gran longitud en su red carretera, cuentan con una buena gestión de sus carreteras así como innovaciones tecnológicas que ayudan a afrontar los problemas de manera exitosa garantizando al usuario confort y seguridad en las carreteras. A su vez esto es un indicador de que estos países no necesitan invertir grandes cantidades de dinero en su infraestructura carretera aprovechando esos recursos para otros programas o incluso para la investigación de nueva tecnología aplicada en la conservación de carreteras.



Gráfica 1.2 Fuente: CIA World Factbook, SCT (Anuario 2011). Elaboración propia.

2. Generalidades de los pavimentos

Se define al pavimento como el conjunto de varias capas con materiales apropiados y adecuadamente compactadas, las cuales reciben en forma directa las cargas del tránsito, es decir, los vehículos transmiten las cargas a los estratos o capas inferiores. Tienen como objeto permitir el tránsito de vehículos de forma cómoda, segura y eficiente durante un periodo de varios años.

Las condiciones necesarias para que el pavimento cumpla con los objetivos para el cual fue diseñado y tenga un adecuado funcionamiento son las siguientes:

- Proporcionar una superficie de rodamiento adecuada y regular, es decir, segura, cómoda y de características permanentes bajo las cargas del tránsito a lo largo de su vida útil, durante la cual se deben realizar trabajos de conservación.
- Proporcionar una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aún en condiciones húmedas y críticas para garantizar la seguridad de los usuarios.
- Tener un buen comportamiento estructural que consiste en recibir, distribuir las cargas y disipar los esfuerzos transmitidos del tránsito previsto durante la vida de diseño, así como la carga excedente que en nuestro país muy comúnmente se presenta.
- Ser una estructura resistente a factores climatológicos, en especial de la temperatura y del agua, por sus efectos adversos en el comportamiento de los materiales del pavimento.

Otro aspecto muy importante a considerar es el lugar o zona por donde va a pasar la carretera, para esto se deben realizar estudios de ingeniería de tránsito y evaluar la zona geográfica del proyecto para poder definir el tipo de material a utilizar.

2.1 Tipos de pavimentos

Los pavimentos más comunes que constituyen las carreteras en el país son los pavimentos flexibles y rígidos, como se mencionó en el punto 1.1, la red carretera nacional está conformada por 141,361 km de carreteras pavimentadas, de las cuales el 80% son de pavimentos flexibles y el 20% son de pavimentos rígidos.

Existen también otros tipos de pavimentos llamados pavimentos semi-rígidos y pavimentos articulados, los cuales se describirán de forma general.

A continuación se presentan las características de los diferentes pavimentos.

2.1.1 Pavimentos flexibles

Estos pavimentos están formados por una superficie de rodamiento constituida por una carpeta asfáltica apoyada sobre una o varias capas flexibles, es decir, admiten grandes deformaciones sin rotura bajo la aplicación de cargas, estas capas transmiten los esfuerzos al terreno de soporte mediante un mecanismo de disipación de tensiones, las cuales van disminuyendo paulatinamente con la profundidad.

Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, la ubicación de los materiales asfálticos dentro de la estructura del pavimento está dada por las propiedades mecánicas de cada una de ellas.

Es importante tener en cuenta que el asfalto no contribuye sustancialmente a la resistencia mecánica de la superficie, la carga se transmite a través de las capas inferiores, donde son finalmente disipadas. Esta es una de las principales diferencias que se tiene respecto del pavimento rígido debido a que el armado de las losas del concreto hidráulico aporta soporte estructural.

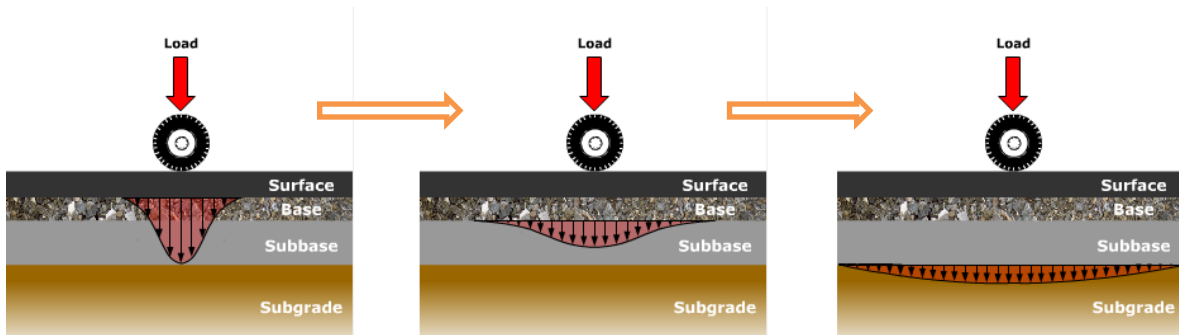


Figura 2.1 Distribución de cargas en el pavimento flexible.

Productos asfálticos

El asfalto es un material bituminoso producto de la destilación del petróleo crudo, sólido o semisólido con propiedades aglutinantes, que se licua gradualmente al calentarse. En México este tipo de producto se emplea para la construcción de carpetas desde 1920 aproximadamente; anteriormente se le clasificaba de acuerdo a su dureza, siendo el cemento asfáltico más usado que tenía una dureza media (CA6). Posteriormente se tuvieron que adecuar las normas mexicanas a las de la ASTM (American Standard Test Materials) y a las especificaciones del SEP (Programa Estratégico de investigación de Carreteras) de la ASTM, de ese tiempo a la fecha, los materiales asfálticos se clasifican de acuerdo a la viscosidad que presentan.

A continuación se presentan los tipos de materiales asfálticos y los tipos de técnicas que se utilizan para la elaboración de este tipo de pavimentos:

- **Cementos asfálticos (AC)**

Es un material que se obtiene de la destilación del petróleo, durante la cual se eliminan sus solventes volátiles y parte de sus aceites. Es un material ideal para la construcción de pavimentos debido a sus propiedades, ya que es un material aglomerante, resistente a los ácidos, sales y álcalis, muy adhesivo, impermeable y duradero.

El más común que se emplea en la actualidad es el AC-20 este tipo de producto tiene la desventaja de que resulta un poco más costoso y que no puede mezclarse con pétreos húmedos.

Tabla 2.1 Clasificación y características de los cementos asfálticos

TIPO	USOS MÁS COMUNES
AC-5	Recomendado para la zona de la sierra madre occidental, en Durango o Chihuahua y en algunas regiones altas de los estados de México, Morelos y Puebla. (zona 1)* Elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen para riegos de impregnación, de liga, así como en estabilizaciones.
AC-10	Recomendado para la región central y el altiplano de la República Mexicana. (zona 2)* Elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos dentro de la zona 1*.
AC-20	Recomendado para el sureste de la república y las regiones costeras del golfo y del pacífico, pasando por Sinaloa y Baja California. (zona 3)* Elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos dentro de la zona 2*.
AC-30	Recomendado para el norte y noreste del país, excepto el estado de Tamaulipas. (zona 4)* Elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos dentro de la zona 3 y 4*. Elaboración de asfaltos rebajados en general, para utilizarse en carpetas de mezcla en frío así como en riegos de impregnación.

*Ver figura 2.2

NOTA: Todos los cementos asfálticos sirven para realizar concretos asfálticos y sobre todo en carreteras de alta circulación, con alta intensidad de tránsito y con un elevado número de carga por eje.



Figura 1.2 Regiones geográficas para la utilización de asfaltos.

- **Emulsiones asfálticas**

Es un asfalto líquido estable con dos fases no miscibles: la fase continua formada por agua y la fase discontinua formada por glóbulos de asfalto. Además se emplea un emulsificante que puede ser el sodio o el cloro, para darle una cierta carga a las partículas y con ello evitar que se unan dentro de la emulsión; cuando se emplea sodio, se tiene lo que se conoce como emulsión aniónica con carga negativa y las que tienen cloro son las emulsiones catiónicas con carga positiva, siendo estas últimas las que presentan una mejor resistencia a la humedad que contienen los pétreos.

Se tienen emulsiones de fraguado lento, medio y rápido, de acuerdo al porcentaje de cemento asfáltico que se emplea.

En las estabilizaciones, las emulsiones asfálticas son las más usadas ya que este tipo de productos si pueden emplearse con pétreos húmedos y no se necesitan altas temperaturas para hacerlo maniobrable.

Tabla 1.2 Clasificación de las emulsiones

POLARIDAD	TIPO	USOS
Aniónica o Catiónica	Fraguado Rápido	Generalmente se utilizan para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos
	Fraguado Medio	Normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío, así como para trabajos de conservación tales como bacheos, renivelaciones y sobrecarpetas.
	Fraguado Lento	Comúnmente se utilizan para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas
	Impregnación	Particularmente se utilizan para impregnaciones de subbases y/o bases hidráulicas.

En México se ha tenido la experiencia desde 1964 de producir y aplicar las emulsiones en los pavimentos con bastante éxito. Las emulsiones aniónicas se emplearon por primera vez en el país por compañías extranjeras en los años 1930 a 1935. Las emulsiones catiónicas se conocieron en México en 1960. Desde esa fecha, la tecnología mexicana ha progresado enormemente y aunque su producción no lo refleja debido a factores de otro orden, la aplicación se hace con lo mejor de la tecnología actualizada.

- Asfaltos rebajados

Los asfaltos rebajados llamados también diluidos o cut-backs, son asfaltos líquidos que resultan de la dilución del cemento asfáltico con destilados del petróleo (gasolina, keroseno y aceite semi-volátil) que regularmente se utilizan para la elaboración de carpetas de mezcla en frío, así como en impregnaciones de bases y subbases hidráulicas. Los solventes usados actúan como vehículos, proporcionando productos menos viscosos que pueden ser aplicados a bajas temperaturas.

Los asfaltos rebajados se clasifican de acuerdo a su tiempo de fraguado en: asfaltos rebajados de fraguado rápido (F.R.) cuando se mezcla el cemento asfáltico con gasolina; asfaltos rebajados de fraguado medio (F.M.) cuando se mezcla con keroseno, y los asfaltos rebajados de fraguado lento (F.L) cuando se mezcla con aceite de volatilización lenta.

Tabla 2.3 Clasificación de los asfaltos rebajados de acuerdo con la normativa de la SCT

Clasificación	Velocidad de Fraguado	Tipo de Solvente
FR-3	Rápida	Nafta, gasolina
FM-1	Media	Queroseno

En México, las refinerías dejaron de producir asfaltos rebajados, ya que empleaban solventes caros y ecológicamente contaminaban el ambiente; el retiro del mercado de los rebajados se concretó en México en 1996, sin embargo los solventes se siguen vendiendo por parte de las refinerías a las empresas que desean utilizar los asfaltos rebajados haciendo ellos mismos las mezclas.

Tipos de mezcla para la construcción de la superficie de rodamiento.

Existen diferentes tipos de carpeta asfáltica, en este trabajo se clasifican de acuerdo a la técnica de mezclado:

Carpetas asfálticas con mezcla en caliente: son aquellas que se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos y cemento asfáltico, modificado o no, utilizando calor como vehículo de incorporación y pueden ser elaboradas en una planta mezcladora estacionaria o móvil.

➤ *Mezclas asfálticas de granulometría densa o cerrada.*

Normalmente se utilizan en la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos nuevos, en los que se requiere una alta resistencia estructural o en renivelaciones y refuerzos de pavimentos existentes. Se caracterizan por el porcentaje de vacíos es pequeño (3-5%).

➤ *Mezclas asfálticas de granulometría abierta (open grade).*

Estas mezclas no tienen función estructural por su alto porcentaje de vacíos (>20%), por lo que normalmente se utilizan para formar capas de rodadura sobre carpetas de granulometría densa, con la finalidad de permitir que el agua de lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de la capa, con lo que se incrementa la fricción entre las llantas y la superficie de rodamiento, se minimiza el acuaplaneo, se reduce la cantidad de agua que salpican los vehículos en la lluvia (efecto “spray”) mejorando la visibilidad del conductor. No deben colocarse en zonas susceptible al congelamiento ni donde la precipitación sea menor de 600 mm/año.

➤ *Mezclas asfálticas de granulometría semidensa o media (gap grade).*

En las normas de la SCT solo se tiene contemplado la clasificación para mezclas de granulometría densa y abierta, sin embargo, dentro de la clasificación de las abiertas tenemos también mezclas de graduación semidensa o media (Gap Grade), las cuales tienen una relación de vacíos entre 5-20%, este tipo de mezcla ya no actúa principalmente como capa drenante, sino como una mejora de la fricción, del frenado y acabado de la superficie de rodamiento.

➤ *Mezclas asfálticas de granulometría discontinua (SMA).*

Las mezclas SMA (Stone – Mastic – Asphalt) normalmente se utilizan para formar capas de rodadura, aunque también pueden utilizarse en capas inferiores en carreteras de alto tránsito. Cuando son usadas como capas de rodadura, su finalidad principal es mejorar las condiciones de circulación de los vehículos respecto a una carpeta asfáltica convencional, incrementando la fricción de las llantas, minimizando el acuaplaneo, reduciendo el salpicado del agua o lluvia ascendente (backspray) y de noche, mejorando el reflejo de la superficie y la visibilidad de las demarcaciones del camino, esto se debe a la profundidad de su textura superficial y la utilización de materiales pétreos gruesos.

El SMA reduce los ruidos considerablemente, esto lo hace sumamente útil en zonas residenciales o zonas donde se requiere silencio. Las mezclas con granulometrías finas de SMA en capas delgadas son muy utilizadas para mantenimiento preventivo o reparaciones.

Carpetas asfálticas con mezcla en frío: son aquellas que se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos y un material asfáltico, modificado o no, que puede ser rebajado con solventes o en emulsión. Según su función y su composición granulométrica, las carpetas asfálticas con mezcla en frío pueden ser de los siguientes tipos:

➤ *Mezclas asfálticas de granulometría densa o cerrada.*

Normalmente se utilizan en la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos en donde no se requiera de una alta resistencia estructural y en carpetas para el refuerzo de pavimentos existentes, así como en la reparación de baches.

➤ *Carpetas de Mortero asfáltico.*

Las carpetas de mortero asfáltico no tienen función estructural y normalmente se colocan sobre una base impregnada o una carpeta asfáltica, como capa de rodadura.

Carpetas asfálticas por el sistema de riegos: son las que se construyen mediante la aplicación de uno o dos riegos de un material asfáltico, intercalados con una, dos o tres capas sucesivas de material pétreo triturado de una composición granulométrica determinada, normalmente se colocan sobre una base impregnada o una carpeta asfáltica, nueva o existente, como capa de rodadura con el objeto de hacer resistente al deslizamiento y proteger contra el desgaste la superficie de rodamiento.

Las carpetas por el sistema de riegos se clasifican en carpetas de uno, de dos y de tres riegos.

Carpetas asfálticas por el reciclado de pavimentos: esta técnica consiste en reutilizar los materiales de una o varias capas del pavimento existente para la construcción de una nueva capa o capas mediante la disgregación de los mismos, la adición de un aglomerante (cemento, emulsión, betún espumado), agua (para la hidratación, envuelta y compactación), agregados

pétreos (como correctores granulométricos o con otros fines) y algún aditivo, con una dosificación obtenida mediante ensayos.

Las aplicaciones de los reciclados pueden ser variados, van desde el reciclado de carpetas asfálticas con problemas de envejecimiento, hasta el reciclado de capas importantes de bases granulares y carpetas con problemas estructurales, llegando a formar parte de un proceso de reconstrucción.

La recuperación de pavimentos es una técnica que ha ido avanzando en México en lo que se refiere a construcción y conservación de caminos, principalmente porque los ahorros en la inversión de las rehabilitaciones de carpetas son del 30 al 60% en comparación con las técnicas tradicionales. Por otro lado la reutilización de los materiales pétreos ahorra la búsqueda de bancos de materiales, los cuales cada día escasean más y se encuentran limitados por el equilibrio ecológico que debe haber en las regiones, además se puede prescindir de los acarrees que se traducen en costos adicionales y muy elevados. Con esto se entiende que los trabajos de conservación rutinaria y periódica serán mejores y tendrá una vida útil mayor.

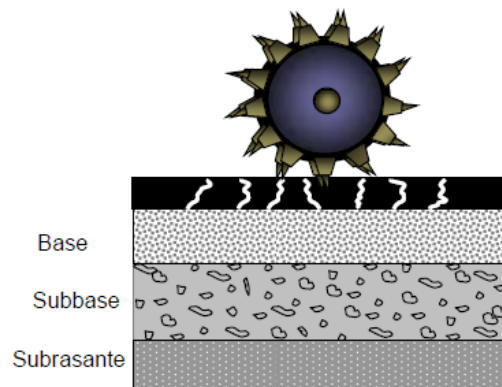


Figura 2.3 Reciclado de pavimentos flexibles.

Asfaltos Modificados

Después de las carpetas de concreto asfáltico, se siguió buscando la forma de que los asfaltos tuvieran propiedades que mejoraran el comportamiento de los mismos. Con el creciente incremento de volumen del tránsito y la magnitud de las cargas, y la necesidad de optimizar las inversiones, provoca que, en algunos casos, las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes. Por ejemplo, con los asfaltos convencionales, aun con los grados más duros, no es posible eliminar el problema de las deformaciones producidas por el tránsito canalizado (ahuellamiento), especialmente cuando se deben afrontar condiciones de alta temperatura. Además, con la simple adopción de asfaltos más duros se corren el riesgo de agrietamientos por efectos térmicos cuando las temperaturas son muy bajas.

Ante las situaciones mencionadas y la necesidad de nuevas tecnologías constructivas, una solución evidente fue mejorar algunas características de los asfaltos para lograr un mejor

comportamiento de los pavimentos, lo que dio origen a nuevos asfaltos que fueron denominados "Asfaltos Modificados".

Los asfaltos modificados son producto de la incorporación en el asfalto de un polímero o de hule molido. La finalidad de modificar los asfaltos es la de mejorar sus propiedades para que presenten un mejor comportamiento a los cambios climáticos y de temperatura, hacerlos más resistentes a la humedad y al envejecimiento e incrementar su capacidad de carga. Además de mejorar las condiciones de elasticidad, flexibilidad, cohesión y viscosidad.

Otra característica que tienen los asfaltos modificados es que elevan la vida útil de un pavimento de dos a tres veces con un costo adicional de hasta un 25% sobre la mezcla asfáltica.

El empleo de modificadores en el asfalto permite construir y realizar mezclas asfálticas y tratamientos superficiales mejorados para su utilización en pavimentos con tráfico elevado. Estos modificadores se aplican directamente al material asfáltico, antes de mezclarlo con el material pétreo.

De acuerdo con la normativa de la SCT los principales modificadores utilizados en los materiales asfálticos son:

Polímero tipo I

Mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas. Se utiliza en mezclas asfálticas para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos y cálidos, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

Polímero tipo II

Mejora el comportamiento de mezclas asfálticas a bajas temperaturas. Se utiliza en todo tipo de mezclas asfálticas para pavimentos en los que se requiera mejorar su comportamiento de servicio, en climas fríos y templados, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

Polímero tipo III

Este modificador mejora la resistencia al ahuellamiento de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Se utiliza en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

Hule molido de neumáticos.

Es un modificador del asfalto que mejora la flexibilidad y resistencia a las deformaciones, además de que le proporciona al asfalto la capacidad de recuperar su forma original, reduciendo la aparición de grietas por fatiga o por cambios de temperatura. Es fabricado con base en el producto de la molienda de neumáticos. Se utiliza en carpetas delgadas de granulometría abierta, tratamientos superficiales, etc.

Además de los asfaltos modificados con polímeros, algunos países emplean asfaltos especiales y multigrados, comúnmente denominados de alto índice. El uso de asfaltos especiales o de alto índice no ha alcanzado hasta el momento el mismo crecimiento que los asfaltos modificados con polímeros pero se observan buenas perspectivas de crecimiento.



Imagen 2.1 Carretera de pavimento asfáltico (Tijuana – Ensenada).

2.1.2 Pavimentos rígidos

Un pavimento rígido es aquel en el que la superficie de rodamiento es proporcionada por losas de concreto hidráulico, las cuales se construyen con una mezcla de cemento pórtland, agregado grueso y fino, agua, aire y aditivos. El espesor del pavimento puede variar de 15 a 45 cm, dependiendo del volumen de tránsito que deba soportar, y a veces se utiliza un refuerzo de acero para evitar la formación de grietas. Bajo el pavimento se emplea arena o grava fina como base para reforzarlo.

Dada la rigidez de la losa los esfuerzos que se transmiten a las capas inferiores del pavimento se distribuyen de una manera prácticamente uniforme, cosa contraria a lo que sucede con los pavimentos flexibles. La distribución uniforme de las cargas permite que los esfuerzos máximos que se transmiten al cuerpo de soporte sean significativamente menores en magnitud, lo que permite una mejor condición y menor deterioro de los suelos de soporte.

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

Aunque en teoría cuando el tránsito es ligero, 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 provoque fallas en la losa. La sección transversal de un pavimento rígido está constituida por la losa de concreto hidráulico y la subbase, que se construye sobre la capa subrasante.

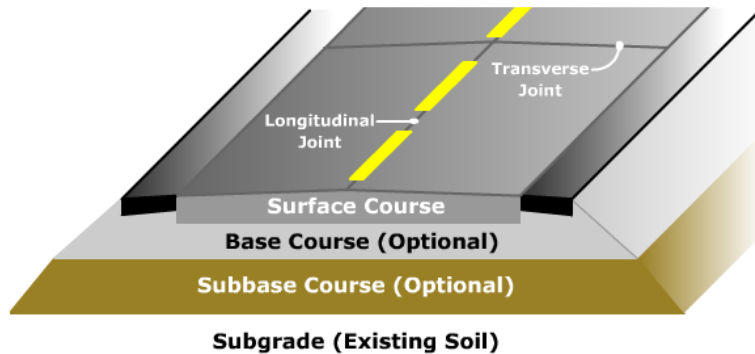


Figura 2.4 Estructura de un pavimento de concreto.

Tipos de pavimento rígido y sus técnicas de pavimentación.

A continuación se describen las alternativas de pavimentación más aceptadas a nivel nacional e internacional dependiendo de las necesidades de cada proyecto, ya sea para la construcción de carreteras y autopistas o para trabajos de rehabilitación de caminos existentes.

Pavimento de concreto convencional/Losa nueva:

Cuando se va a realizar un pavimento nuevo se pueden usar diferentes tipos de concreto hidráulico para las losas, generalmente suelen ser de resistencia relativamente alta comprendida entre 200 y 400 kg/cm² que a su vez depende del tipo de armado. Se pueden clasificar de la siguiente manera:

- *Losas de concreto simple:* se construyen sin acero de refuerzo y las juntas pueden o no tener dispositivos de transferencia de cargas. Para que la transferencia de carga sea efectiva es preciso tener losas cortas por lo que su geometría tiende a ser cuadrada y la longitud de sus lados van de 2.50 m a 4.50 m. Este tipo de losas se recomiendan generalmente para casos en que el volumen de tránsito es de tipo mediano o bajo.
- *Losas de concreto reforzado:* contienen acero distribuido en la losa y pasajuntas en las juntas de contracción a efecto de controlar las grietas por contracción. Estos pavimentos se construyen con separaciones entre juntas superiores a las utilizadas en pavimentos de

concreto simple (entre 6.0 m – 36.50 m). Debido a ello es posible que entre las juntas se produzcan una o más grietas transversales, las cuales se mantienen prácticamente cerradas a causa del acero de refuerzo, lográndose una excelente transferencia de carga a través de ellas.

- *Losas de concreto con refuerzo continuo:* se construyen sin juntas transversales y con un continuo contenido de acero en dirección longitudinal, estos pavimentos desarrollan grietas transversales a intervalos muy cortos. Sin embargo, por la presencia de refuerzo, se desarrolla una gran transferencia de carga en las caras de las grietas.
- *Losas de concreto presforzado:* son losas que han sido previamente esforzadas y de esta manera no contienen juntas de construcción. Se han ensayado varios sistemas de presfuerzo y postensado con el fin de llegar a soluciones de pavimentos de espesor reducido, gran elasticidad y capacidad de soporte, y reducción de juntas. Gracias al sistema de presfuerzo se han podido construir losas de más de 120 m de longitud, con una reducción del 50% del espesor de la losa, sin embargo pese a los esfuerzos para desarrollar esta técnica, en carreteras se han producido más dificultades que ventajas. Se ha tenido más aplicación en aeropuertos en los cuales ha habido casos de un comportamiento excelente, tanto en pistas como en plataformas.
- *Losas de concreto fibroso:* en este tipo de losas el armado consiste en fibras de acero, de productos plásticos o de fibra de vidrio, distribuidos aleatoriamente, con ello se obtienen ventajas tales como el aumento de la resistencia a la tensión y a la fatiga, agrietamiento controlado, resistencia al impacto, durabilidad, etc. Con una dosificación de unos 40 kg/m³ de concreto, es posible reducir el espesor de la losa en 30% y aumentar el espaciamiento entre juntas por lo que puede resultar atractivo su uso en ciertos casos a pesar de su costo.

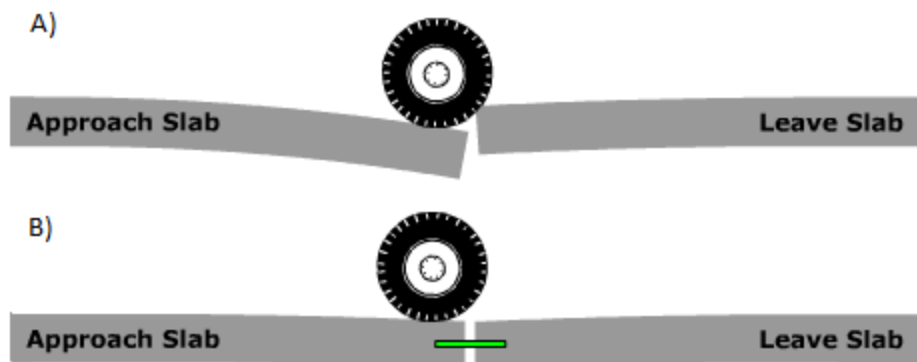


Figura 2.5 Eficiencia en la transferencia de carga en las losas de concreto. En la figura A) no existe transferencia de carga entre losas.

Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos (Whitetopping)

Los pavimentos denominados Whitetopping, corresponden a rehabilitaciones de pavimentos asfálticos deteriorados, es decir se construye una carpeta de concreto convencional sobre un pavimento existente de asfalto. Los métodos de diseño toman en cuenta esta solución, considerando las características de soporte de la estructura existente que normalmente tiene capa de sub-base, base y asfalto.

Algunos de los trabajos preliminares que se deben considerar para la colocación del pavimento Whitetopping difieren de los que se aplican a los pavimentos convencionales. El primer paso consiste en reparar la superficie de asfalto. Una vez que se han corregido las irregularidades en el perfil de la superficie, se procede a construir la capa superpuesta de concreto (directamente sobre la superficie de asfalto).

Los aspectos que se evalúan en el diseño para determinar la factibilidad de que un pavimento sea rehabilitado mediante la técnica de Whitetopping son:

- Daños estructurales.
- Daños asociados a la fatiga de las capas asfálticas.
- Daños asociados a la alteración del perfil por deformaciones plásticas acumuladas.
- Daños superficiales.
- Daños asociados a las deficiencias en el diseño o fabricación de la mezcla asfáltica.
- Daños asociados a la calidad de los materiales.

Este método de pavimentación proporciona mayor resistencia y durabilidad, además de que el concreto mejorará las características del drenaje superficial, al eliminar desviaciones inseguras, tales como: las roderas y las irregularidades características de un pavimento de asfalto.

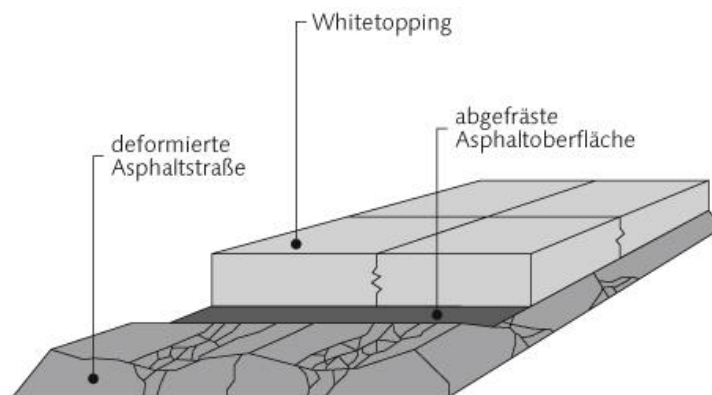


Figura 2.6 Método Whitetopping

Reciclado de pavimentos flexibles con cemento Pórtland

Consiste en disgregar por medios mecánicos las carpetas asfálticas deformadas y fatigadas (agrietadas), así como parte o totalidad de las capas inferiores, para volver a mezclar el material resultante con cemento y agua y así formar una base rígida.

Las principales ventajas que se tienen al utilizar este método son: tener un costo menor al de un pavimento nuevo, incrementar la capacidad estructural y por ende la vida útil, ahorrar energía y proteger al medio ambiente reutilizando materiales no renovables.

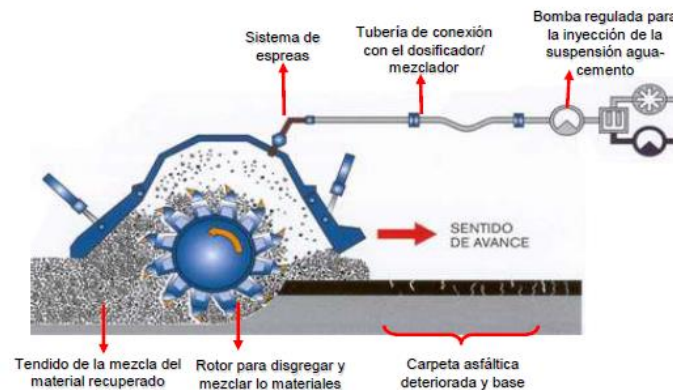


Figura 2.7 Reciclado de pavimentos rígidos.

Suelo - Cemento

La técnica de suelo-cemento es ideal para construir caminos rurales y secundarios; se caracteriza por su bajo costo y fácil aplicación, además de que alarga la vida útil del camino disminuyendo los costos del mantenimiento que pudiesen surgir como el bacheo.

Para diseñar el procedimiento de construcción es necesario saber el espesor y la dosificación adecuada, de acuerdo con las características del suelo, así como del tránsito.

La mezcla se hace directamente en campo. Se agregan el cemento y el agua, y se realiza la compactación adecuada para consolidar la capa de suelo-cemento. Posteriormente el piso se protege mediante una cubierta de hojas de plástico, a manera de membrana de curado.

Visión y panorama mundial de los pavimentos rígidos

En la época actual, pavimento rígido es sinónimo de servicio y durabilidad. Tanto en los caminos rurales como en las autopistas de altas especificaciones, o en la enorme diversidad de pisos, pistas y plataformas, el uso del concreto se ha extendido por casi todo el mundo proporcionando seguridad, comodidad y economía.

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, los cuales 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 por esa razón 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 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, 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 México poco a poco se ha logrado tener una mayor experiencia en el diseño, especificación y construcción de pavimentos de concreto hidráulico, estas experiencias han ido mostrando las ventajas de este tipo de soluciones, de tal modo que cada vez son más las entidades gubernamentales responsables de la construcción, mantenimiento y operación de las vías que están interesadas en proveer a sus caminos de las características de un pavimento de concreto

hidráulico lo que les significa ahorros sustanciales en mantenimiento, mejores niveles de servicio del camino, mayor vida útil y consecuentemente economía de los recursos.

La siguiente tabla muestra la evolución del concreto en el uso de las carreteras a lo largo de los años.

Tabla 2.4 Cronología de la expansión de caminos de concreto en el siglo XIX

Periodo	Usos
1920 - 1939	Uso de pavimentos de concreto hidráulico en el sistema carretero de Estados Unidos. Su uso se difunde en Europa.
1940 - 1950	Inicios de la aviación comercial, se construyen aeropuertos que utilizan pistas de concreto.
1960 - 1970	Uso intensivo de pavimentos de concreto en el sistema carretero y aeroportuario de Estados Unidos.
1990 - ...	Era de la sobrecarpeta de concreto hidráulico o whitetopping.



Imagen 1.2 Carretera de concreto (Arco Norte, Cd de México).

2.1.3 Pavimentos mixtos

Este pavimento, también conocido como pavimento compuesto, es muy similar a los pavimentos rígidos. Están compuestos de una capa de concreto cubierta por otro pavimento bituminoso (asfalto). Gracias al concreto, es estable y puede soportar cargamentos muy pesados, como aviones o camiones. Se emplean con frecuencia en vías urbanas, aeropuertos, muelles, pasos peatonales, cunetas, etc.

A pesar de ser muy resistente al desgaste y al agua tiene un gran inconveniente, si llega a fallar la base el mantenimiento o la rehabilitación de esta capa puede resultar muy costosa.

2.1.4 Pavimentos articulados

Estos pavimentos están compuestos por superficie de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricados de espesor uniforme e iguales entre sí llamados adoquines. Esta puede ir sobre una capa de base granular o directamente sobre la subrasante dependiendo de la calidad de ésta, de la magnitud y la frecuencia de las cargas que transitarán por dicho pavimento.

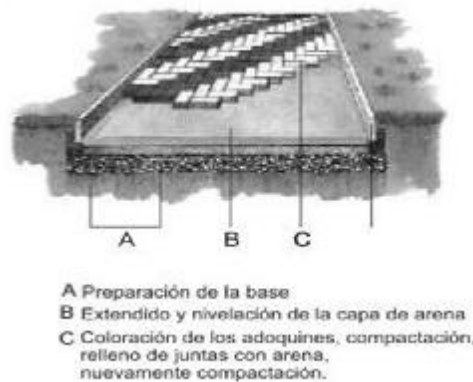


Figura 2.8 Esquema de un pavimento articulado.

2.2 Elementos estructurales que integran un pavimento

Un pavimento está compuesto de una sección estructural formada por los siguientes elementos o capas:

Cuerpo de Terraplén (CT): Este debe construirse con material apropiado que tenga pocos cambios volumétricos bajo variaciones de humedad. Para su construcción, dependiendo del tipo de terreno en que se construya, se utilizan materiales de los cortes o de préstamos.

La finalidad del cuerpo del terraplén es proporcionar la altura necesaria para cumplir con el proyecto, deberá resistir las cargas de las capas superiores y distribuirlas adecuadamente en el terreno natural. También se le conoce la subestructura del pavimento.

Capa Subyacente (SBY): Cuando el camino se encuentra al nivel del terreno natural o en una sección en corte y el terreno en el que se va a apoyar es de muy mala calidad, también se llega a usar una capa de mejoramiento llamada subyacente, con objeto de reducir los espesores de

pavimento. Esta capa generalmente se construye entre la capa subrasante y el cuerpo del terraplén o terreno natural.

Capa subrasante (SBR): Es una capa de transición entre el terreno natural o el cuerpo del terraplén y el pavimento. Cuando el material del terreno es de buena calidad, únicamente se conforma y compacta, usándose como capa subrasante. En el caso de que el terreno sea roca, se usa la capa subyacente y subrasante para absorber las irregularidades que resulten al efectuar un corte.

Interviene en el diseño del espesor de las capas del pavimento e influye en el comportamiento del pavimento, protege al pavimento evitando que se contamine la parte inferior de la estructura con los materiales que forman las terracerías conservando su integridad en todo momento aún en condiciones severas de humedad, proporcionando condiciones de apoyo uniformes y permanentes.

Subbase (Sb): Es la capa granular localizada entre la base y la subrasante, en los pavimentos rígidos se puede prescindir de ella. El material usado en esta capa debe ser procesado, extendido y compactado de acuerdo con lo que indiquen las especificaciones de cada proyecto o las Normas para construcción e Instalación de la SCT.

Entre sus funciones están la de brindar un apoyo uniforme y permanente al pavimento, ser un elemento permeable que ayude a prevenir la acumulación de agua dentro de la estructura del pavimento, transmitir de forma adecuada los esfuerzos a las terracerías, cumple con una función económica ya que se puede ahorrar dinero al poder transformar un cierto espesor de la capa de base a un espesor equivalente de material de subbase, dar soporte a las cargas estructurales siguientes.

Base (B): La base es la capa situada debajo de la carpeta, está constituida con material seleccionado, de mejor graduación y resistencia que la subbase. Su función es principalmente ser resistente, absorbiendo la mayor parte de los esfuerzos verticales y a la deformación bajo las solicitaciones repetidas del tránsito.

Entre mejor calidad se tenga en esta capa el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin mermar la calidad, esto es para los pavimentos flexibles ya que en los pavimentos rígidos se puede prescindir de esta capa. .

Carpeta (Ca): Es la última capa en el proceso constructivo del pavimento, como ya se mencionó los tipos de carpeta más comunes para carreteras son de dos materiales: asfalto y concreto hidráulico.

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.

Otra de sus funciones es la de proporcionar las características funcionales del pavimento, es decir, debe tener una superficie uniforme y estable al tránsito, con textura y color conveniente y

que resista los efectos abrasivos del medio ambiente como impedir el paso del agua al interior de la estructura del pavimento.



Figura 2.9 Estructuras tipo de los pavimentos.

La división de las capas en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando se determina el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo para que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. En general debe tener un costo global mínimo, que incluye los costos de construcción, rehabilitación o recuperación y operación.

2.3 Comparación del uso de pavimentos flexibles y rígidos.

Además de las características funcionales y estructurales se debe realizar un análisis de costos en donde es necesario contemplar con una prevención del comportamiento del pavimento durante su periodo de diseño, la conservación necesaria, futuros refuerzos estructurales, costos imprevistos, etc. Es importante realizarlo para poder evaluar económicamente cada una de las opciones consideradas.

Comúnmente la selección de estrategias de pavimentación se realiza por el costo de construcción inicial, la mayoría de las veces sin involucrar el análisis técnico de las características de las mismas lo que conlleva en muchas ocasiones a que los diseños no lleguen a su vida esperada o bien que se tenga que realizar cuantiosas inversiones para mantener y rehabilitar la estrategia seleccionada.

Como se ha ido hablando durante este capítulo, las técnicas de pavimentación que hoy en día marcan tendencia en las carreteras de nuestro país son pavimentos flexibles, rígidos o ambos. En este apartado se dará un panorama general de las características de cada técnica de pavimentación comparando los pavimentos de asfalto y de concreto hidráulico.

Tabla 2.5 Características de los pavimentos

Pavimentos flexibles	Pavimentos rígidos
VIDA ÚTIL	
Tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años.	Los diseños de los pavimentos se especifican para una vida útil: en México 20 a 25 años, EEUU 30 a 40 años, Europa 50 años o más.
Para cumplir con su vida útil requiere de un mantenimiento constante, esto significa que el costo de mantenimiento aumenta cerca del 50%* en comparación con los pavimentos rígidos, esto se debe a que sus deterioros requieren de un tratamiento frecuente a base de selladores de grietas y de recubrimientos superficiales.	Debido a la mínima necesidad de conservación y/o reparación durante su vida útil los pavimentos rígidos tienen un costo menor de hasta 30%, es decir, un mejor costo/beneficio. (ver figura 2.10)

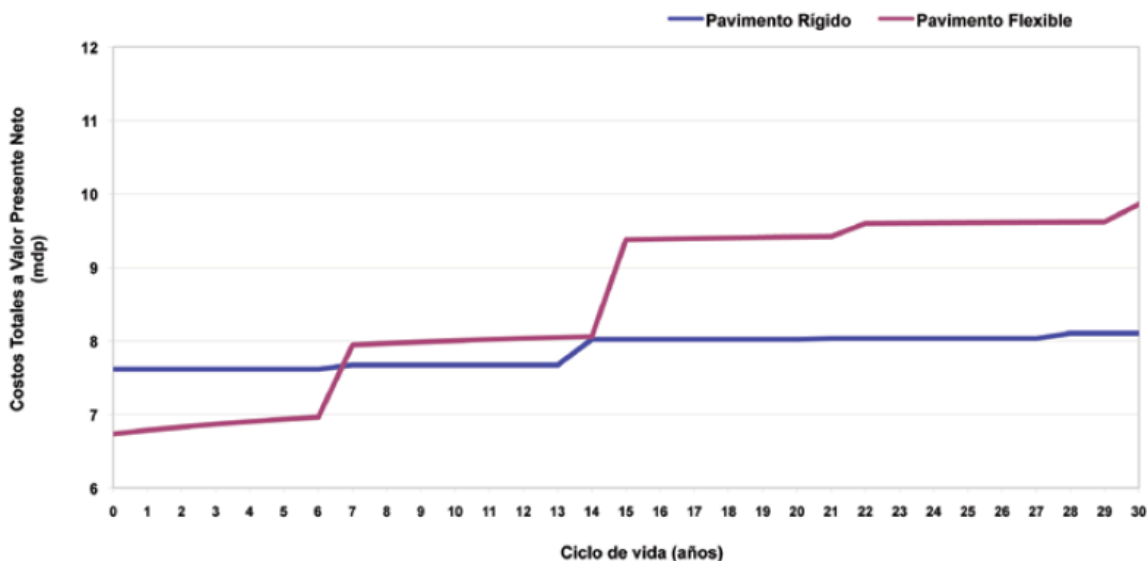


Figura 2.10 Gráfica comparativa de costos acumulados.

Fuente: Folleto “Oferta integral en infraestructura carretera”, CEMEX

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	
El costo inicial de construcción de carreteras con concreto es superior a las de asfalto en un 15% aproximadamente. (ver figura 2.10)	
La carpeta asfáltica es lo bastante plástica para absorber grandes golpes y soportar un elevado volumen de tránsito pesado, es decir tiene la capacidad de deformarse y volver a tomar su forma original sin que su estructura se rompa.	A pesar de que tiene una mayor capacidad para soportar las cargas del tránsito, no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural.
Por la característica anterior tiene buen desempeño en zonas sísmicas.	No son recomendables en zonas sísmicas, sin embargo, tienen un mejor desempeño en regiones frías.

Las irregularidades frecuentes que se forman en este tipo pavimentos provocan que haya un mayor consumo de gasolina y desgaste de llantas, lo cual aumenta los costos para el usuario. (Costos de Operación Vehicular)	La superficie dura del concreto hace más fácil el rodado de los neumáticos. Estudios han demostrado que se ahorra hasta un 20% en los combustibles de los vehículos ² .
Las carpetas asfálticas se suelen deformar a temperaturas muy altas provocando deficiencias en la superficie de rodamiento.	De acuerdo con la normativa de la SCT el concreto puede ganar hasta un 10% de resistencia después del primer mes.
La elaboración de las mezclas asfálticas es más complicada ya que requiere de procedimientos especiales para poder alcanzar la resistencia deseada, como los asfaltos modificados por ejemplo.	La elaboración de concreto para pavimentos no requiere de materiales ni técnicas especiales. Los componentes de la mezcla se pueden adaptar para producir las resistencias deseadas, y bastará con controlar la relación, reacción y contenido de agua – cemento.
Para los dos tipos de pavimentos se requiere de un estricto control de calidad y una estricta supervisión en el procedimiento de construcción.	
El acabado de la superficie ya está en la mezcla de los asfaltos, por lo que solo se tiene que tener mucho cuidado en la calidad de los materiales utilizados para la colocación de la carpeta.	Especialmente para este tipo de pavimentos se tiene que tener cuidado en el acabado de la superficie de rodamiento, ya que si se hace de manera deficiente puede ser peligroso para los usuarios.
SEGURIDAD	
Las cargas pesadas producen roderas y dislocamientos en el asfalto y son un peligro potencial para los usuarios. Esto constituye un serio problema ya que las roderas llenas de agua pueden causar deslizamientos, pérdida de control del vehículo y por lo tanto, dar lugar a accidentes.	El concreto no presenta con frecuencia roderas, por lo tanto no hay acumulación de agua y, por ende, tampoco se produce hidroplaneo. Por otra parte, se disminuye el efecto "spray", es decir, el agua que despiden los vehículos sobre el parabrisas de otro vehículo, impidiendo la visibilidad.
Las distancias de frenado para superficies de concreto son menores que para las superficies de asfalto, sobre todo cuando el asfalto está húmedo y con roderas.	

² Zaniwski, J.P., *Effect of Pavement Surface Type on Fuel Consumption, SR289.01P, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 1989.*

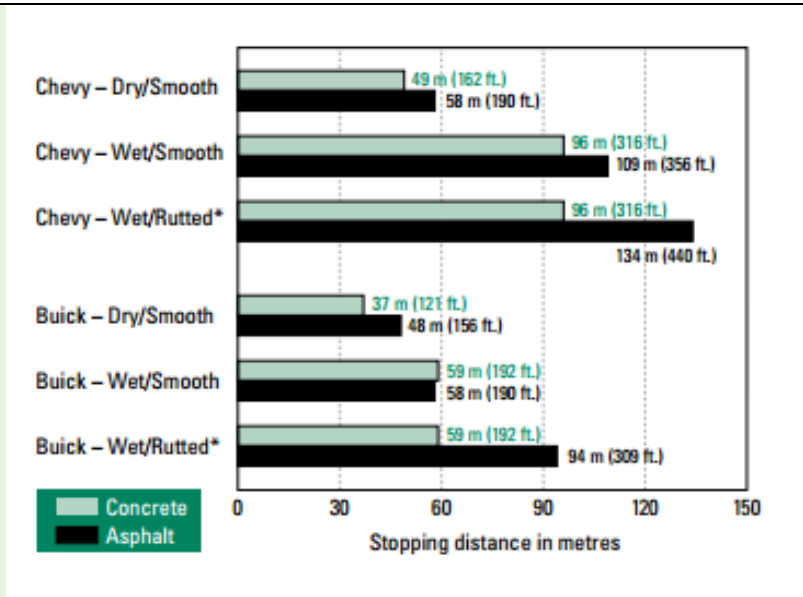


Figura 2.11 Distancia de frenado medida en pavimentos de concreto y asfalto de dos vehículos a una velocidad de 100 Km/h.

Fuente: American Concrete Pavement Association, "Whitotopping – State of the Practice", Engineering Bulletin 210P

MANTENIMIENTO

Bacheo anual, recarpeteo cada 5 años.	Sello de grietas, sustitución de sello en las juntas, cada 5 años.
---------------------------------------	--

Se puede notar que, mientras que a los pavimentos rígidos se les da una conservación rutinaria a los 5 años de servicio, a los flexibles se le tiene que hacer una conservación periódica en el mismo lapso de tiempo. Esto provoca que en los rígidos exista un mayor índice de servicio durante su vida útil.

Una vez que se han formado roderas en un pavimento de asfalto, la experiencia ha demostrado, que la colocación de una sobrecarpeta de asfalto o de concreto sobre ese pavimento no evitará que se vuelva a presentar. Debido a que la falla pudiera estar en las capas inferiores y sea el problema.

ESTRUCTURA

La diferencia estructural principal entre un pavimento rígido y flexible es la manera en que cada tipo de pavimento distribuye las cargas de tráfico sobre la sub-base. Mientras que en los pavimentos rígidos la losa proporciona una parte importante de la capacidad estructural, en los flexibles la capacidad estructural de la carpeta asfáltica es nula, provocando que las tensiones en las subcapas sean menores en los rígidos que en los flexibles.

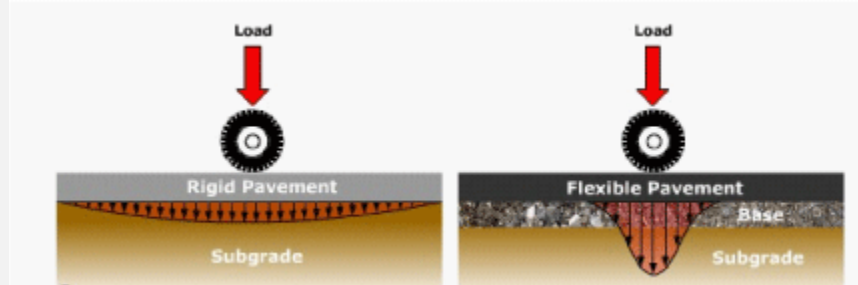


Figura 2.12 Distribución de las tensiones en los pavimentos rígido y asfáltico.

OTROS

Por sus características físicas el concreto refleja la luz, lo que aumenta la visibilidad y puede disminuir los costos de iluminación, en cantidad de luminarias y consumo de energía entre un 20% - 30%.



Figura 2.3 Comparación de la iluminación entre superficies de concreto y asfalto.

Existen más tipos de pavimentos flexibles que rígidos

Es amigable con el medio ambiente.

De acuerdo con el contenido de la Tabla 2.5, se podría concluir que los pavimentos rígidos o de concreto hidráulico tienen mayores beneficios que los pavimentos flexibles o de asfalto, sin embargo, los expertos acerca del tema concluyen que no existe el pavimento eterno o perfecto. Rodolfo Téllez Gutiérrez, perito profesional en Vías Terrestres y coordinador de infraestructura del Instituto Mexicano del Transporte (2011), cita en su artículo “Pavimentos rígidos o flexibles, concreto vs. asfalto” que si un pavimento está bien diseñado, construido adecuadamente con materiales de alta calidad, supervisado constantemente y conservado a lo largo de su vida útil, ambas opciones –concreto o asfalto– en teoría, son soluciones adecuadas y deberán comportarse, durar y dar servicio a los usuarios del transporte en forma óptima y eficiente.

Además, cada proyecto es diferente ya que suelen depender de diferentes factores como: el costo y la disponibilidad de los materiales, el volumen del tránsito, el tipo de suelos, el cambio

climático e incluso factores mundiales, por ejemplo: para los países en vías de desarrollo la pavimentación se caracteriza por el uso intensivo del asfalto, sin embargo, esta tendencia podría cambiar hacia un mayor uso del concreto ya que el precio del petróleo ha registrado importantes cambios debido a desequilibrios en el mercado y a la demanda que ha aumentado considerablemente debido al rápido crecimiento y desarrollo que se ha presentado en los últimos años en países como China e India, llegando a representar más de la mitad del incremento en la demanda mundial de energía primaria entre 2006 y 2030.

Por esa razón, no se puede determinar que pavimento es mejor, en algunos proyectos el concreto funcionará mejor, en otros, el asfalto o la combinación de ambos.

3. Índices de desempeño que impactan en la operación de las carreteras.

En los últimos años, en nuestro país se ha tomado un gran interés en realizar y mejorar los trabajos de construcción y modernización de las carreteras por el impacto que producirá en la competitividad y en el bienestar social, entregando un mejor servicio posible al mínimo costo. Sin embargo, la cobertura y accesibilidad de esta infraestructura se encuentra aún por debajo de las condiciones ideales, es decir, no todas las carreteras cumplen con un buen nivel de servicio.

Gracias a que los usuarios son más conscientes de sus derechos como contribuyentes, y demandan en forma creciente por la mejora de las carreteras y tarifas justas, se ha tomado una mayor conciencia de las condiciones en las que deben permanecer las carreteras.

Para garantizar el buen estado de las carreteras y disminuir su deterioro excesivo, así como la pérdida de desempeño, se realiza un programa de conservación en donde se recolecta información de campo mediante un sistema de datos que se actualiza regularmente para medir los cambios de la condición de la carretera a lo largo de su vida útil. Para proporcionar dicha información se han establecido parámetros o medidas llamados “Índices de Desempeño”.

Los índices permiten especificar rangos o niveles de tolerancia (estándares) para la aceptación de tramos nuevos de autopistas y carreteras, sirviendo como un parámetro de control de calidad superficial. Para carreteras ya en servicio, sirven como una herramienta para monitorear el comportamiento del camino a través del tiempo y permiten fijar umbrales de alerta para proceder a un estudio de los daños o para realizar las labores de mantenimiento de acuerdo a la importancia del camino.

Los índices de desempeño se clasifican de acuerdo al tipo de elemento de la carretera y se decretan de acuerdo al tipo de contrato que se establezca o al convenio que se llegue a tener entre la entidad (SCT) y el contratista (empresa que realiza los trabajos de construcción y conservación).

La expectativa de una adecuada conservación es entregar un mejor servicio al mínimo costo, garantizando la accesibilidad, movilidad, seguridad en el tránsito, cuidado al medio ambiente y la equidad refiriéndose a las prestaciones para las regiones del país.

3.1 Análisis de los indicadores de la superficie de rodamiento.

Debido a que la superficie de un camino es la parte más importante de una carretera, ya que por ella transitan los vehículos y su estado es determinante para que los usuarios tengan un traslado seguro y cómodo; ha causado que se busque la forma de medir o calificar la condición superficial surgiendo así algunos equipos y métodos para realizar esta tarea. La SCT utiliza los

indicadores mostrados en la tabla 3.1, los cuales establecen valores máximos y mínimos así como una breve explicación de los parámetros que no se admiten en la superficie del pavimento. Indicadores como el IRI y el coeficiente de fricción se pueden medir con equipos modernos, los baches se miden de forma visual y las roderas se pueden medir de ambas formas.

En este capítulo se describe la importancia de los indicadores así como el equipo que se utiliza para obtener los valores mostrados en la tabla.

Tabla 3.1 Indicadores y estándares de los pavimentos

Indicador	Estándares/Nivel de servicio
Índice Internacional de Rugosidad <i>IRI</i>	2.5 m/km máx.
Roderas en pavimentos	Entre 15 mm y 20 mm
Resistencia al deslizamiento <i>Coefficiente de Fricción.</i>	Entre 0.40 mín. y 0.80 máx.
Baches y bacheo en pavimentos	<i>No se admiten baches ni calaveras</i>

NOTA: Tanto los indicadores como sus valores fueron obtenidos de los contratos CPCC, los cuales son los más estrictos en comparación con los demás contratos.

3.1.1 Índice Internacional de Rugosidad (IRI).

La calidad de un pavimento se obtiene al analizar la regularidad superficial, es decir, se miden las irregularidades verticales acumuladas a lo largo del camino con respecto a un plano horizontal en un pavimento, el valor que representa las irregularidades se le conoce como “Índice Internacional de Rugosidad” (IRI, por sus siglas en inglés). Estas alteraciones se presentan por dos causas: el procedimiento constructivo y el daño producido a la carretera por el tránsito vehicular, y puede llegar a suceder que las irregularidades sean una combinación de ambas; por ejemplo: las diferentes capas que constituyen un pavimento pueden presentar afectaciones debidas a asentamientos o acomodos de los materiales que las constituyen, y son función de las cargas que circulan sobre el pavimento.

El IRI está basado en la acumulación de desplazamientos en valor absoluto que se producen por los movimientos de la masa superior con respecto a la masa inferior (en milímetros, metros o pulgadas) de un modelo de vehículo (cuarto de carro, figura 3.1), dividido entre la distancia recorrida sobre una carretera (en m, km o millas), dando como resultado un valor estandarizado de los tramos en estudio a la velocidad de operación o de proyecto de cada tramo carretero, es decir, el IRI es la relación de los movimientos acumulados de la suspensión de un vehículo, dividida por la distancia recorrida por el vehículo durante la prueba y se expresa en unidades de

mm/m, m/km, in/millas, etc. El IRI también sirve como estándar para calibrar los equipos de medición de la regularidad superficial de un camino.

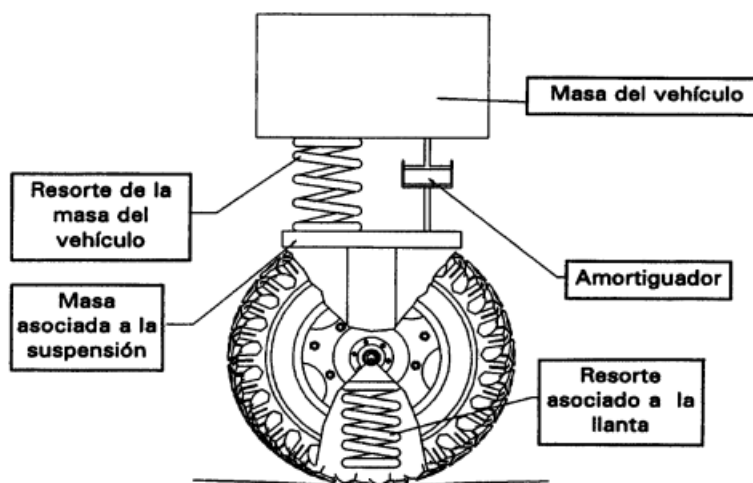


Figura 3.1 Representación del modelo Cuarto de Carro (Golden Quarter Car).

El modelo cuarto de carro normalizado (Golden Quarter Car) es un modelo matemático que propuso el Banco Mundial para estandarizar el valor de la regularidad superficial o IRI del pavimento, el cual fue ajustado para poder establecer una correlación con los sistemas de medición de rugosidad del tipo respuesta. El propósito del sistema es analizar la red por segmentos de 1 km y establecer sus características de regularidad superficial circulando a 80 km/h.

Después de realizar las pruebas para cada segmento de carretera, en diferentes países se decidió en principio un valor límite del IRI igual a 3.5 m/km, como se muestra en la tabla 3.2 que proporciona valores internacionales. Sin embargo, dicho valor límite se puede modificar de acuerdo con las características de la red analizada, y con la experiencia del administrador o responsable de la misma.

Tabla 3.2 Límites permisibles del IRI (m/km)

País	Autopista libre	Carretera nacional	Autopista de cuota
Bélgica	2.5	3.5	2.0
España	2.5	3.0	2.5
Francia	2.0	2.8	2.0
Portugal	2.2	3.5	2.0
Italia	2.0	3.0	2.0

En muchos casos, el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) presente en el tramo analizado puede utilizarse como criterio para la elección de un valor límite del IRI como se muestra en la figura 3.2, ya que el tránsito constituye un indicador de gran importancia para la carretera ya que se puede medir el nivel de deterioro tolerable en la misma.

Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA)	Índice Internacional de Rugosidad, IRI (m/km)						
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	> 12
0 - 4 999	Muy bueno		Bueno				
5 000 - 9 999			Regular		Malo		
10 000 - 19 999						Muy malo	
> 20 000							

Figura 3.2 Valores de IRI en función del TDPA en una carretera.

Partiendo de las mediciones de rugosidad de un camino, también se puede definir el estado de los pavimentos mediante el índice de rugosidad; si se realiza un programa de evaluación anual en esos mismos caminos se puede llegar a conocer el comportamiento del deterioro a través del tiempo como se muestra en la Figura 3.3. Fue propuesta por el Banco Mundial como parte de la Guía para la Realización y Calibración de Mediciones de Regularidad en Carreteras.

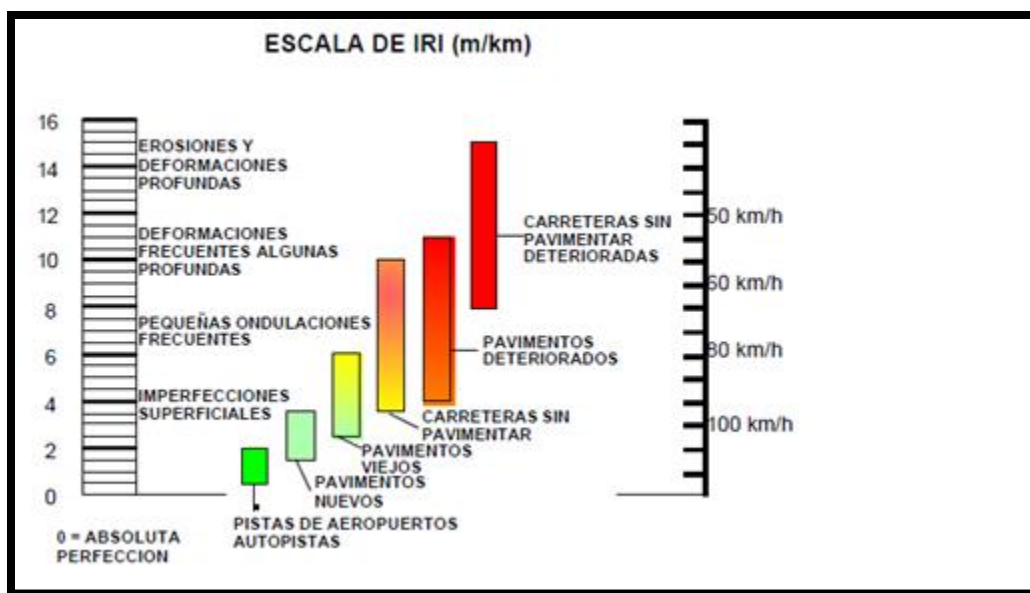


Figura 3.3 Correlación entre los tipos de superficie de rodamiento y el rango del IRI medido.

De esa forma los países han establecido sus límites para el índice internacional de rugosidad (IRI), por ejemplo:

En México se considera un tramo en buen estado cuando el IRI es menor a 2.8 m/km, entre 2.8 y 3.5 m/km como regular y mayor a 3.5 m/km se consideran como en mal o muy mal estado.

En Estados Unidos, los tramos de pavimentos con valores menores de 2.4 m/km son considerados como superficies en buen estado y confortables, mientras que los valores de 4.7 m/km o más, son considerados como rugosos y no confortables.

En España, se fija un valor de 1.85 m/km de IRI para recibir nuevas carreteras y para carreteras en servicio con un TDPA mayor de 2,000 vehículos se fija un porcentaje de la longitud de calzada con un valor mínimo de 3.5 m/km y para valores de TDPA < 2,000 vehículos el IRI mínimo de 4.5 m/km.

En Chile, se considera un valor del IRI entre 0 y 3 m/km como un camino bueno, entre 3 y 4 m/km como uno regular y para un IRI mayor de 4 m/km como un camino malo.

Equipos para medir el IRI

La selección de los equipos empleados para saber el estado de una carretera dependen de la política establecida por la entidad encargada de la evaluación, tomando en cuenta sus propias normas de conservación, así como de la tecnología que cada país disponga.

Hoy en día existen muchos equipos capaces de medir el IRI. Al fin y al cabo, los datos para obtener el IRI no son más allá que un “perfil longitudinal” de la superficie del pavimento. A continuación se describen algunos:

El **Dipstick** consiste en un inclinómetro sostenido entre dos apoyos separados por 300 mm o 250 mm (dependiendo de las unidades de análisis, los apoyos pueden separarse 12 pulgadas), los cuales registran la elevación de un apoyo relativo a la elevación del otro.



Imagen 3.1 Equipo Dipstick.

Los **perfilógrafos** tienen una rueda sensible, montada al centro del marco que puede mantener libre el movimiento vertical. La magnitud de las irregularidades se registra mediante un sistema gráfico o computarizado según el movimiento de la rueda sensible. Se pueden encontrar en una gran variedad de formas, configuraciones y marcas.



Imagen 3.2 Perfilómetro California (izq.) y Viágrafo (der.)

Los equipos **tipo respuesta** (RTRRMS) operan a la velocidad normal de circulación de una carretera. Miden los movimientos verticales del eje trasero del automóvil o el eje del remolque respecto al marco del vehículo. De esta manera el equipo mide la reacción o rebote del vehículo a la regularidad del camino, por lo que no es realmente una medida verdadera de la lisura de la superficie.

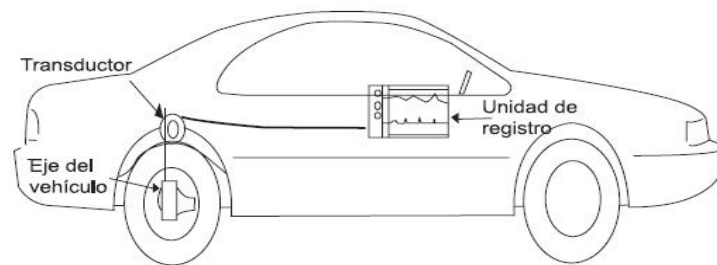
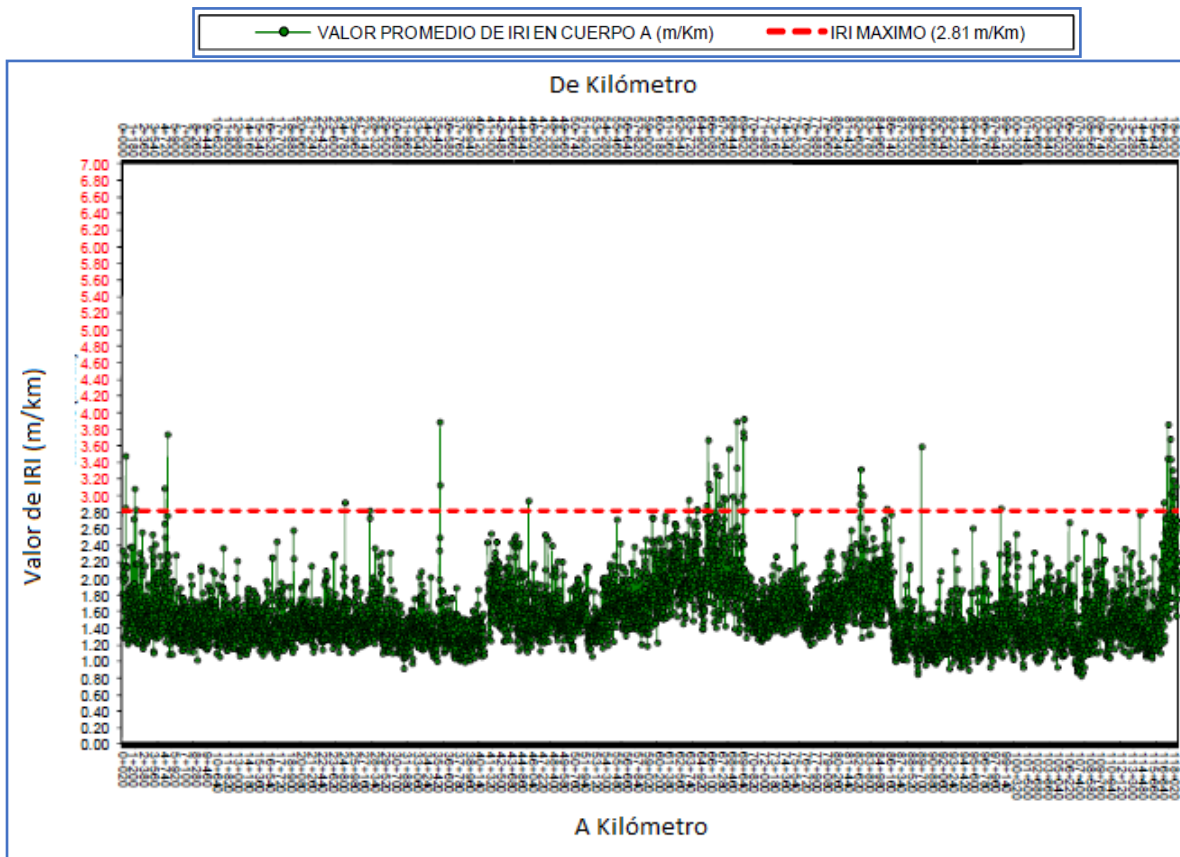


Figura 3.4 Equipo RTRRMS.

Los **perfilómetros inerciales** son equipos de alto rendimiento que producen medidas automáticas, de alta calidad y altísima precisión del perfil del camino. Las mediciones son independientes de cualquier variación en el peso y velocidad del vehículo y de la temperatura, color y textura del pavimento. Se caracterizan por estar equipados con dispositivos láser y desplazarse a velocidades de operación iguales a los demás vehículos en las carreteras para no interferir con el flujo vehicular; las velocidades de operación van desde los 20 km/h hasta los 100 km/h.



Imagen 3.3 Perfilómetros inerciales.



Gráfica 3.1 CONDICIÓN ACTUAL DE LA AUTOPISTA ZAPOTLANEJO - EL DESPERDICIO. ESTUDIO DE ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD (IRI) CUERPO "A", PROMEDIO CARRILES ALTA Y BAJA DE km 0+000 A km 118+500. Estudio 18 de Diciembre de 2011.

3.1.2 Deformaciones permanentes (Roderas)

Las roderas son deformaciones plásticas en la superficie de rodamiento de un pavimento asfáltico, que se presentan a lo largo de la zona de mayor incidencia de los neumáticos de vehículos pesados. Usualmente aparece como una depresión longitudinal con ligero levantamiento lateral del material asfáltico.

Existen dos tipos de deformaciones permanentes: las que se forman por las fallas de la mezcla asfáltica y las que se generan por fallas en la capa subrasante. Cuando se presenta la primera de estas deformaciones, la superficie muestra depresiones que ocurren en las zonas de rodamiento de un carril de circulación, estos hundimientos son consecuencia de los problemas de diseño o compactación de la mezcla asfáltica. La segunda ocurre cuando en la capa subrasante se producen las deformaciones a consecuencia de las cargas que son aplicadas por el tránsito provocando un asentamiento de la superficie de pavimento.

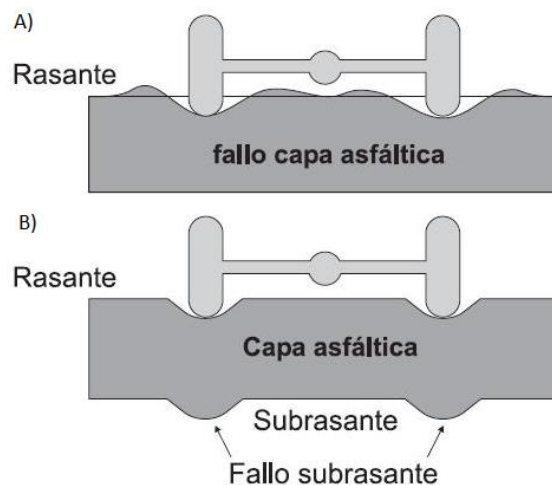


Figura 3.5. Roderas por falla en la carpeta asfáltica (A) y por falla en la subrasante (B).

La aparición de roderas en la superficie de rodamiento, aparte de afectar la funcionalidad del pavimento representa un problema serio para quienes transitan por la vía, ya que la acumulación de agua dentro de estas depresiones longitudinales suele causar el deslizamiento de las ruedas de los vehículos (Hidroplaneo). Por esta razón se deben establecer límites permisibles de profundidad de rodera en función de las consideraciones de seguridad. La Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA) clasifica las roderas en cuatro grados de severidad como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 3.3 Clasificación de la severidad de las roderas

Hidroplaneo	0.5 a 0.7 cm
Baja	0.7 a 1.25 cm
Media	1.25 a 2.5 cm
Alta	> 2.5 cm

Sin embargo, para muchos investigadores el único estándar razonable es aquel que se asocia al hidroplaneo, por ejemplo: los pavimentos con pendientes transversales del 2% y profundidades de rodera de aproximadamente 1.25 cm, son condiciones que se consideran suficientes para causar el hidroplaneo de un automóvil que viaja a una velocidad de 80 km/h o más. A medida que incrementa la profundidad de la rodera, resulta difícil mantener la dirección del vehículo a altas velocidades, lo que se convierte en un gran problema de seguridad para el usuario.

Para determinar este parámetro es común expresarlo como la máxima distancia bajo una regla plana de 3 m de longitud y en el caso de las especificaciones del Banco Mundial de 2 m, la elevación se establece mediante métodos manuales a cada 50 m y de forma automatizada a cada 10 m. Un factor importante para el análisis de las roderas lo constituye el cálculo de la desviación estándar, ya que los valores de la profundidad no siempre se distribuyen estadísticamente de forma normal.



Imagen 3.4 Método manual.

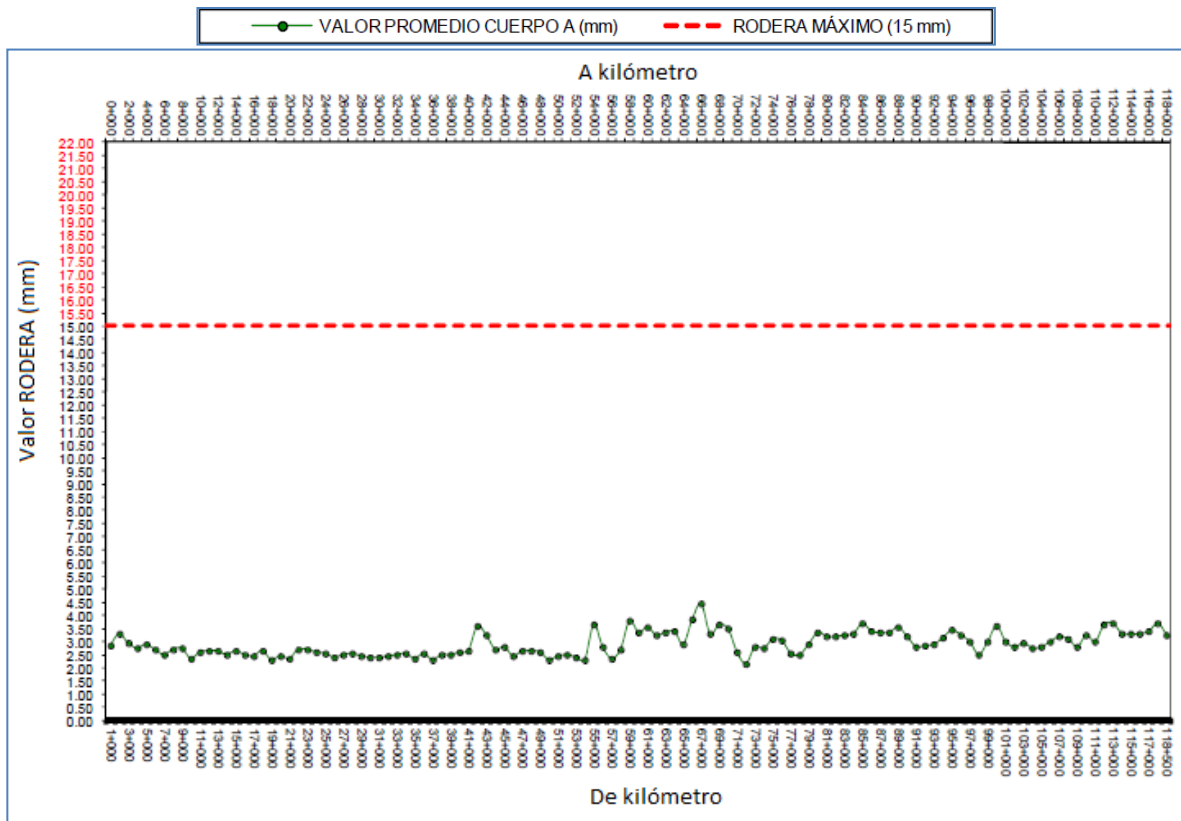


Imagen 3.5 Método automatizado (equipo PathRunner XP).

Al respecto de las deformaciones permanentes o roderas la Dirección General de Desarrollo Carretero (DGDC), antes Unidad de Autopistas de Cuota de la SCT estableció las especificaciones que a continuación se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3.4 Especificaciones de la SCT

0 - 5 mm	-
5 - 15 mm	CORRECCIÓN
>15 mm	RECHAZO



Gráfica 3.2 CONDICIÓN ACTUAL DE LA AUTOPISTA ZAPOTLANEJO - EL DESPERDICIO. ESTUDIO DE PROFUNDIDAD DE RODERA (PR) DEL CUERPO "A", PROMEDIO CARRILES ALTA Y BAJA DE km 0+000 A km 118+500. Estudio 18 de Diciembre de 2011.

3.1.3 Coeficiente de fricción (CF).

El coeficiente de fricción o textura del pavimento, determina la buena o mala adherencia entre la llanta del vehículo y la superficie de rodamiento, estableciendo que la situación más crítica o desfavorable es la condición de “pavimento mojado”.

Dada la importancia que se da a la seguridad del usuario en el transporte aéreo además de la exigencia de cumplir con la normativa internacional, desde hace 20 – 25 años la medición de este importante parámetro se lleva a cabo periódicamente en los pavimentos que conforman el

sistema terrestre aeroportuario, y que cubren el rodamiento de aeronaves tanto en las operaciones de despegue como de aterrizaje en pistas, rodajes y plataformas de operación, debiendo cumplirse con valores límite de coeficiente de fricción ordenados por las autoridades nacionales e internacionales.

En virtud de lo anterior y tomando en consideración que a la fecha el país cuenta ya con una importante extensión de más de 6,000 km de carreteras de altas especificaciones construidas con el tradicional pavimento flexible o asfáltico y pavimentos rígidos o de concreto hidráulico, de común acuerdo la SCT y el IMT tomaron la decisión de hacer obligatorio y de cuantificar el parámetro de fricción, mismo que el sistema captura, almacena y procesa, y del que provee resultados para que exista una toma de decisiones adecuada al respecto por parte de los ingenieros responsables de la conservación.

Su medida y estudio es fundamental, sobre todo en caminos de elevada intensidad de tránsito. La fricción se determina en forma indirecta midiendo el coeficiente de rozamiento entre el pavimento artificialmente mojado y una llanta especial como se muestra en la imagen. También se puede considerar de forma indirecta, al medir la textura del pavimento con ayuda de técnicas como el cono de arena.



Imagen 3.6 Skid Trailer.

El valor del coeficiente de fricción para pavimentos mojados depende de una serie de factores; algunos inherentes a la carretera, como el tipo de material que componen a la superficie de rodamiento, drenaje, etc; mientras que otros son responsabilidad del usuario (como la velocidad y el estado de las llantas), o de la naturaleza (lluvia, nieve, hielo sobre la carpeta, etc). El coeficiente de fricción está en función de la velocidad y cantidad de agua que exista sobre el pavimento, además del tipo y del estado de la carpeta.

Al igual que otras características superficiales, los valores del coeficiente de fricción de un pavimento cambian con el paso del tiempo, como consecuencia del pulido de la superficie por la acción repetida de las llantas de los vehículos. Esta acción será más o menos intensa dependiendo del tipo de agregado utilizado. Por ejemplo, para agregados calizos el problema cobra indiscutible importancia, lo que quizá no sea tan marcado cuando se utilizan agregados

3.2 Indicadores de los elementos estructurales.

Para evaluar la calidad de los distintos elementos de las carreteras, en nuestro país se ha utilizado el método desarrollado en los años sesentas por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), el cual toma en cuenta un parámetro denominado Present Serviceability Index (PSI), mejor conocido en México como Índice de Servicio Actual (ISA). Esto ha ayudado a estimar de una forma rápida y sin interrumpir el flujo de vehículos, las condiciones en las que se encontraban algunos tramos carreteros en México.

Durante muchos años este método ayudó a estimar (de una manera subjetiva) las condiciones en las que se encontraban la superficie de algunos tramos carreteros en nuestro país, debido a que no se contaba con equipos de alto rendimiento para medición de índices como la rugosidad o IRI en la superficie de rodamiento.

El índice o nivel de servicio actual (ISA) consiste en calificar, mediante un grupo de evaluadores, el grado de confort y seguridad que el usuario percibe al transitar por un camino a la velocidad de operación. Cada evaluador debe calificar el camino de una manera subjetiva en una escala de 0 a 5 cada uno de los elementos de la carretera: corona, drenaje, derecho de vía, señalamiento vertical y señalamiento horizontal.

ISA	Condición
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo
0	Muy malo
	Pésimo

Figura 3.7 Escala de la condición de cada elemento de la carretera.

En el caso de la Corona se califica según deficiencias tales como deformaciones, grietas, fisuras, asentamientos, etc.; en el Drenaje según las deficiencias en las alcantarillas, cunetas, contracunetas, lavaderos, bordillos, pendiente transversal, etc.; en el Derecho de Vía según el riesgo que su utilización represente al tránsito, la abundancia de la vegetación, el estado de las zonas laterales, los cercados, etc.; y en los Señalamientos Vertical y Horizontal por su ausencia, por ser ilegibles, por estar maltratados o por no cumplir con las especificaciones indicadas en las normas.

La calificación total de la autopista se encuentra en un rango de 0 a 500, correspondiente a una superficie intransitable y a una superficie en excelentes condiciones, respectivamente.

Tabla 3.6 Calificaciones respecto al estado físico de la carretera

Calificación (puntos)	Estado Físico
De 0 hasta 250	Malo
Mayor de 250 hasta 350	Regular
Mayor de 350 hasta 500	Bueno

En los siguientes recuadros se mencionan los indicadores que se deben cumplir para cada elemento de la carretera, están descritos y divididos de acuerdo a las especificaciones de los contratos CPCC.

Terracerías.

Indicador

Se refiere principalmente a los derrumbes y deslaves, así como al recargue de taludes que se generan por las condiciones o alteraciones que se tengan del terreno.

Estándar/Nivel de Servicio

No se admiten obstrucciones por derrumbes o deslaves.

Drenaje.

Indicador

El drenaje tiene como propósito el conducir el agua lejos de la carretera, evitando daños tanto en el aspecto de la estabilidad de su infraestructura, como en sus condiciones de transitabilidad.

- Obras de drenaje.
- Obras complementarias de drenaje.

Estándar/Nivel de Servicio

Estas obras deben estar limpias, libres de obstáculos, sin daño estructural significativo.

Las obras complementarias de drenaje, deben de encontrarse totalmente limpias y el revestimiento sin ningún daño significativo.

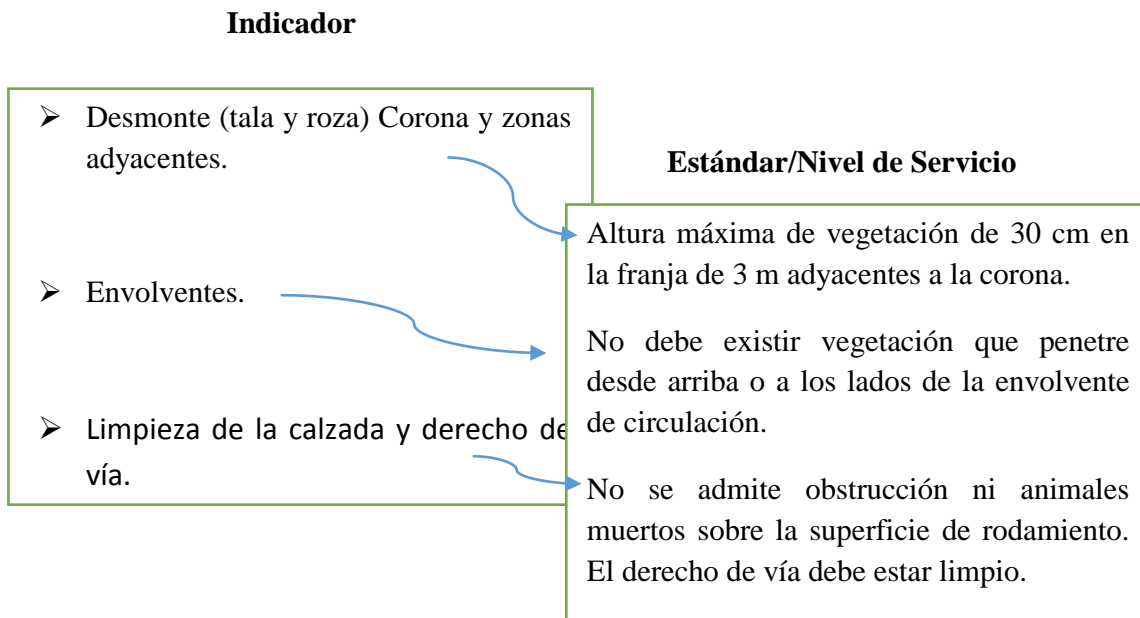
Señalamiento y Dispositivos de Seguridad.

Indicador	Estándar/Nivel de Servicio
➤ <i>Señales Verticales.</i> Señales preventivas, restrictivas, informativas y turísticas.	Las señales deben estar 100% presentes, conforme a la norma y al proyecto, limpias y legibles.
➤ <i>Señales Horizontales.</i> Indicadores de alineamiento (fantasmas), vialetas, postes de kilometraje y otros. Marcas de pavimento.	Deben estar 100% presentes, visibles y firmemente adheridas al pavimento, conforme a la norma y al proyecto.
➤ Defensas metálicas terminales y/o amortiguadores de impacto; y barreras de protección y centrales (incluye malla antideslumbrante)	Deben estar presentes al 100% y en la posición especificada, limpias y sin daños significativos.

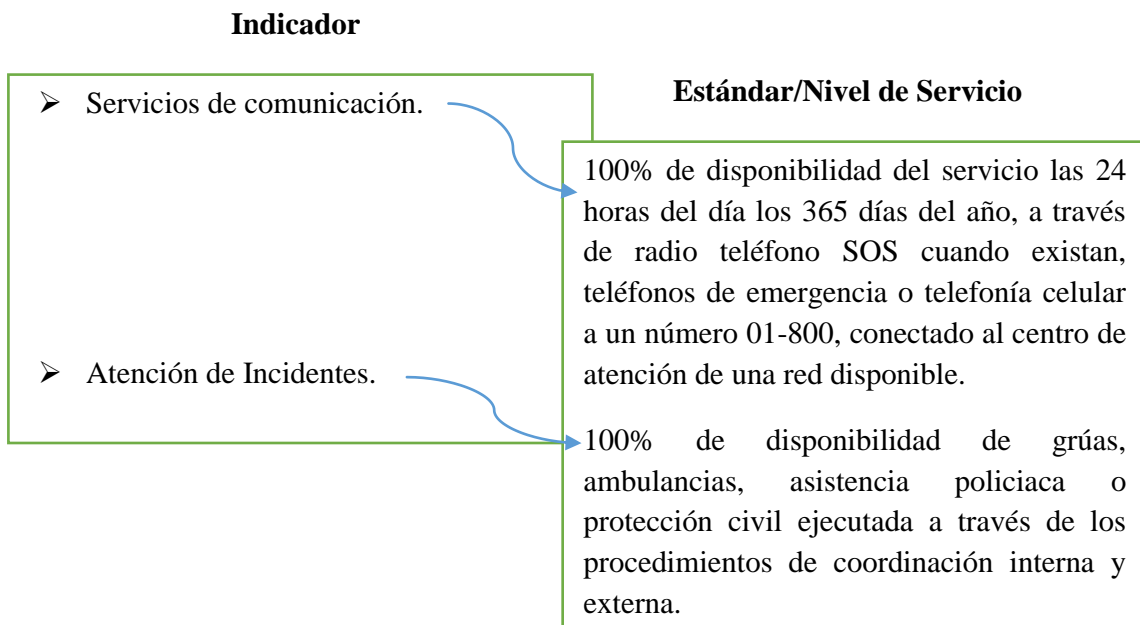
Puentes.

Indicador	Estándar/Nivel de Servicio
<i>Estructuras metálicas y de concreto:</i>	
➤ Elementos metálicos y de concreto.	100% presentes, libres de corrosión o daños significativos.
➤ Drenajes, apoyos y juntas de dilatación.	Todos sus componentes deben estar limpios y en perfecto funcionamiento.
➤ Cauces.	Deberá asegurarse el libre flujo del agua bajo los puentes, retirando azolves, ramas, basura y todo tipo de obstáculos para prevenir erosión.

Funcionalidad del derecho de vía.



Servicio de vialidad.



Otra variable que sirve para evaluar la calidad de la infraestructura ofrecida por las carreteras se llama “Nivel de Servicio”, que es el grado de transitabilidad y seguridad que se intenta proporcionar a un tramo determinado de carretera durante un periodo de tiempo.

El nivel de servicio se obtiene del flujo vehicular de un camino durante un tiempo determinado (aforos vehiculares), el cual establece los niveles de servicio que son una medida cualitativa producto de una serie de factores, dentro de los cuales se encuentra; la velocidad, el tiempo de recorrido, las interrupciones al tránsito de vehículos, la libertad de manejo, confort, y el costo de operación.

Para saber la capacidad y los niveles de servicio que prevalecen en cada tramo de autopista o vía, se valoran las condiciones establecidas por las características físicas del camino, como son: las que dependen de la naturaleza del tránsito vehicular en cuanto a su magnitud y tipo de vehículos (aforo vehicular). Se manejan seis niveles de servicio, clasificadas con letras de la A a la F, para identificar las condiciones de operación de una vía.

El nivel de servicio “A” es el mejor y el nivel de servicio “F” es el más inconveniente, siendo el nivel de servicio “E” el que marca la capacidad de la vía.

Tabla 3.7 Características de los Niveles de Servicio

Nivel de Servicio	Descripción
A	Flujo libre con volúmenes bajos y velocidades altas
B	Flujo razonablemente libre, pero las velocidades comienzan a ser restringidas por las condiciones de tránsito
C	Zona en flujo estable, pero la mayoría de los conductores están restringidos en la libertad de elegir sus propias velocidades
D	Aproximándose a flujo inestable; los conductores tiene poca libertad para seleccionar sus propias velocidades
E	Flujo inestable; puede haber cortas paradas
F	Congestión inaceptable; pare y siga; flujo forzado

Fuente: Libro verde de AASHTO. 1995 HCM (Special Report 209), TRB Washington, actualizado en 1994

3.3 Comparativa de los indicadores de acuerdo a los esquemas de concesión.

La funcionalidad del sistema carretero nacional está a cargo tanto de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) la cual se encarga de llevar una correcta administración

de las carreteras, como de las entidades o empresas contratadas para realizar los trabajos de construcción, reconstrucción, operación, mantenimiento, modernización, etc., esto con la finalidad de mantener adecuados los niveles de servicio para el usuario.

En México se han utilizado las concesiones desde los primeros años de la década de los 90's, permitiendo adicionar nuevas vías de comunicación así como modernizar el sistema carretero nacional en un corto periodo de tiempo. Sin embargo, al introducir los esquemas de concesión se acarrearón problemas debido a la intensificación de la crisis económica y financiera que el país sufrió en los años de 1994 y 1995 lo que trajo consigo adoptar diversas medidas para sanear las finanzas de un buen número de los proyectos concesionados durante los años anteriores.

El resultado de esos procesos, fue que actualmente México cuenta con una amplia experiencia en materia de concesiones de carreteras tanto en el sector público como en el privado, asimismo debido al incremento del índice de concentración poblacional y a la diversidad de ramas industriales y comerciales, nuestro país requiere de vialidades que eleven las condiciones de transporte, permitiendo la generación de empleos y el incremento en las actividades competitivas. Para ello se ha buscado aprovechar los esquemas para volver a posicionar a la concesión como un instrumento viable para el desarrollo de proyectos carreteros con la participación del sector privado.

Por otra parte, el gobierno mexicano ha tomado medidas para fortalecer los programas de caminos rurales y carreteras alimentadoras, así como de conservación de carreteras federales que ha ido incrementándose su presupuesto anual paulatinamente. De continuar con esto se alcanzará que la totalidad de la red presente un nivel de servicio satisfactorio. Por ejemplo, el presupuesto anual 2013 para la conservación de carreteras fue de 13 mil 780.4 millones de pesos, contra los 9 mil 334.8 pesos del año 2012, lo cual ha originado el diseño de esquemas de contratación multianuales con participación de la iniciativa privada para hacer más eficiente la aplicación y administración de los recursos y lograr un menor costo de conservación y una mayor cobertura.

Los principales esquemas de contratos que emplean para la conservación, construcción y administración de carreteras son:

- Esquema de Concesiones (Concesión pura).
- Proyectos para Prestación de Servicios (PPS).
- Aprovechamiento de Activos.
- Contratos Plurianuales de Conservación de Carreteras (CPCC).

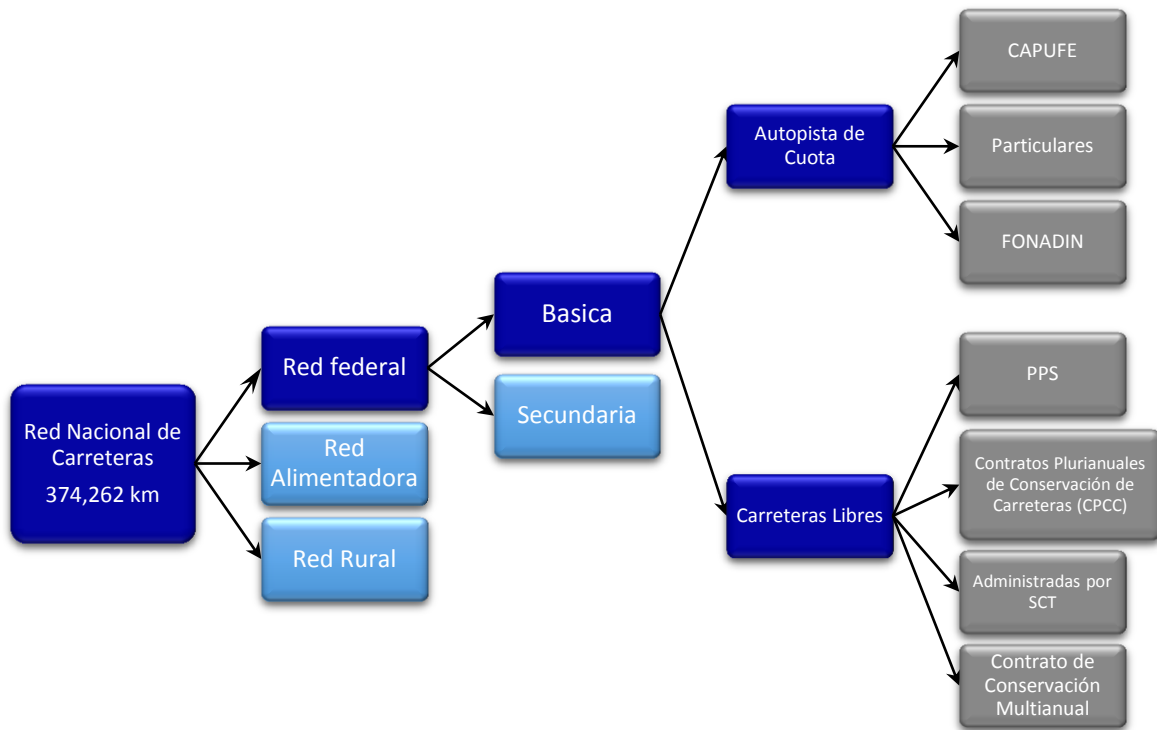


Figura 3.8 Clasificación de la red nacional.

Esquemas de Concesiones.

Este tipo de esquema se basa en una estrategia que combina la aplicación de recursos públicos y privados para hacer viable el financiamiento de infraestructura carretera de altas especificaciones.

Las principales características del Esquema de Concesiones es que los trabajos son otorgados mediante licitación pública. Aquí la SCT entrega a los concursantes el proyecto ejecutivo y el derecho de vía liberado, así como un estudio de aforo. Se fijan las tarifas de medias máximas y las reglas para su actualización, el plazo de la concesión se establece hasta el máximo permitido de la ley, es decir de 30 años.

En este esquema el gobierno realiza una aportación inicial con recursos públicos, a través del Fondo Nacional de Infraestructura (FONADI). Y el gobierno se compromete a efectuar en su caso una aportación subordinada (CAS) para cubrir el servicio de la deuda con la finalidad de evitar el pago con los flujos del proyecto.

La concesión se otorga al licitante que requiera del menor apoyo económico del gobierno. Cuando no se requiera de recursos públicos en las concesiones, se le adjudicará al licitante que

cumpla con los requerimientos legales, técnicos y financieros de la licitación y ofrezca la mayor contraprestación a la SCT.

Existe un fondo para la conservación en el que La Ley y de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal, estipula la obligatoriedad de constituir un fondo para conservación del proyecto dentro del fideicomiso de administración.

Este tipo de esquema se encuentra enfocado a:

- Realizar proyectos financieramente viables.
- Favorecer que los bancos otorguen créditos.
- Ser atractivos para desarrolladores e inversionistas.

Proyectos de Prestación de Servicios en Carreteras (PPS)

Con el esquema PPS se busca contar con un mayor desarrollo económico y de infraestructura carretera, principalmente de las carreteras federales libres de peaje, elevar la calidad del servicio ofrecido a los usuarios, aumentar la eficiencia y la productividad de la prestación de los servicios públicos, abrir nuevos espacios de participación para la iniciativa privada y lograr una más eficiente distribución de los riesgos de proyectos carreteros.

Dicho esquema consiste en adjudicar una concesión mediante licitación pública que asegura al concesionario el derecho exclusivo de firmar un contrato de prestación de servicios durante la vigencia de la concesión, de 15 a 30 años. El contrato establece la asociación entre la SCT y una empresa privada para diseñar, financiar, construir, modernizar, conservar y operar una carretera concesionada.

La prestación del servicio es realizada por la empresa privada a cambio de pagos periódicos trimestrales que se determinan con base en niveles de desempeño, dicho pago se basa en un mecanismo que considera la disponibilidad de la vía y su nivel de uso.

Cada licitante calcula un pago periódico en función de:

- Costo de construcción, conservación y operación.
- Rendimiento sobre el capital aportado que incluye los costos financieros.
- Tránsito anual estimado en una banda específica.
- Y el periodo de contratación.

Cuando el modelo se aplica a autopistas de cuota, el pago periódico se realiza mediante una combinación de tarifas y recursos presupuestales.

El esquema PPS busca ofrecer al usuario un servicio de calidad de forma permanente, por lo que los requerimientos son evaluados de acuerdo a un programa específico. Y en dado caso de no darse el servicio como fue especificado, además de no recibir el pago correspondiente, puede revocarse la concesión y dar por terminado el contrato de prestación de servicios.

Ventajas y desventajas.

- ✓ El uso de los Proyectos de Prestación de Servicio en Carreteras se ha incrementado en el mundo por las ventajas ofrecidas, entre ellas: elevar la calidad y cobertura de los bienes y servicios; mantener en condiciones óptimas la infraestructura; emplear racionalmente los escasos recursos públicos, y aumentar la disponibilidad de infraestructura.
- ✓ Ayuda en la modernización de espacios, el reequipamiento y la reconversión de unidades, ya que en el sector privado, existe interés por ese tipo de proyectos; ya que genera un marco legal que ofrece certeza jurídica y cada vez los empresarios asumen mayores riesgos.
- ✓ No obstante los PPS no transfieren responsabilidades, y para ser exitosos, es necesario que el gobierno tenga capacidad de seguimiento, cuente con recursos humanos y presupuestales, además de que vigile que realmente existan ahorros y eficiencia en los servicios.

Aprovechamiento de activos.

Consiste en el aprovechamiento de los activos con que cuenta el Estado a fin de obtener liquidez para invertir en otros proyectos de infraestructura. El esquema está diseñado para desarrollar nuevas obras de infraestructura, tanto por concesionarios privados, como por el Gobierno Federal. Es una forma de Asociación Público-Privada que en materia carretera ha generado interés en múltiples inversionistas nacionales e internacionales.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) acuerdan desincorporar activos carreteros del Fideicomiso de Apoyo para el Rescate de Autopistas Concesionadas (FARAC), a cambio del pago de una indemnización.

Se integran paquetes de autopistas de altas especificaciones que hayan estado operando durante un periodo considerable de tiempo y que pertenezcan al Estado y por autopistas de cuota por construir. La SCT concede esos paquetes al sector privado mediante licitaciones públicas y obteniendo contraprestación con la que paga al FARAC.

El concesionario es el responsable de operar, conservar y explotar los activos en cuestión, así como de construir y posteriormente explotar las nuevas autopistas que conformen el paquete. Para el concesionario los paquetes que se licitan incluyen la obligación de desarrollar nuevos tramos y la modernización de los ya existentes.

El Aprovechamiento de Activos ha venido a complementar el nuevo esquema de concesiones de autopistas de cuota y los PPS para atraer la inversión privada en carreteras.

Ventajas.

- ✓ Desarrollar obras que no se llevarían a cabo sin los recursos privados.
- ✓ Asegura el pago de las obligaciones generadas por el rescate carretero.
- ✓ El título de concesión y la participación privada generan obligaciones e incentivos a mejorar el servicio.
- ✓ El mantenimiento y la conservación están establecidos de la misma forma que el modelo de concesiones.

Contratos Plurianuales de Conservación de Carreteras (CPCC).

En los últimos años, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes ha implementado diversos programas para realizar los trabajos de conservación, todos ellos pagados por actividades realizadas. Y conforme a la experiencia adquirida al utilizar estos programas, la SCT decidió hacer uso de los Contratos Plurianuales de Conservación de Carreteras los cuales son contratos plurianuales que consideran el mantenimiento integral, con la diferencia principal de una parte de los trabajos se paga por resultados, asimismo se deben de cumplir estándares de desempeño.

Respecto al marco regulatorio la SCT realizó un estudio de planeación para definir estrategias de conservación de la red federal, para saber la viabilidad de implementar un esquema de pagos por cumplimiento de estándares de desempeño mediante contratos sujetos a la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas (LOPSRM) y se propuso otorgarlos por plazos de diez años. Esto permite a la SCT mejorar de manera sustancial el servicio a los usuarios y tener mayor certidumbre presupuestal para la conservación de los principales tramos federales del país, esto es, contar con un presupuesto irreductible. Dicho esquema es utilizado por distintos países en la actualidad cuya tendencia internacional es contratar los trabajos de mantenimiento por resultados y por grupos de tramos.

Las obras y servicios que están a cargo del contratista son los siguientes:

- ✓ Conservación periódica y rutinaria de la superficie de rodamiento y de los puentes.
- ✓ Conservación de las señales y elementos de seguridad en las carreteras.
- ✓ Servicios de vialidad para propiciar el uso seguro, cómodo y eficiente de las carreteras.
- ✓ Reconstrucción del pavimento y de puentes.

Los CPCC están diseñados para garantizar el buen estado un pavimento y posteriormente mantenerlo siempre en ese nivel, generando una mayor eficiencia de los recursos, un nivel de servicio adecuado a los usuarios y menores costos de operación vehicular.

Algunos criterios considerados para definir los paquetes a conservar mediante los CPCC son los siguientes:

- Aplicación prioritaria en tramos pertenecientes a corredores o a la red básica.
- Tránsito promedio mayor de 7,000 vehículos diarios.

- Continuidad de rutas específicas.
- Longitudes que permitan obtener economías de escala en la gestión del sector privado (entre 400 y 700 km.).
- Aspectos sociales, económicos y estratégicos (tramos que llegan a ciudades importantes, tramos que representan la única vialidad entre dos ciudades o poblaciones, etc.

Beneficios

- ✓ Elevación de la calidad del servicio
 - Estado físico 100% bueno al tercer año del contrato.
 - Servicios viales conexos.
 - Uniformidad de los tramos bajo un mismo CPCC.
- ✓ Ahorros en administración del programa por reducir el número de contratos y de proveedores.
- ✓ Eficiencia en la gestión de los contratistas y traslado de beneficios a SCT:
 - Planeación de largo plazo.
 - Convenios con proveedores y compras de mayor escala.
 - Amortización de inversiones y costos fijos.
 - Trabajos de mayor calidad.
- ✓ Irreductibilidad de una parte significativa del gasto de conservación.

Tabla 3.8 Comparación de los de los indicadores que se evalúan en cada esquema de contrato

Criterio	SCT-CPCC	SCT-PPS	SCT-CUOTA	Banobras
Superficie de rodamiento	<ul style="list-style-type: none"> •IRI •Roderas •Deslizamiento •Baches y calaveras •Grietas •Bordes sueltos en pavimento de calzada •Ancho de corona (calzada y acotamientos) •Nivel de acotamiento Vs nivel del pavimento •Limpieza de la superficie de rodamiento 	<ul style="list-style-type: none"> •IRI •Roderas •Deslizamiento •Bordes sueltos en pavimento de calzada •Ancho de corona (calzada y acotamientos) •Baches y calaveras 	<ul style="list-style-type: none"> •IRI •Roderas •Deslizamiento •Bordes sueltos en pavimento de calzada •Ancho de corona (calzada y acotamientos) •Nivel del acotamiento Vs nivel del pavimento •Pendiente transversal de acotamientos 	<ul style="list-style-type: none"> •IRI pavimento existente •IRI pavimento renivelado •Roderas •Deslizamientos •Baches y calaveras •Grietas •Desgranamientos •Bordes sueltos en pavimento de calzada •Ancho de corona (calzada y acotamiento) •Nivel de acotamiento VS. nivel del pavimento
Terracerías	<ul style="list-style-type: none"> •Deformaciones y agrietamiento de taludes de corte y terraplén •Remoción de derrumbes •Caídos almacenados en muros alcancía 	<ul style="list-style-type: none"> •Pendiente mínima en cortes y terraplenes 	<ul style="list-style-type: none"> •Pendiente de talud •Reducción del ancho de la superficie de rodadura por derrumbes y deslaves 	<ul style="list-style-type: none"> •Deformaciones y agrietamiento de taludes de corte y terraplén •Remoción de derrumbes •Caídos almacenados en muros alcancía
Puentes y estructuras	<ul style="list-style-type: none"> •Estructuras metálicas y de concreto •Muros de contención •Cauces •Limpieza de cauces 	<ul style="list-style-type: none"> •Parapetos y guarniciones •Superestructura •Subestructura •Terraplenes de acceso 	<ul style="list-style-type: none"> •Limpieza •Juntas •Superficie de concreto •Escurrimiento hidráulico •Cimentación •Terraplenes de acceso 	<ul style="list-style-type: none"> •Estructuras metálicas y de concreto •Muros de contención •Cauces •Limpiezas de cauces

Criterio	SCT-CPCC	SCT-PPS	SCT-CUOTA	Banobras
Drenaje	<ul style="list-style-type: none"> • Limpieza de obras de drenaje • Reparaciones • Limpieza y reparación de colectores, alcantarillas y losas de hasta 6m de claro 	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosión y envejecimiento • Reparación de grietas y fracturas • Funcionamiento hidráulico • Limpieza • Erosión • Asentamientos de la carpeta en aproches 	<ul style="list-style-type: none"> • Obstrucciones • Deterioros en la superficie de concreto hidráulico 	<ul style="list-style-type: none"> • Limpieza de obras de drenaje • Reparaciones • Limpieza y reparación de colectores, alcantarillas y losas de hasta 6m de claro
Señalización y elementos de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> • Señales verticales informativas • Señales verticales preventivas y restrictivas • Pintura de pavimento • Demarcación horizontal • Postes de kilometraje y delimitadores • Iluminación en zonas urbanas y de niebla • Defensas metálicas y barreras centrales 	<ul style="list-style-type: none"> • Señalamiento vertical • Señalamiento horizontal 	<ul style="list-style-type: none"> • Señalamiento vertical • Señalamiento horizontal 	<ul style="list-style-type: none"> • Señales verticales informativas • Señales verticales preventivas y restrictivas • Pintura de pavimento • Demarcación horizontal • Postes de kilometraje y delimitadores • Iluminación en zonas urbanas y de niebla • Defensas metálicas y barreras centrales
Funcionalidad del derecho de vía	<ul style="list-style-type: none"> • Control de vegetación tipos 1 y 2 • Control de vegetación tipo 3 • Limpieza del derecho de vías 	<ul style="list-style-type: none"> • Control de la vegetación • Limpieza del derecho de vía 	<ul style="list-style-type: none"> • Vegetación • Residuos • Propaganda 	<ul style="list-style-type: none"> • Control de vegetación tipos 1 y 3 • Limpieza del derecho de vía • Cercado del derecho de vía

Criterio	SCT-CPCC	SCT-PPS	SCT-CUOTA	Banobras
Servicio de vialidad	<ul style="list-style-type: none"> • Recorridos de verificación disponibilidad de la vía • Servicio de grúa • Servicio de ambulancia • Atención de quejas y sugerencias de usuarios 	<ul style="list-style-type: none"> • Recorridos de inspección • Servicios de comunicación • Asistencia mecánica • Asistencia médica • Información turística 	<ul style="list-style-type: none"> • Centro de control operacional • Primeros auxilios • Servicio mecánico • Servicio de comunicación 	<ul style="list-style-type: none"> • Recorridos de verificación disponibilidad de la vía • Atención de emergencias • Servicio de grúa • Servicio de ambulancia • Administración de la póliza de seguro de usuario y obra civil • Atención de quejas y sugerencias de usuarios • Servicios de comunicación
Equipo de medición	<ul style="list-style-type: none"> • No considerado 	<ul style="list-style-type: none"> • Peso en movimiento • Tránsito 	<ul style="list-style-type: none"> • Peso en movimiento • Tránsito 	<ul style="list-style-type: none"> • No considerado
Requerimientos aplicables a la revisión	<ul style="list-style-type: none"> • A ser desarrollados en función de la vida útil remanente 	<ul style="list-style-type: none"> • Considerados para todos los elementos de la carretera en función de vida útil remanente 	<ul style="list-style-type: none"> • En desarrollo. Se está considerando requerimientos relacionados con la renovación tecnológica 	

4. Principales fallas físicas que presenta una carretera.

El estado de la carretera significa conocer las buenas o malas condiciones en que se encuentra la carretera, para esto se realiza un estudio de reconocimiento por lo menos cada 2 veces al año, preferiblemente antes y después de la temporada de lluvias, de esta manera se puede identificar las fallas en el pavimento y determinar su causa de aparición. En él se debe identificar el tipo, severidad y magnitud de cada falla, así como determinar si el diseño del pavimento, la carga soportada, el agua, la temperatura, los materiales del pavimento o la construcción fueron la causa de la falla.

Además de la inspección visual, pueden emplearse pruebas destructivas y no-destructivas para determinar la condición estructural y las condiciones del material bajo la superficie del pavimento.

La importancia de poder identificar las fallas así como sus causas, es que permite desarrollar todo un conjunto de normas para establecer criterios de proyecto y conservación.

4.1 Tipos de falla.

Las causas principales por las que se deteriora o falla un pavimento son:

- Deficiencias en el diseño (Normativa, velocidad máxima de proyecto, curvas, pendiente gobernadora, selección en el tipo de pavimento, tráfico TDPA).
- Deficiencias en los materiales (Selección de banco de materiales, deficiencias en la granulometría, calidad de las emulsiones, calidad de los concretos).
- Deficiencias de construcción (Procesos constructivos, deficiencia en la elección del equipo de construcción, control de calidad).
- Deficiencias de mantenimiento (Mala elección de las estrategias, acción tardía de una estrategia).
- Efectos del tiempo y del medio ambiente (Temperaturas extremas, intemperismo, lluvias extraordinarias, fenómenos meteorológicos, sismos, derrumbes).
- Incidentes ajenos (Accidentes, explosiones y volcaduras de automóviles).

Los tipos de fallas se pueden dividir en:

- **Fallas por defectos constructivos:** se trata de pavimentos bien diseñados con materiales suficientemente resistentes, sin embargo en su construcción se producen errores o defectos que afectan el comportamiento de la estructura en conjunto.
- **Fallas por insuficiencia estructural:** se produce cuando los pavimentos son contruidos por materiales de baja resistencia o inapropiados y los espesores son insuficientes, esta combinación provoca un mecanismo de resistencia deficiente.

- **Fallas por fatiga:** se presentan en pavimentos que han tenido un buen desempeño durante su periodo de servicio y que por las continuas repeticiones de carga causadas por el tránsito sufren efectos de fatiga, degradación estructural, pérdida de resistencia y deformación acumulada.

Al igual que sus propiedades los pavimentos flexibles y rígidos sufren diferentes alteraciones, a continuación se presentan las fallas que se presentan para los dos tipos de pavimentos.

4.1.1 Deterioros en pavimentos flexibles.

Los principales deterioros que se presentan en una estructura de pavimento flexible son:

- Deterioros en la superficie.
- Deterioros en la estructura.
- Deterioros por defectos constructivos
- Otros deterioros.

A continuación se presenta cada uno de los deterioros y sus posibles causas, todo aquello acompañado de reporte fotográfico que permite tener una idea más clara de los daños que se pueden encontrar.

Deterioros en la superficie.

Desprendimientos.

a) Pérdida de agregados/Calaveras o surcos/Pérdida de la base/Bache superficial

Oquedades de varios tamaños en la capa de rodamiento por desprendimiento de mezcla asfáltica que al paso de los vehículos se va provocando el desprendimiento del material de la base.

Posibles causas:

- Esparcido irregular del asfalto.
- Asfalto inadecuado.
- Agregado pétreo inadecuado por falta de adherencia en el liga asfáltica.
- Agregado sucio, con polvo adherido.
- Lluvia durante el esparcido o antes del fraguado del asfalto.
- Falta de resistencia de la carpeta.
- Defecto de construcción (espesor deficiente).
- Drenaje inadecuado o insuficiente.
- Desintegración localizada por tránsito.



Imagen 4.1 Pérdida de agregados/Pérdida de la base/Bache superficial.

b) Desprendimiento de agregados.

Pequeñas depresiones en forma de cráter, formadas por la separación de los agregados gruesos de la carpeta asfáltica, dejando huecos en la superficie de rodamiento.

Posibles causas:

- Falta de afinidad con el asfalto.
- Escasez de asfalto.
- Expansión del agregado grueso.



Imagen 4.2 Desprendimiento de agregados.

c) **Desintegración.**

Deterioro grave de la carpeta asfáltica en pequeños fragmentos con pérdida progresiva de materiales que la componen.

Posibles causas:

- Fin de la vida útil de la carpeta asfáltica (envejecimiento y fatiga).
- Acción de tránsito intenso y pesado.
- Tendido de la carpeta en climas fríos o húmedos.
- Agregados contaminados.
- Contenido pobre de asfalto.
- Sobrecalentamiento de la mezcla.
- Compactación insuficiente.
- Presencia de arcilla en cualquiera de las capas.
- Separación de agregados y asfalto.
- Contaminación de solventes.
- Sección estructural deficiente o escasa.



Imagen 4.3 Desintegración.

d) Desprendimiento de sello/Pérdida de capa de rodadura/Peladuras.

Desintegración parcial o zonificada de la superficie de rodamiento o de tratamientos superficiales, tales como: lechadas (Slurry Seal), microcarpetas, sobrecarpetas delgadas, etc. El agregado tiende a desprenderse dejando zonas expuestas por arranque de la grava.

Posibles causas:

- Limpieza insuficiente previa al tratamiento superficial.
- Mala calidad del material asfáltico.
- Dosificación del agregado pétreo – asfalto inadecuada.
- Ejecución de trabajos en malas condiciones de clima.
- Compactación deficiente (si procede).
- Fraguado incompleto después de apertura al tránsito.
- Envejecimiento del asfalto.
- Separación de la película de liga de los agregados por humedad.



Imagen 4.4 Pérdida de capa de rodadura/Desprendimiento de sello.

Alisamientos.

a) Llorado de asfalto.

Flujo de liberación del asfalto hacia la superficie de una carpeta asfáltica, formando una película o capa peligrosa y/o ascenso del asfalto a través de grietas.

Posibles causas:

- Exceso de asfalto en la dosificación.
- Excesiva compactación.
- Temperatura de compactación muy elevada.
- Sobredosificación del riego de liga.
- Derrame de solventes.



Imagen 4.5 Llorado de asfalto.

b) Desgaste de los agregados.

Inclusión de materiales diferentes o ajenos a los especificados, los cuales pueden presentar una cara plana en la superficie reduciendo la fricción entre la carpeta y el neumático.

Posibles causas:

- Uso de áridos (agregado) suaves, como por ejemplo las calizas susceptibles al pulimiento.
- Dosificación inapropiada.
- Control de calidad pobre.
- Contaminación de bancos de agregados.

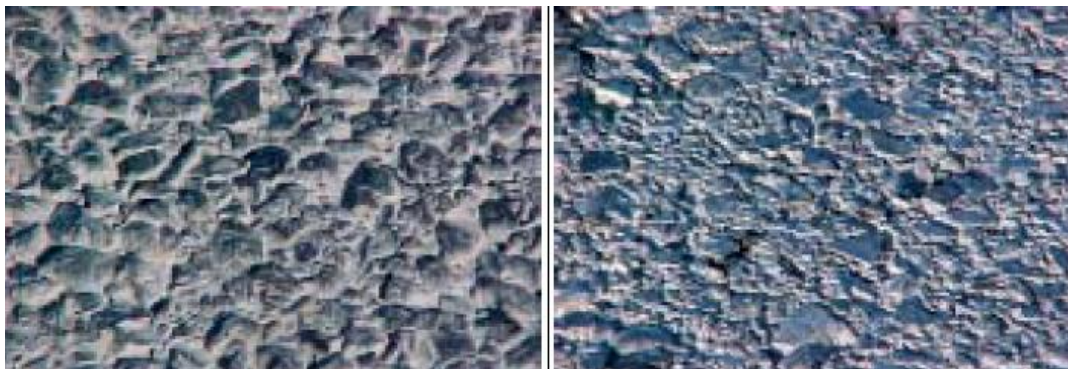


Imagen 4.6 Desgaste de los agregados.

c) Pulido de superficie.

Desgaste acelerado en la superficie de la capa de rodamiento produciendo áreas lisas.

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.

Posibles causas:

- Tránsito intenso.
- Agregado grueso de la carpeta con baja resistencia al desgaste.
- Excesiva compactación.
- Mezclas demasiado ricas en asfalto.
- Agregados no apropiados a la intensidad del tránsito.
- Hundimiento de agregado grueso en el cuerpo de la carpeta, o en la base cuando se trata de tratamientos superficiales.



Imagen 4.7 Pulido de superficie.

Expulsión de finos y afloramiento de humedad.

Corresponde a la salida de agua infiltrada, junto con materiales finos de la base por las grietas, cuando circulan sobre ellas las cargas de tránsito. La presencia de manchas o de material acumulado en la superficie cercana al borde de las grietas indica la existencia del fenómeno.

Posibles causas:

- Acumulación de agua libre en capas subyacentes.
- Exceso de finos en capas de la sección del pavimento.
- Expulsión de cemento a través de grietas, en bases estabilizadas.
- Acción de tránsito intenso.
- Ausencia o inadecuado sistema de subdrenaje.

- Zonas mal compactadas.
- Flujo capilar del agua.



Imagen 4.8 Expulsión de finos y afloramiento de humedad.

Deterioros en la Estructura.

Deformaciones.

a) Roderas o canalizaciones.

Asentamiento o deformación permanente de la carpeta asfáltica en el sentido longitudinal debajo de las huellas o rodadas de los vehículos.

Posibles causas:

- Baja estabilidad de la carpeta.
- Carpeta mal compactada.
- Consolidación de una o varias capas subyacentes.



Imagen 4.9 Roderas.

b) Ondulaciones transversales (corrugaciones).

Deformaciones de la carpeta asfáltica en el sentido perpendicular a la dirección del tránsito con crestas y valles alternados, regularmente con separación menor a 60 cm entre ellas. Generalmente están acompañadas, en los sitios críticos, por grietas semicirculares.

Posibles causas:

- Unión deficiente entre capas asfálticas y/o base.
- Estabilidad de la mezcla deficiente.
- Acción de tránsito intenso.
- Bases de mala calidad.
- Fuerzas tangenciales producto de aceleraciones y frenados de los vehículos.
- Mala calidad de los materiales de suelos de cimentación.
- Deformaciones diferenciales de suelos de cimentación que se reflejan en capas superiores.



Imagen 4.10 Ondulaciones transversales.

c) Protuberancias.

Desplazamiento del cuerpo de la carpeta asfáltica hacia la superficie, formando un montículo de considerables dimensiones.

Posibles causas:

- Acción del tránsito intenso.
- Estabilidad inadecuada.
- Compactación inadecuada.
- Deformaciones plásticas de los materiales.
- Acción de heladas.

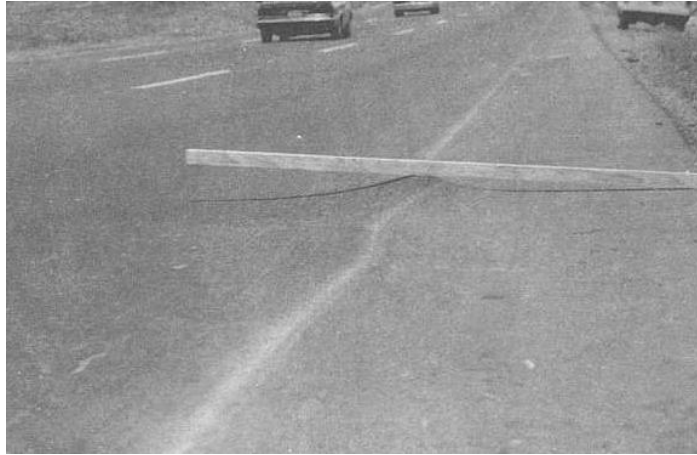


Imagen 4.11 Protuberancias.

d) Asentamientos transversales y longitudinales.

Áreas de pavimento localizadas en elevaciones más bajas que las áreas adyacentes o elevaciones de diseño, en sentido transversal o longitudinal al eje del camino.

Posibles causas:

- Deformación diferencial vertical del suelo de cimentación o de las capas que forman la estructura del pavimento.
- Cargas excesivas o superiores a las de diseño.
- Cambios volumétricos del cuerpo del terraplén.
- Compactación inadecuada.
- Procedimientos de construcción inadecuados.
- Drenaje o subdrenaje deficientes.



Imagen 4.12 Asentamientos transversales y longitudinales.

e) Desplazamiento de la sección del pavimento.

Protuberancias prolongadas de magnitud considerable en la dirección del tránsito, al borde de la carretera, causando la destrucción total en corto plazo.

Posibles causas:

- Fuertes asentamiento longitudinales.
- Falta de capacidad estructural del pavimento.
- Sobrecargas intensas.
- Nula estabilidad de la carpeta.
- Nula compactación.
- Nulo soporte lateral o confinamiento.



Imagen 4.13 Desplazamiento de la sección del pavimento.

Arietamientos

a) Grietas longitudinales y transversales.

Corresponden a fisuras en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito o transversales a él.

Posibles causas:

- Deficiencias en las juntas de construcción longitudinal y/o transversal.
- Reflejo de grietas en capas subyacentes.
- Asentamiento de capas a causa del tránsito.

- Espesor insuficiente de la carpeta.
- Drenaje insuficiente.
- Fatiga de la estructura.



Imagen 4.14 Grietas longitudinales y transversales.

b) Piel de cocodrilo.

Fisuras en la superficie de la carpeta asfáltica, formando un patrón regular con polígonos hasta de 20 cm. Las aberturas de las grietas van aumentando conforme avanza el deterioro y generalmente presenta un hundimiento el área afectada.

Este tipo de daño no es común en carpetas asfálticas colocadas sobre pavimentos de concreto hidráulico.

Posibles Causas:

- Soporte inadecuado de la base.
- Debilidad de la estructura del pavimento.
- Fuertes solicitaciones de tránsito.
- Fatiga.
- Envejecimiento.
- Espesor de estructura insuficiente.



Imagen 4.15 Piel de cocodrilo.

c) Grietas tipo mapa

Forma de desintegración de la superficie de rodamiento, en la cual el agrietamiento se desarrolla en un patrón semejante a las subdivisiones políticas de un mapa, con polígonos mayores a 20 cm.



Imagen 4.16 Grietas tipo mapa.

d) Grietas parabólicas

Grietas con forma de parábola o de media luna que se forman en la carpeta asfáltica en la dirección del tránsito.

Posibles causas

- Carpeta asfáltica débil.
- Zonas de frenado de las ruedas.
- Efecto en el arranque de las ruedas.
- Mezcla inestable.



Imagen 4.17 Grietas parabólicas.

e) Grietas de reflexión.

Grietas longitudinales y transversales que reflejan exactamente el patrón de agrietamiento o de juntas de un pavimento existente cuando es reencarpetado con concreto asfáltico.

Posibles causas:

- Movimiento del pavimento subyacente.
- Liga inadecuada entre capas.
- Posibles contracciones de la capa subyacente.
- Generadas por el movimiento de las juntas entre placas de pavimento rígido o de los bloques formados por las grietas existentes en éste, debido a los cambios de temperatura y de humedad.



Imagen 4.18 Grietas de reflexión.

f) Grietas en zig-zag.

Agrietamiento en desorden de la carpeta asfáltica, siguiendo patrones longitudinales en forma de zig-zag.

Posibles causas:

- Acción del hielo.
- Cambios extremos de temperatura.
- Base defectuosa.
- Terraplenes con taludes inestables.



Imagen 4.19 Grietas en zig-zag.

Deterioros por defectos constructivos.

Deterioros que se producen por defectos en la construcción de instalaciones, red de servicios (agua, gas, etc.) bajo los pavimentos o en la reparación de la estructura del pavimento. Siguen un patrón bien definido en concordancia con la instalación. Se muestran como hundimientos localizados, grietas longitudinales o transversales, etc.

Posibles Causas:

Para las instalaciones y servicios.

- Inadecuado relleno de zanjas abiertas para colocar instalaciones o equipamientos.
- Inadecuada estructura del pavimento sobre relleno de zanjas.
- Materiales inadecuados en el relleno de zanja y en el pavimento sobre el.

Para la reparación de la estructura del pavimento.

- Procesos constructivos deficientes.
- Sólo se recubrió la zona deteriorada sin solucionar las causas que lo originaron.
- Deficiencias en las juntas.
- Mala construcción del parche (base insuficientemente compactada, mezcla asfáltica mal diseñada).



Imagen 4.20 Instalaciones y servicios.



Imagen 4.21 Reparación de la estructura del pavimento.

4.1.2 Deterioros en pavimentos rígidos.

Se presenta una descripción general de los diferentes tipos de daños que puede presentar un pavimento rígido:

- Juntas.
- Agrietamiento.
- Deterioro superficial.
- Otros deterioros.

Fallas en las juntas.

a) Deficiencias del Sellado.

Permite la acumulación de material (piedras, arenas, etc.) en las juntas o permita una significativa infiltración de agua. La acumulación de material incompresible impide el movimiento de la losa, posibilitando que se produzcan fallas, como levantamiento de juntas.

Posibles causas:

- Endurecimiento por material de sello de mala calidad, envejecimiento.
- Pérdida de adherencia con los bordes de las losas.
- Levantamiento del material de sello por efecto del tránsito y movimientos de las losas.
- Escasez o ausencia del material de sello.



Imagen 4.22 Deficiencia del sellado.

b) Despostillamiento en las juntas.

Rotura, fractura o desintegración de los bordes de las losas dentro de los 60 cm de una junta o una esquina y generalmente no se extiende más allá de esa distancia. Además no se extiende verticalmente a través de la losa sino que intersectan la junta en ángulo.

Posibles causas:

- Excesivas tensiones en las juntas ocasionadas por las cargas del tránsito y/o por infiltración de materiales incompresibles.
- Debilidad del concreto de los bordes de la junta debido a un sobre acabado.
- Deficiente diseño y/o construcción de los sistemas de transferencia de carga de la junta.

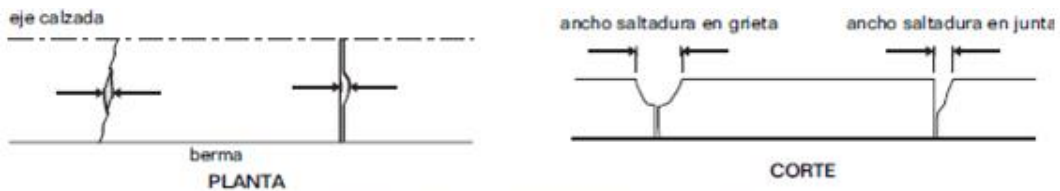


Imagen 4.23 Juntas saltadas o despostilladas.

c) Separación de la junta longitudinal.

Corresponde a una abertura de la junta longitudinal del pavimento. Este tipo de daño se presenta en todos los tipos de pavimentos rígidos.

Posibles causas:

- Contracción o expansión diferencial de losas debido a la ausencia de barras de anclajes entre carriles adyacentes.
- Desplazamiento lateral de las losas motivado por un asentamiento diferencial en la subrasante.
- Ausencia de bermas.

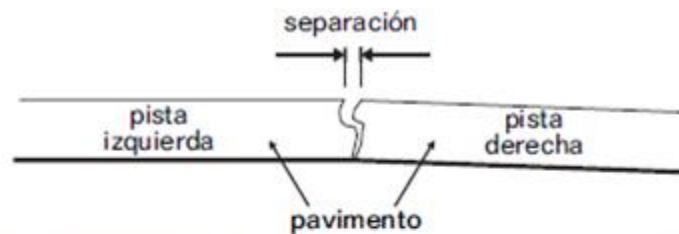


Imagen 4.24 Separación de la junta longitudinal.

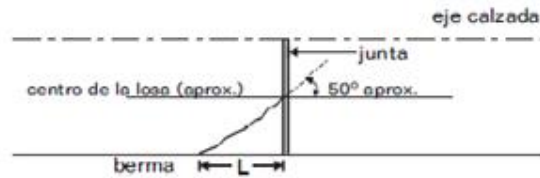
Fallas por agrietamiento

a) Grietas de esquina.

Es una fisura que intersecta 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:

- Repetición de cargas pesadas (fatiga del concreto) combinadas con la acción drenante, que debilita y erosiona la base.
- Sobrecargas en las esquinas.
- Deficiente transferencia de cargas a través de la junta, que favorece el que se produzcan altas deflexiones de esquina.



PLANTA



Imagen 4.25 Grietas de esquina.

b) Grietas Longitudinales.

Fisuras que se presentan de forma paralela al eje de la carretera, dividiendo la misma en dos planos.

Posibles causas:

- Repetición de cargas pesadas.
- Asentamiento de la base y/o subrasante.
- Gradientes de tensiones originados por cambios de temperatura y humedad, o por las deficiencias en la ejecución de éstas y/o sus juntas longitudinales.
- Losa de ancho excesivo.

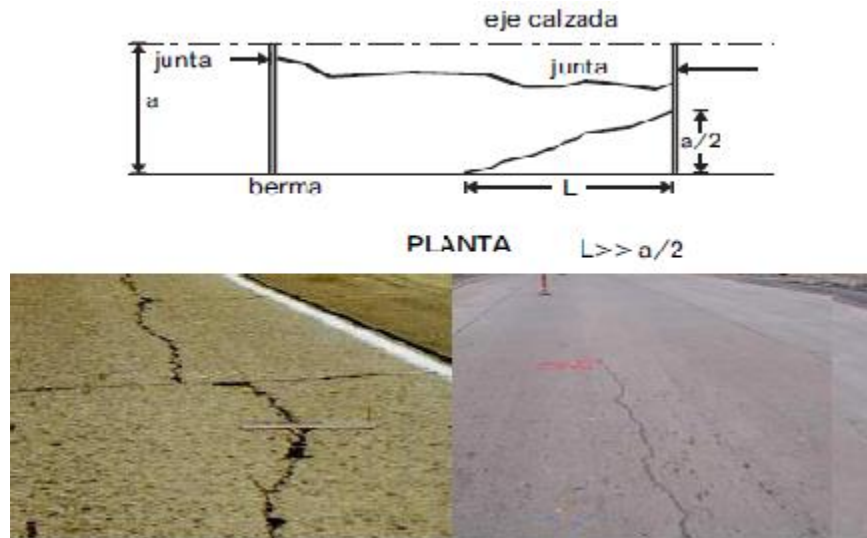


Imagen 4.26 Grietas longitudinales.

c) Grietas transversales.

Fisuras perpendiculares al eje del pavimento, o en forma diagonal a este, dividiendo la misma en dos planos, regularmente distribuidas o próximas al centro de las losas.

Posibles Causas:

Son causadas por una combinación de factores:

- Excesivas repeticiones de cargas pesadas (fatiga).
- Deficiente apoyo de las losas.
- Asentamientos de la cimentación.
- Excesiva relación longitud / ancho de la losa o deficiencias en la ejecución de éstas.
- La ausencia de juntas transversales o bien losas con una relación longitud / ancho excesivos.
- Variaciones significativas en el espesor de las losas también provocan fisuras transversales.

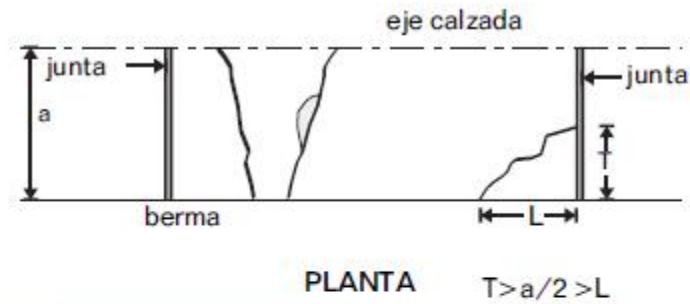


Imagen 4.27 Grietas transversales.

d) Grietas en bloque.

Fracturas que subdividen generalmente una porción de la losa en planos o bloques pequeños de área inferior a 1 metro cuadrado. El tránsito y el continuo deflexionar de los planos aceleran la subdivisión en bloques más pequeños, favoreciendo el despostillamiento de sus bordes.

De no tomarse medidas correctivas el deterioro progresa formando a corto plazo un bache.

Posibles causas:

- Fatiga del concreto.
- Diseño estructural deficiente.



Imagen 4.28 Grietas en bloque.

e) **Grietas inducidas.**

Es el conjunto de fisuras (grietas) de forma errática cuyo desarrollo en el pavimento es indicado por factores relativos a una inadecuada distribución de juntas o inapropiada inserción de estructuras u otros elementos dentro de las losas.

Posibles causas

Cuando el arreglo de juntas en un carril no es respetado en el carril contiguo, es muy probable que induzcan o reflejen en éste, fisuras que den continuidad a las juntas existentes. Esta situación se presenta también con frecuencia cuando se ejecutan parchados y el diseño de sus bordes o juntas, sus dimensionamientos o inclusive distancias mínimas o juntas existentes, no son respetadas; eventualmente las grietas pueden continuar subdividiendo los planos resultantes hasta transformarse en "Fisuras (grietas) en Bloques".



Imagen 4.29 Grietas inducidas.

Deterioro superficial

a) **Desintegración.**

Progresiva desintegración de la superficie del pavimento perdiéndose primero la textura y posteriormente el mortero, provocando una superficie de rodamiento rugosa y eventualmente pequeñas cavidades.

Posibles causas:

- Son causadas por el efecto abrasivo del tránsito sobre las losas de concreto de pobre calidad, ya sea por el empleo de dosificaciones inadecuadas (bajo contenido de cemento, exceso de agua, agregados de inapropiada granulometría).
- Deficiencias durante su ejecución (segregación de la mezcla, insuficiente densificación, curado defectuoso, etc.).



Imagen 4.30 Desintegración.

b) Baches.

Descomposición o desintegración de la losa de concreto y su remoción en una cierta área, formando una cavidad de bordes irregulares.

Posibles causas:

- Se producen por conjunción de varias causas: capas inferiores inestables; espesores del pavimento estructuralmente insuficientes; defectos constructivos; retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas.
- La acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento o sobre áreas en las que se han desarrollado fisuras (grietas) en bloque, que han alcanzado un alto nivel de severidad, provoca la desintegración y posterior remoción de parte de la superficie del pavimento, originando un bache.



Imagen 4.31 Bache.

c) Descascaramiento y fisuras capilares.

El descascaramiento es la rotura de la losa hasta una profundidad del orden de 5 a 15 mm, por desprendimiento de pequeños trozos de concreto.

Las fisuras capilares se refieren a una malla o red de fisuras superficiales muy finas, que se extiende solo a la superficie del concreto. Las mismas que tienden a intersectarse en ángulos de 120°.

Posibles causas:

- Las fisuras capilares generalmente son consecuencia de un exceso de acabado del concreto fresco colocado, produciendo la exudación del mortero y agua, dando lugar a que la superficie del concreto resulte muy débil frente a la retracción.
- Pueden evolucionar en muchos casos por efecto del tránsito, dando origen al descascaramiento de la superficie, posibilitando un desconchado que progresa tanto en profundidad como en área.
- También pueden observarse manifestaciones de descascaramiento en pavimentos de concreto armado, cuando las armaduras se colocan muy próximas a la superficie.



Imagen 4.32 Descascaramiento y fisuras capilares.

d) Pulimiento de la superficie.

Superficie de rodamiento excesivamente lisa por efecto del pulimiento de los agregados que la componen.

Posibles causas:

- Causada principalmente por el tránsito que produce el desgaste superficial de los agregados de naturaleza degradable, particularmente cuando el concreto es de calidad pobre y favorece la exposición de los mismos.

Cuando el agregado en la superficie llega a ser muy suave al tacto, la adherencia con las llantas de los vehículos se reduce considerablemente. La reducción de la fricción o resistencia al deslizamiento, puede alcanzar niveles de riesgo para la seguridad del tránsito.



Imagen 4.33 Pulimiento de la superficie.

e) Peladuras.

Progresiva desintegración de la superficie del pavimento por pérdida de material fino desprendido de la mezcla arena-cemento del concreto, provocando una superficie de rodamiento rugosa y eventualmente pequeñas cavidades.

Posibles causas:

- Efecto abrasivo del tránsito sobre concretos de calidad pobre, ya sea por el empleo de dosificaciones inadecuadas (bajo contenido de cemento, exceso de agua, agregados de inapropiada granulometría), o bien por deficiencias durante su ejecución (segregación de la mezcla, insuficiente densificación, curado defectuoso, etc.).



Imagen 4.34 Peladuras.

f) Levantamiento.

Sobre-elevación abrupta de la superficie del pavimento, localizada generalmente en zonas contiguas a una junta o fisura transversal. Generalmente el concreto afectado se quiebra en varios trozos.

Posibles causas:

- Variaciones térmicas cuando la longitud de las losas es excesiva y no cuenta con juntas de expansión. 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 adyacentes a las juntas, acompañados generalmente por la rotura de estas losas.
- Mala colocación del armado.
- Presencia de un estrato de suelos expansivos a poca profundidad.

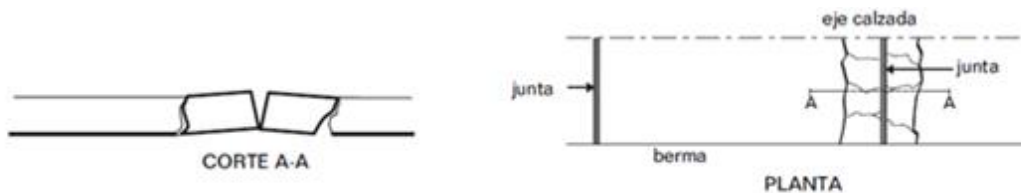


Imagen 4.35 Levantamiento.

g) Escalonamiento de juntas y grietas.

Desnivel entre dos superficies del pavimento, separadas por una junta transversal o grieta.

Posibles causas:

- Es el resultado en parte del ascenso a través de la junta o grieta del material suelto proveniente de la capa inferior de la losa (en sentido de la circulación del tránsito) como también por depresión del extremo de la losa posterior, al disminuir el soporte de la cimentación.
- Cambios de volumen que sufren los suelos bajo la losa de concreto y de una deficiente transferencia de carga entre juntas.
- Drenaje insuficiente.

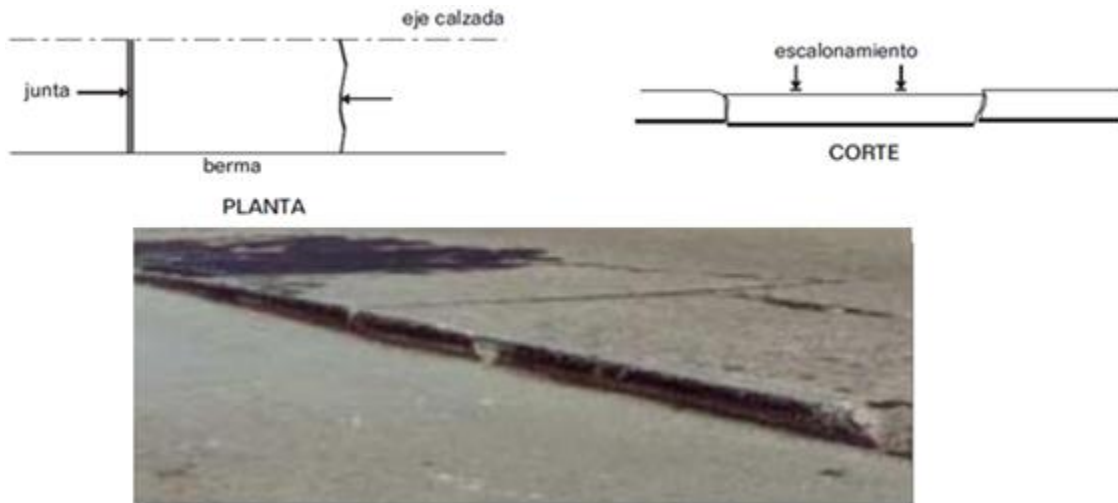


Imagen 4.36 Escalonamiento de juntas y grietas.

h) Afloramiento de finos.

Es la expulsión de finos a través de las juntas o fisuras, ésta expulsión (en presencia de agua) se presenta por la deflexión que sufre la losa ante el paso de cargas. Al expulsar agua esta arrastra partículas de grava, arena, arcillas o limos generando la pérdida del soporte de las losas de concreto. El bombeo se puede evidenciar por el material que aparece tanto en juntas y fisuras de la losa como en la superficie del pavimento.

Posibles causas:

- Presencia de agua superficial que penetra entre la base y la losa de concreto.
- Tráfico de vehículos pesados frecuente.
- Transmisión inadecuada de cargas entre losas.



Imagen 4.37 Afloramiento de finos.

Otros deterioros.

a) Descenso de la berma.

Corresponde a una diferencia de elevación entre la calzada y la berma, debido a un desplazamiento de la berma. Permite la infiltración de agua hacia el interior de la estructura del pavimento, provocando su deterioro.

Posibles Causas:

- Generalmente está relacionada a problemas de inestabilidad de los taludes aledaños.
- Asentamiento de la berma por compactación insuficiente.
- Por la ausencia de liga entre la calzada y la berma cuando se construyen por separado.

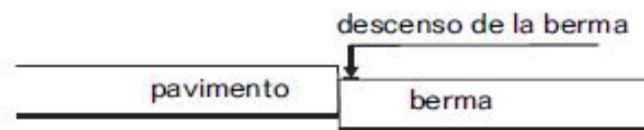


Imagen 4.38 Descenso de la berma.

c) Separación entre berma y pavimento.

Abertura en la línea de contacto entre la cara externa del borde del pavimento y la berma o entre el pavimento y un elemento de drenaje (cuneta, solera, etc.).

Posibles causas:

- Compactación insuficiente en la cara lateral del pavimento.
- Escurrimiento de agua sobre la berma cuando existe un desnivel entre ella y el pavimento.



Imagen 4.39 Separación entre berma y pavimento.

b) Crecimiento de hierba en la carpeta, cunetas y alcantarillas.

Hierba que crece a través de las fisuras erosionando y destruyendo una parte de la carpeta, invade alcantarillas y cunetas obstruyendo parcial o totalmente el libre flujo del agua y el señalamiento geométrico.

Posibles causas:

- Drenaje superficial deficiente.
- Labores de conservación inadecuados.
- Falta de sellado de las grietas.



Imagen 4.40 Crecimiento de hierba en la carpeta y cunetas.

c) Azolve en el drenaje superficial

Arrastre de material suelto, que por falta de conservación periódica, tapa o azolve el drenaje superficial, afectando el comportamiento de la sección del pavimento.

Posible causa:

- Descuido y falta de oportunidad en el mantenimiento preventivo de un camino.



Imagen 4.41 Azolve en el drenaje superficial.

d) Efectos de sismos, ciclones, derrumbes.

Deterioros causados por eventos extraordinarios como la acción del medio ambiente, las cuáles algunas veces son imposibles de predecir, sin embargo es de vital importancia tomarlas en cuenta por parte del contratista.



Imagen 4.42 Efectos de sismos, huracanes y derrumbes.

e) Levantamiento por congelación.

Desplazamiento diferencial que produce desintegración parcial o total de las capas del pavimento.

Posibles causas:

- Acción de heladas.
- Ciclos de congelamiento y descongelamiento.
- Expansión localizada de capas inferiores.
- Expansión localizada de alguna porción de la sección estructural del pavimento.



Imagen 4.43 Desprendimiento por congelación.

5. La Conservación de Carreteras

Durante muchos años no se le dio la importancia necesaria al cuidado del sistema carretero, lo cual provocaba que los procesos de reconstrucción de la carretera al paso de los años fueran sumamente costosos. A comienzo de la década de los 90's se han impulsado nuevos esquemas de financiamiento (público-privado) para la contratación del mantenimiento de las carreteras, en primera parte las concesiones, los Proyectos de Prestación de Servicios y recientemente los Contratos Plurianuales para la Conservación de Carreteras, para el beneficio de los usuarios. La gran ventaja que se alcanzó con la intervención del capital privado fue el de proporcionar un continuo mantenimiento para que la carretera conserve una capacidad de servicio aceptable durante su vida útil, que incluye costos de transporte (consumo de combustible y desgaste de vehículos), rapidez, seguridad y confort.

Debido a las condiciones que tienen actualmente las carreteras en México, se necesita de procesos de mantenimiento para conservar su estado de servicio para el usuario. Estos distintos métodos se utilizan con base al nivel de deterioro del tramo carretero.

5.1 La visión del mantenimiento y conservación

El mantenimiento o conservación de carreteras hoy en día es de gran interés y preocupación, ya que las carreteras son generadoras de una gran parte de la actividad económica del país.

Como se ha mencionado la conservación apropiada en el momento que se requiera ayuda a la de contribuir o retardar el deterioro y prolongar la duración de vida de una carretera para lograr un mayor beneficio económico.

La conservación o mantenimiento consiste en un conjunto de actividades regulares enfocadas a preservar los componentes de una carretera en las mismas condiciones en que fueron construidos, como por ejemplo; la superficie de rodamiento, taludes, acotamiento, drenajes, etc. Estos trabajos se pueden realizar de manera rutinaria o periódica o si lo requiere el estado de la carretera se harán trabajos de reconstrucción. Es importante resaltar que en este trabajo se le dará un mayor énfasis a la conservación de la superficie de rodamiento, sin embargo también se mencionarán los otros elementos de la carretera.

En ocasiones se puede llegar a confundir los términos de conservación y mantenimiento, lo cual es importante aclarar ya que las empresas utilizan diferente terminología para referirse a los trabajos que se van a realizar en las carreteras, es decir, la SCT la cual se encarga de la operación y conservación de las carreteras libre de peaje se refiere a las actividades como conservación (rutinaria, periódica, reconstrucción de tramos), mientras que las empresas que operan y conservan las carreteras de cuota las nombran como mantenimiento (mayor, menor).

Así se puede concluir que la terminología usada dependerá de un aspecto político referente al tipo de proyecto y contrato a los que se hagan referencia.

Por eso es importante señalar que en esta tesis se utilizarán los términos de la SCT, es decir, cuando se mencione la conservación periódica y rutinaria se refiere al mantenimiento menor, mientras que el término de reconstrucción/rehabilitación por tramos se entenderá como el mantenimiento mayor.

5.2 Trabajos de Conservación.

Los pavimentos con el transcurso del tiempo sufren una serie de fallas o deterioros, que al manifestarse en la superficie de rodamiento disminuyen su capacidad para proporcionar un tránsito cómodo y seguro al usuario. Como se describió en el capítulo anterior (4), existen diferentes tipos de fallas las cuales pueden ser causadas por diversos factores que se van presentando a lo largo de su vida útil.

Los trabajos de conservación son acciones preventivas y correctivas para mantener los elementos e instalaciones que integran a una carretera (obras de drenaje, pavimentos, señalizaciones, puentes, túneles), el objetivo principal de estos trabajos es mantener los estándares de desempeño iguales o muy parecidos a los de su estado original cuando son construidos para que sigan brindando confort y seguridad al usuario.

De todos los elementos que constituyen una carretera, la superficie de rodamiento es la que más influye en un tránsito rápido, cómodo y seguro, por lo tanto es importante corregir oportunamente sus deterioros para evitar que progresen y obliguen a una reconstrucción, elevando el costo del mantenimiento. Por ello, en este capítulo se le dará un mayor énfasis a los trabajos que se realizan en la conservación de pavimentos.

Algunas consideraciones generales para cualquier actividad de conservación que se toman en cuenta:

- Antes de iniciar cualquier trabajo, el Contratista de Obra debe instalar los dispositivos y señales de seguridad que se requieran y los bandereros (por lo menos 4). Las especificaciones se encuentran en la Norma N-PRY-CAR-10-03-001, *“Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos para Protección en Obras”*.
- Las especificaciones de los materiales que se utilicen en la realización de los diferentes trabajos de conservación se encuentran en las Normas N-CTM *“Características de los materiales”*. Si el proyecto indica otras especificaciones de materiales, estos pueden cambiarse siempre y cuando todo sea aprobado por la Secretaría.

- El equipo que se utilice para cualquier trabajo de conservación debe de ser el adecuado, estar en buenas condiciones de operación para obtener la calidad de los trabajos especificada en cada proyecto o especificada por la Secretaría.
- Un aspecto muy importante a tomar en cuenta durante la ejecución de los trabajos de conservación es la condición climática que se presente. No se recomienda realizar los trabajos si las condiciones climáticas son adversas, por ejemplo: si está lloviendo, nevando, si hay temperaturas extremas, etc.
- Durante los procesos de conservación, el Contratista de Obra debe tomar las precauciones necesarias para evitar la contaminación del aire, los suelos, el agua, la flora y la fauna, sujetándose a las leyes y reglamentos de protección ecológica vigentes.
- Si el encargado de realizar los trabajos de conservación no cumple con la calidad de los materiales, no coloca dispositivos y señalamientos adecuados, los equipos están en mal estado, no toma las medidas necesarias de prevención contra el clima y por estas causas las obras se retrasan o son afectadas, los gastos extras serán por cuenta del encargado de la ejecución de los trabajos.
- La forma de pago de los trabajos dependen del tipo de contrato de cada proyecto.
- Para que cualquier trabajo de conservación pueda llevarse a cabo es muy importante que se estudie y analice, con el apoyo de un laboratorio (si es necesario), la causa de la falla a fin de efectuar la corrección adecuada para garantizar que la deformación no vuelva a presentarse.

A continuación se da una definición de cada trabajo así como una descripción general del procedimiento que se debe realizar en la conservación de los pavimentos.

5.2.1 Conservación Rutinaria.

La conservación rutinaria corrige fallas o deterioros en los pavimentos que son originados por la repetición continua de cargas y por agentes climáticos y que al manifestarse en la superficie de rodamiento disminuyen el nivel óptimo de operación de las carreteras. Considerando que de todos los elementos que componen un camino, la superficie de rodamiento es la que brinda la posibilidad de un tránsito económico, rápido, seguro y cómodo, es muy importante, en beneficio del usuario, corregir rápidamente los daños con acciones de mantenimiento menor y con ello evitar además que progresen y obliguen a realizar acciones de reconstrucción o rehabilitación más costosas.

Los trabajos más comunes son: Bacheo y calavereo, calafateo de grietas, desazolve de drenaje, limpieza de cunetas y corte de la hierba al costado del camino, limpieza, reparación y reposición de señalamiento, pintura y aplicación de microesfera.

Pavimentos

- Sellado de grietas aisladas en carpetas asfálticas y de concreto.

La presencia de grietas en una carretera por lo general son asociadas a fallas causadas por cualquiera de los elementos de la estructura del pavimento o de los materiales subyacentes, y no es posible dar un valor numérico que indique cuando se deben realizar las correcciones mediante trabajos de conservación, y cuando debe efectuarse una reconstrucción, sin embargo como norma puede establecerse que siempre que se presente agrietamiento en un pavimento se debe realizar la reparación inmediata para evitar que la falla progrese y puedan presentarse deterioros mayores en el pavimento, independientemente de efectuar los estudios necesarios para determinar si es la causa de una falla, para en ese caso localizarla y suprimirla.

Los trabajos de reparación consisten en actividades necesarias para sellar grietas, que se manifiesten en forma aislada en las carpetas asfálticas y de concreto, con el propósito de prevenir la entrada de cuerpos extraños y del agua proveniente de escurrimientos superficiales, hacia las capas inferiores que integran la estructura del pavimento, evitando así la consecuente pérdida de resistencia, así como la degradación o deterioro de dicha estructura o de la grieta, debido a la concentración de esfuerzos.

PROCEDIMIENTO

Los materiales que se utilicen para el sellado de grietas en carpetas asfálticas pueden ser morteros, materiales asfálticos o productos especiales, que cumplan con las características de viscosidad, resistencia, adhesión, flexibilidad, elasticidad y durabilidad entre otras. Se utiliza equipo como unidades de agua a presión (pipas), compresores de aire, etc.

Cuando se utilicen cementos asfálticos, se calentarán para que tengan una temperatura de aplicación mínima de 140° Celsius y cuando se use mortero con cemento Pórtland o asfáltico este debe tener una dosificación que cumpla con la calidad indicada en el proyecto.

Para la aplicación, se emplea el equipo para la inyección del material de sellado que tenga boquillas cuyas dimensiones sean congruentes con la abertura de las grietas por tratar; la aplicación del material debe hacerse distribuyéndolo en toda la extensión de la grieta, evitando al máximo excederse en la cantidad aplicada. Los excedentes del material vertido se eliminan, utilizando rasquetas o enrasadores, provistos de allanadores de goma o de neopreno.

Una vez aplicado el producto, se debe evitar el tránsito vehicular sobre la superficie recién tratada, hasta que el material de sellado haya fraguado, para evitar que sea desprendido.

Al concluir el sellado de la grieta, la superficie de rodamiento debe presentar una textura uniforme, sin rebordes que impidan el libre escurrimiento superficial del agua sobre la carpeta.



Imagen 5.1 Sellado de grietas.

- *Bacheo Profundo y Superficial.*

Esta actividad es necesaria para reponer una porción de la carpeta asfáltica con daños como oquedades por desprendimiento o desintegración inicial de los agregados, en zonas puntuales y relativamente pequeñas, cuando la base se encuentra en condiciones estables y sin exceso de agua. Se llama bacheo aislado cuando las áreas afectadas tienen una extensión menor de 100 m², por cada 7,000 m² de pavimento.

Los baches que se presentan sobre la superficie de rodamiento son considerados como superficiales cuando no afectan las capas consecutivas del pavimento o no existe desprendimiento excesivo de la capa superior, de lo contrario estaremos hablando de bacheo profundo.

Las mezclas que se utilicen para la reparación cumplirán las normas de calidad establecidas en cuanto a granulometrías, temperaturas y contenido de asfalto.

PROCEDIMIENTO

Al iniciar el bacheo se delimitarán las áreas por reparar de forma rectangular con dos de sus lados perpendiculares al eje de la carretera, con un margen de 30 cm desde el límite de la demarcación hasta las partes afectadas.

Se efectuará el corte perimetral de las áreas marcadas en la carpeta, con una máquina cortadora de disco con la capacidad necesaria para ejecutar los cortes en todo el espesor de la carpeta, para que las paredes de la excavación sean verticales y evitar daños a la carpeta en buen estado.

Los residuos producto de la remoción de la carpeta dañada se cargarán y transportarán al banco de desperdicios en vehículos con cajas cerradas y protegidos con lonas.

Si es necesario, la superficie descubierta de la base existente se recompactará, hasta alcanzar un grado de compactación mínimo del 100 %.

Se aplicará un riego asfáltico ligero y uniforme con una emulsión de rompimiento rápido (ECR-60), utilizando una petrolizadora que mantenga una temperatura constante y un flujo uniforme del material sobre la superficie, en anchos variables y en dosificaciones controladas. La compactación se realiza con un compactador de rodillo y de palanca, se iniciará cuando su temperatura sea de 100° Celsius como mínimo, hasta alcanzar el mismo nivel que el resto de la carpeta. La superficie del bache tratado debe quedar limpia, presentar una textura y acabado uniformes.



Imagen 5.2 Reparación del bacheo superficial.

Obras de Drenaje y Subdrenaje.

Las acciones a realizar para la conservación de la vía, se clasifican de acuerdo a los elementos que la integran. La SCT recomienda un tratamiento muy generalizado para la limpieza de los diferentes elementos del sistema de drenaje:

Limpieza de Cunetas y Contracunetas.

Limpieza de Canales.

Limpieza de Alcantarillas.

Limpieza de Colectores.

Limpieza de Lavaderos.

Limpieza de Registro.

Limpieza de Subdrenes.

Limpieza de Vados.

Limpiezas de Obras de Especiales de Control y Protección.

Estos trabajos se efectúan retirando toda la materia extraña que hubiere en los elementos, como tierra, piedras, hierbas u otra. El material removido se deposita dentro del derecho de vía, donde no pueda ser arrastrado nuevamente por las aguas hacia el camino, o alcantarillas; y se debe cuidar que al término de la limpieza, la sección transversal y la pendiente garanticen el libre escurrimiento del agua, utilizando para la realización de estas actividades equipo, herramienta y mano de obra necesaria para dar cumplimiento a lo solicitado en los estándares de desempeño del paquete carretero en cuestión.

Los trabajos de limpieza en obras especiales de control y protección consisten en actividades que se efectúan para retirar azolve, vegetación, basura, fragmentos de roca y todo material que se acumule en estos elementos de drenaje, con el propósito de restituir su capacidad y eficiencia hidráulica. Las obras especiales de control y protección son muros, zampeados, dentellones, cajas disipadoras de energía; colocación de materiales de alta rugosidad, rejillas, espigones, protecciones marginales y cajas desarenadoras.



Imagen 5.3 Limpieza de cunetas.



Imagen 5.4 Desazolve de canales de entrada y salida en obras de drenaje.



Imagen 5.5 Desazolve de contracunetas.

Puentes y Estructuras.

- *Limpieza en juntas de dilatación, parapetos, banquetas y camellones, estribos, pilas, columnas y aleros.*

Estas labores se llevan a cabo para retirar rocas, vegetación, basura y todo material que se acumule en los elementos que componen la estructura del puente garantizando su funcionalidad, para el caso de las juntas de dilatación se realiza con el propósito de evitar que se generen esfuerzos en ellas, evitando grietas y fisuras.

Los materiales sólidos que se encuentren incrustados en las juntas se retiran con medios manuales, así como rocas y basura que se encuentren dentro de las juntas, utilizando escobas y herramientas o material que no se comporte de forma agresiva con la estructura y elementos que la componen.

Para los fluidos productos de derrames de combustibles, solventes, lubricantes o cualquier otra sustancia líquida o semilíquida, vertidos accidentalmente dentro de las juntas, se eliminan por bombeo y materiales absorbentes.



Imagen 5.6 Limpieza en juntas de dilatación, parapetos, banquetas y camellones.

- *Limpieza de drenes.*

Es para retirar azolve y todo material que se acumule en estos elementos de drenaje, con el propósito de restituir su eficiencia hidráulica y evitar encharcamientos en la superficie de rodadura del puente, los tipos drenes a limpiar son:

Drenes de piso: son aquellos formados por un orificio en la losa.

Drenes de tubo: son aquellos formados por un tubo con extensión, colocado en la losa de la superestructura.

Bajadas pluviales: consisten en una extensión del dren de tubo, colocada para alejar la descarga de agua pluvial de los elementos de la subestructura o vialidad inferior, en su caso.

Túneles

- *Impermeabilización de revestimientos.*

Se realizan para tapar las porosidades y fisuras que se presenten en el revestimiento de un túnel, por defectos de colado o de consolidación del concreto hidráulico, por esfuerzos de tensión o en juntas frías, con el propósito de evitar las humedades perceptibles al tacto sin que se aprecie un escurrimiento, que se observan como manchas de diferente tonalidad, debida a la presencia de agua en los poros del revestimiento, así como filtraciones ligeras con apariencia brillante en la superficie y escurrimiento apenas perceptible, que se producen por el flujo de agua del subsuelo hacia el interior del túnel.

El equipo y materiales que se utilicen para la impermeabilización de revestimientos de túneles, será el adecuado para obtener la calidad especificada por la Entidad.

- *Limpieza de Paredes y Bóvedas.*

Conjunto de operaciones para retirar el hollín, grasa, polvo, material vegetal y todo material que se acumule en las paredes y bóvedas de un túnel, con el fin de mantenerlas limpias o para preparar sus superficies para recibir algún tipo de recubrimiento.

Se deben evitar el uso de sustancias agresivas que dañen de cualquier forma las paredes y bóvedas, la superficie de rodamiento o cualquier otro elemento del túnel, tales como solventes, combustibles o lubricantes.

Señalamiento y Dispositivos de Seguridad.

- *Reposición de marcas en pavimento, guarniciones, estructuras y objetos adyacentes a la superficie de rodadura.*

Son trabajos para reponer las marcas del señalamiento horizontal sobre el pavimento, y tener la carretera en condiciones óptimas de seguridad en lo que a señalamiento se refiere como por ejemplo:

- Rayas, símbolos o letras, que se aplican con pintura convencional o termo plástica, o bien pueden estar formadas por materiales plásticos preformados, adheridos a la superficie de pavimento utilizando adhesivos.
- Guarniciones, las cuales se delinear pintando tanto su cara vertical como la horizontal, utilizando normalmente pintura convencional.
- Estructuras y objetos adyacentes a la superficie de rodadura, delineando los señalamientos al pintarlos en su cara normal al tránsito.

Los equipos que se utilicen para la reposición de las marcas serán los adecuados para obtener la calidad especificada en el proyecto o por la Secretaría. Siendo el contratista el responsable de los equipos.



Imagen 5.6 Reposición de bordillo.

- *Limpieza de vialetas y botones, señales verticales, defensas y barreras centrales.*

Conjunto de actividades para retirar todo material que se acumule en estos elementos de señalamiento, con el propósito de restituir su visibilidad y capacidad de retrorreflexión.

Se debe evitar el uso de sustancias agresivas que dañen de cualquier forma los elementos así como la superficie de rodadura del pavimento, tales como solventes fuertes, combustibles o lubricantes. El material y el equipo para realizar este tratamiento deberán de cumplir con la normativa propuesta por la Secretaría.



Imagen 5.7 Limpieza de señales verticales.



Imagen 5.8 Limpieza de defensas.

5.2.2 Conservación Periódica

Se denomina conservación periódica a todas las obras de rehabilitación que en forma periódica o eventual son necesarias para que en un camino ofrezca las condiciones adecuadas de servicio.

Las actividades principales que constituyen la conservación periódica son: recuperación de pavimentos, nivelación, tratamientos superficiales, bacheo, reconstrucción de terraplenes, rehabilitación de bases, reconstrucción de carpetas, riegos de sello, restitución de señalamiento horizontal y obras de prevención de derrumbes.

Estos trabajos resultan necesarios debido al desgaste causado a través del tiempo por el tráfico vehicular y la erosión natural de las carreteras. Generalmente son obras de volúmenes considerables a cargo de contratistas privados, razón por la cual resulta necesario efectuar la mejor planeación posible que coordine, controle y programe la ejecución de los trabajos de acuerdo con los niveles de inversión, la disponibilidad de fondos y las prioridades establecidas por la estrategia para conservar y reconstruir la red.

Pavimentos

- Nivelación

Esta actividad se realiza principalmente para corregir deformaciones permanentes en la superficie del pavimento, como roderas, depresiones y corrugaciones, entre otras, con el propósito de restablecer las características geométricas, de drenaje superficial, de seguridad y comodidad de la carretera. La nivelación puede hacerse con mezcla asfáltica en caliente o en frío, según lo especifique el proyecto.

Para que este trabajo sea factible de emplearse en la superficie de rodadura, no debe de existir insuficiencia estructural del pavimento, agrietamientos por fatiga y las deformaciones máximas

deben de estar comprendidas entre 1 y 3.5 cm, medidas con una regla rígida con longitud mínima de tres centímetros.

Este tipo de trabajo es más común que se requiera realizar en las carpetas asfálticas debido a los tipos de fallas que se presentan en esta superficie.

PROCEDIMIENTO

Previo al inicio de los trabajos de nivelación, se realiza un levantamiento mediante una inspección visual de las deformaciones de la superficie de la carpeta que serán reparadas y se delimitan con pintura las áreas identificadas en el levantamiento de daños.

Una vez teniendo las áreas marcadas se realiza un rebaje perimetral mediante el uso de una máquina cortadora de disco sobre las áreas vecinas a los límites previamente marcados, del ancho necesario para que el espesor mínimo de la capa niveladora sea compatible con el tamaño máximo del material pétreo que se utilice.

Terminado el rebaje, se procede a picar la superficie por nivelar, empleando martillos neumáticos u otro procedimiento que no dañe la carpeta fuera del área por reparar, espaciando los orificios aproximadamente a cada 30 cm. La superficie por nivelar debe de estar exenta de basura, piedras, polvo o grasa, y si es necesario se emplea aire a presión.

Inmediatamente antes de iniciar el tendido de la mezcla, se aplica un riego asfáltico ligero con una emulsión de rompimiento rápido (ECR-60), a razón de 0,5 litros por metro cuadrado, uniforme en toda la superficie por nivelar.

La mezcla asfáltica será elaborada de acuerdo a las características del proyecto para que después se extienda con una pavimentadora autopropulsada, de tal manera que se obtenga un espesor de capa que quede ligeramente por arriba del nivel del resto de la carpeta para que cuando sea compactada la mezcla asfáltica, el pavimento quede con la sección transversal y dentro de las tolerancias establecidas en el proyecto. Sin embargo, en áreas irregulares, la mezcla asfáltica puede tenderse y terminarse a mano.

Después de colocar la mezcla asfáltica y una vez que haya perdido la humedad en exceso que pudieran tener los materiales pétreos o bien cercano al momento cuando la emulsión comience a romper, se compacta lo necesario para lograr que cumpla con las características indicadas en el proyecto, pero sin que se produzca fractura de las partículas. Por lo regular, para lograr la compactación adecuada es suficiente dar tres pasadas con compactadores de rodillo liso metálico estático, con una masa de ocho a diez toneladas o su equivalente. Durante este proceso se debe cuidar que el equipo de compactación no se estacione sobre la carpeta asfáltica recién compactada por periodos prolongados, para evitar que se produzcan deformaciones permanentes en la superficie terminada.

Al final el proceso la superficie de la capa niveladora quedará limpia, presentará una textura y acabado uniformes, con el mismo nivel que el resto de la carpeta.

Tabla 5.1 Tolerancias para líneas y niveles

Características	Tolerancia
Nivel de la superficie de la renivelación con respecto a los bordes de la carpeta que la limitan	± 0.2 cm
Pendiente transversal	± 0.50%
Profundidad de las depresiones, observadas colocando una regla de tres (3) metros de longitud, paralela y perpendicularmente al eje, máximo	0.5 cm

- *Tratamientos Superficiales de Pavimentos.*

Estos tratamientos son fundamentales en la conservación de las carreteras, porque ayudan a retardar los deterioros que presentan las vías de comunicación con el tiempo y que se van dando por distintos factores, como la acción del tránsito, las condiciones ambientales, así como por la deficiencia de los materiales que lo constituyen.

El estado óptimo de un pavimento a lo largo de su vida útil se puede lograr colocando una protección sobre la superficie, ya sea con un reencarpetado o con una sobrecarpeta que ayude al mejoramiento del pavimento teniéndose aún las condiciones de diseño en las capas inferiores.

Las técnicas de tratamientos superficiales constan de carpetas que se construyen sobre la superficie de una carpeta asfáltica o de concreto existente, mediante el tendido y compactación de una mezcla en caliente o en frío, de emulsiones y materiales pétreos. Dependiendo del tipo de carpeta que se construya será el costo y se obtendrán distintos beneficios; como por ejemplo: las carpetas del tipo *Open Grade* evitan que el agua proveniente de la lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando sus vacíos, con lo que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura, se minimiza el hidroplaneo y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal. Sin embargo todos los tratamientos superficiales tienen el propósito de restablecer o mejorar las características de comodidad y seguridad de la superficie de rodadura corrigiendo desprendimientos menores.

De acuerdo a la SCT los trabajos a realizar para dar mejoramiento al pavimento de una carretera son:

- *Capas de Rodadura de un Riego.*
- *Carpetas de Granulometría Abierta (Open Grade).*
- *Carpetas de Mortero Asfáltico /Mortero asfáltico en desprendimiento de agregados.*
- *Carpetas Asfálticas de Granulometría Densa.*

- *Capas de Rodadura de Granulometría Discontinua (SMA).*
- *Capas de Rodadura de Granulometría Discontinua (CASAA).*

Dependiendo de las distintas especificaciones en materiales, equipos y procedimientos constructivos, se realizan los trabajos mencionados. A continuación se menciona el procedimiento general para realizar el tendido de una carpeta.

EQUIPO

Pavimentadoras y Compactación.

Las pavimentadoras autopropulsadas se usan para esparcir y precompactar la capa de carpeta que se tienda, con el ancho, sección y espesor establecidos en el proyecto, incluyendo los acotamientos y zonas similares. Están equipadas con los dispositivos necesarios para un adecuado tendido de la carpeta.

Los compactadores que son utilizados en la construcción de las *carpetas de granulometría abierta (Open Grade)*, las de *granulometría densa* o las de *granulometría discontinua tipo SMA y CASAA*, son autopropulsados y reversibles. Pueden ser de tres rodillos metálicos en dos ejes, o de dos o tres ejes con rodillos en tándem, con diámetro mínimo de 1.0 m. (40 pulgadas), en todos los casos.

Para el caso de las *capas de rodadura de un riego* y las *carpetas de mortero asfáltico*, debido a su reducido espesor, se utilizan compactadores de menor capacidad.

Barredoras mecánicas.

Las barredoras mecánicas se utilizan para la limpieza de las superficies, cuentan con una escoba rotatoria con filamentos de material adecuado según la superficie por barrer.

PROCEDIMIENTO

Previo a la construcción de la carpeta, se hace un fresado de toda la superficie por cubrir y eliminar los defectos superficiales de la carpeta original. La superficie de la carpeta sobre la que se colocará, debe tener las condiciones adecuadas de drenaje transversal y longitudinal, estar exenta de materias extrañas, sin irregularidades.

Previamente se construirá un tramo de prueba con una longitud de 400 m, con la finalidad de evaluar el procedimiento y los equipos que se utilizarán, una vez compactada la carpeta del tramo de prueba, se verificará que cumpla con lo establecido.

TENDIDO DE MEZCLA

En la elaboración de la mezcla se utiliza una planta mezcladora, la cual debe tener: tolvas para almacenar los materiales pétreos, dispositivos para la dosificación de los materiales pétreos y mezcladoras para formar un material homogéneo.

Los materiales pétreos, asfálticos, de concreto y aditivos que se utilicen en la elaboración de la carpeta, se mezclan proporcionalmente para producir un material adecuado con las características establecidas en el proyecto.

Después de elaborar la mezcla, se extenderá y se conformará con una pavimentadora autopropulsada, de tal manera que se obtenga una capa de material sin compactar de espesor uniforme. Sin embargo, en áreas irregulares, la mezcla puede tenderse y terminarse a mano.

El tendido se hará en forma continua, cubriendo el ancho total del carril y utilizando un procedimiento que minimice las paradas y arranques de la mezcladora/extendedora. Por ningún motivo se permitirá el tendido de mortero que no haya sido elaborado en la mezcladora. Se evitarán las juntas longitudinales utilizando mezcladoras /extendedoras en batería.

Se debe tener cuidado que el control de espesor sea ajustado de tal manera que quede al mismo nivel de la capa previamente tendida y dentro de las tolerancias establecidas en el proyecto

Una vez tendida la mezcla, se evitará el tránsito vehicular sobre la superficie tratada, hasta que la mezcla haya fraguado suficientemente, para evitar que sea desprendida. El tiempo de fraguado se determinará de acuerdo a las condiciones climáticas, el tipo de emulsión utilizada, las proporciones de los ingredientes y el propio comportamiento de la mezcla.

Después de esparcir el material que compone a la carpeta se acomodará mediante una compactación o planchado con pasadas de un compactador ligero o pesado según sea el tratamiento y conforme a lo establecido por la SCT. Quedando una superficie limpia presentando una textura y acabado uniformes.



Imagen 5.9 Antes y después del tratamiento "Open Grade".

- *Fresado de la superficie de rodamiento.*

Este trabajo se realiza para eliminar las deformaciones superficiales en carpetas asfálticas o por una construcción deficiente de la carpeta de concreto hidráulico, retirar capas de rodadura deterioradas o losas en desnivel provocado por el paso de los vehículos, a fin de mejorar las características de comodidad, fricción y seguridad de la superficie de rodadura.

En tramos en operación, el fresado de la superficie de rodadura se tiene que efectuar en los horarios dentro de los cuales la afectación al tránsito sea mínima. Los horarios de trabajo son establecidos en las bases de licitación o aprobados por la Secretaría.

PROCEDIMIENTO

Antes de realizar el fresado sobre la superficie se delimitan los tramos que indique el proyecto. Una vez marcadas las áreas, el fresado se realiza paralelamente al eje de la carretera (a menos que el proyecto indique otra cosa), iniciando y terminando en franjas perpendiculares a dicho eje.

El fresado es continuo en tramos de 50 m o más y en todo el ancho del carril, para reducir el índice de perfil a menos de 14 cm/km e incrementar la resistencia a la fricción a un mínimo de 0.6, medida con el equipo Mu-Meter en caso de pavimentos asfálticos.

Se debe tomar en cuenta que durante el fresado no se dañen las cunetas u otras obras de drenaje, las guarniciones, zonas de la superficie de rodadura fuera del área de fresado y cualquier otra estructura. Cuando en el proyecto se indique que el fresado no se realice sobre los elementos del señalamiento horizontal, la distancia entre el límite del fresado y las rayas, botones reflejantes u otros elementos, no será menor de 8 cm. De igual forma para evitar que los residuos resultantes se escurran por los acotamientos, los carriles abiertos al tránsito, las cunetas o cualquier tipo de obra de drenaje, serán removidos y cargados en camiones de volteo.

Concluido el fresado, se deben obtener los siguientes datos:

- El índice de perfil en cada tramo fresado para cada carril de circulación, conforme a lo estipulado en el *Manual M·MMP·4·07·002, Índice de Perfil*, para verificar el cumplimiento de lo estipulado en el proyecto, por lo que el Contratista de Obra debe contar con un perfilógrafo tipo California. Este índice se mide a lo largo de una línea imaginaria ubicada a 90 ± 20 cm de la orilla exterior del carril por evaluar.
- Para pavimentos asfálticos se debe obtener la resistencia a la fricción en condiciones de pavimento mojado, en cada tramo fresado para cada carril de circulación, conforme a la norma *ASTM E 670-94 (2000)*, a una velocidad de 75 km/h, por lo menos sobre la huella de la rodada externa de cada línea de fresado. Para ello, el Contratista de Obra debe contar con un equipo Mu-Meter que cumpla con la norma mencionada, debidamente calibrado.

El acabado de las superficies fresadas debe de presentar una textura y acabado uniformes.



Imagen 5.10 Fresado de la superficie de rodamiento.

- *Reposición de losas de concreto hidráulico*

Estos trabajos se realizan para reponer losas con dos o más fracturas, o para la reposición parcial de losas con solo una fractura transversal, a fin de restablecer o mejorar las características de comodidad y seguridad de la superficie de rodadura, además de restituir la capacidad estructural del pavimento.

PROCEDIMIENTO

Primero se señalan las losas o parte de las losas por reponer. Para la demolición total o parcial de las losas por reponer, se realiza con martillos hidráulicos, neumáticos o rotomartillos manuales, a la profundidad indicada en el proyecto, cuidando de no dañar las losas contiguas. Si después de la demolición existen baches en la subbase o base deben de ser tratados y corregidos y si lo especifica el proyecto se puede cubrir con una membrana de polietileno.

Se debe tener cuidado en no permitir que los camiones, máquinas u otros vehículos, realicen maniobras que puedan dañar una losa existente o recién colada.

Una vez demolida la parte o partes que se requieren reparar, dependiendo el tipo de pavimento rígido, se realizan las actividades referentes a la reposición de pasajuntas, reparación de juntas longitudinales y el reemplazo de acero, las cuales se harán considerando los procedimientos y las especificaciones de instalación de la norma *N·CSV·CAR·3·02·010/03 Reposición Total o Parcial de Losas de Concreto Hidráulico*.

Después de realizar las correcciones y elaborar el concreto hidráulico se coloca el concreto sobre el área de reposición, la cual debe estar exenta de materias extrañas, polvo, grasa o encharcamientos y sin irregularidades, desde los vehículos de transporte o mezclado, con los cuidados necesarios para distribuir el concreto uniformemente y evitando la segregación.

Inmediatamente después del colado, el concreto hidráulico se densificará mediante vibrado, el cual se hará uniformemente en todo el volumen de la losa para impedir la generación de huecos y pérdida del contenido de aire, utilizando vibradores mecánicos.

Para el enrasado se utilizará una regla vibratoria, la cual será desplazada por el pavimento en dirección transversal a las juntas longitudinales, de tal forma que se apoye en la superficie de las losas adyacentes.

Una vez colocado y enrasado el concreto hidráulico y antes de que endurezca, se texturiza la superficie con un acabado similar a la del resto del pavimento existente. Esto se hace pasando sobre su superficie la texturizadora.

Después de terminado el texturizado, cuando el concreto empiece a perder su brillo superficial, se forma una membrana de curado utilizando un equipo de rociado que mantenga una presión constante o se coloca una película de poliestireno, para formar una membrana de curado uniforme en la superficie de la losa.

Al concluir los trabajos de reposición, la superficie de las losas debe presentar una textura uniforme, sin rebordes, especialmente en las juntas con losas adyacentes.



Imagen 5.11 Reposición de losas de concreto hidráulico.

- Reparación de desconchaduras en pavimentos de concreto hidráulico

Esta reparación consiste en reparar desconchaduras mayores de 15×4 cm en planta mediante la remoción parcial de la losa en la zona de la desconchadura, el resane y el remplazo del sello de la junta, para restablecer las características de comodidad y seguridad de la superficie de rodadura y evitar la degradación de la losa.

Es importante tomar en cuenta que este tipo de reparaciones es conveniente sólo cuando el daño se presenta en el tercio superior de la losa y no debe realizarse cuando el deterioro sea más profundo o haya sido causado por la mala alineación de las pasajuntas.

PROCEDIMIENTO

Antes de comenzar los trabajos de reparación se tiene que delimitar la zona dañada de tal forma que la desconchadura quede inscrita en un área rectangular, como se muestra en la Figura?, si el daño se presenta en más de la mitad de la longitud de la losa la reparación se hará en toda su longitud.

Marcada el área de trabajo se comienza con el retiro del sello de las juntas y la colocación del resane evitando el contacto entre el material de resane con la losa adyacente de tal forma que se protejan las juntas.

Después se comienza con los trabajos de demolición y remoción los cuales se realizarán cuidadosamente hasta los límites y profundidades establecidos, con equipo adecuado y de tal manera que las partes restantes de la losa no sean dañadas.

Se utiliza una cortadora de disco para delimitar las áreas por demoler, y hacer cortes auxiliares para facilitar el trabajo y para el retiro del material se pueden usar martillos neumáticos ligeros, escarificadoras (si el proyecto lo especifica), martillos manuales y cincel para remover material de las zonas cercanas a los límites del área de reparación,

Antes de colocar el material de resane se debe verificar que la superficie esté libre de materiales sueltos, sustancias extrañas, polvo y se debe tener una superficie seca. Una vez hecho los trabajos de limpieza se aplicará un adhesivo para mejorar la unión entre el concreto existente y el nuevo material.

El concreto hidráulico o el material de resane se debe colocar en el área de reparación cuidadosamente y de manera uniforme, evitando la segregación, por lo que no se debe permitir verter el concreto directamente de las carretillas o de los botes y se debe evitar la manipulación excesiva del material.

Inmediatamente después de colado, el concreto hidráulico se densificará mediante vibrado y antes de que se endurezca el material, se texturizará la superficie repuesta con un acabado similar a la del resto del pavimento existente pasando la rastra de texturizado o utilizando otro método que esté indicado en el proyecto. Después de terminar el texturizado se aplica el curado uniforme en la superficie de la zona de reparación.

Después de concluidos los trabajos de reparación, el acabado de la superficie reparada debe presentar una textura uniforme, similar a la de las losas adyacentes, sin rebordes, especialmente en las uniones con losas preexistentes y en las juntas de las mismas.

- Estabilización de losas de concreto hidráulico

Este trabajo consiste en rellenar los espacios vacíos que existan debajo de las losas de concreto hidráulico de un pavimento mediante la inyección de una lechada, con el propósito de estabilizarlas proporcionándoles un apoyo uniforme.

PROCEDIMIENTO

Sobre la superficie de la carpeta de concreto hidráulico, se delimitan las losas por estabilizar así como el trazo de las perforaciones que se ubicarán en cada losa, de acuerdo con el patrón de perforación establecido en el proyecto.

Antes del inicio de los trabajos, se debe limpiar la superficie de rodadura de tal forma que se tenga una superficie libre de materiales extraños y se realiza un levantamiento mediante

inspección visual de la superficie de la carpeta, para identificar si existen grietas, desportilladuras y demás daños.

Para la perforación de los sitios previamente ubicados, se utiliza un equipo de perforación equipado con brocas para perforar la losa de concreto sin dañarla. Al término de la perforación, los orificios estos serán limpiados con aire a presión para eliminar todo el polvo producto de la perforación.

Los métodos o técnicas para inyectar la lechada son establecidos en el proyecto. El equipo que se utiliza para la inyección es una bomba de inyección el cual debe tener la capacidad y características adecuadas para realizar el trabajo.

Durante la operación de inyección, se mide la elevación que va teniendo la losa mediante la colocación de una viga equipada con un micrómetro. Esto se realiza para controlar que no se produzca desnivel entre las losas.

Para asegurar que la estabilización se llevó a cabo de forma correcta se evalúan las deflexiones en las juntas transversales midiéndolas con un equipo Benkelman y conforme a la norma *ASTM D.4695*.

Finalmente si se cumplen con los valores máximos en las deflexiones, se rellenan todas las perforaciones utilizando mortero de cemento de fraguado rápido y arena, con las características establecidas en el proyecto enrasando su superficie con la original de la losa.

- *Estabilización o Refuerzo de Estabilización de Revestimientos con Cloruro de Calcio*

Esta actividad consiste en reforzar con cloruro de calcio, la superficie de rodadura de los revestimientos construidos con materiales que contienen más de 10% de partículas finas para mejorar su nivel de servicio y disminuir la generación de polvo durante el paso de los vehículos.

Para mantener el revestimiento en buenas condiciones de operación, la estabilización con cloruro de calcio se debe ejecutar anualmente o en plazos menores si así lo requiere el revestimiento preferentemente después de la temporada de lluvias durante los primeros 3 o 4 años. Posteriormente los refuerzos de estabilización pueden realizarse cada 2 o 3 años, dependiendo de las características de los materiales, las condiciones climáticas y el tránsito.

PROCEDIMIENTO

Antes de iniciar los trabajos de estabilización o refuerzo del revestimiento, éste debe estar sin irregularidades como los baches, si se cumple con lo anterior se aplicará un riego de agua en tramos no mayores de 300 m, para evitar que el agua se evapore.

Inmediatamente después del riego de agua se extiende el cloruro de calcio, preferentemente con equipo mecánico, cubriendo uniformemente toda la media sección del revestimiento. El tramo estabilizado o reforzado se debe cerrar durante 24 horas, para garantizar la correcta penetración del cloruro de calcio. Al término de este periodo se abre al tránsito y se deja que se compacte

con el paso de los vehículos o cuando lo indique el proyecto, se compactará con el equipo adecuado hasta alcanzar el grado establecido. El resto de la sección se estabilizará o reforzará inmediatamente después de abierta al tránsito la media sección previa.

- *Recorte de Carpetas Asfálticas*

Es el conjunto de actividades que consisten en remover una carpeta asfáltica por medios mecánicos, a la profundidad, ancho y sección requeridos por el proyecto a fin de reponer parcialmente la estructura del pavimento y en su caso, la capa de rodadura.

PROCEDIMIENTO

Para comenzar los trabajos de corte se requiere delimitar los tramos que se van a reparar y limpiarlos.

Después se harán los cortes necesarios en la superficie del pavimento existente a la profundidad indicada en el proyecto utilizando una fresadora de tal forma que no se dañen cunetas u otras obras de drenaje, guarniciones, zonas de la superficie de rodadura fuera del área de recorte y cualquier otra estructura. Una vez realizado el recorte, la superficie estará lisa y libre de marcas excesivas de escarificación, ranuras, crestas y cualquier otro tipo de desperfecto.

Al término de los trabajos, las superficies recortada y de rodadura se limpiarán.

- *Recuperación en Caliente de Carpetas Asfálticas*

Este trabajo de conservación incluye varias actividades las cuales consisten en desintegrar superficialmente la carpeta asfáltica por medios mecánicos, hacer una mezcla con aplicación de calor usando el material recuperado al cual se le puede adicionar o no materiales pétreos nuevos, materiales asfálticos, cal, cemento Pórtland u otros; y finalmente tender y compactar el material recuperado para formar una nueva carpeta o una base asfáltica.

PROCEDIMIENTO

Como trabajos previos se debe limpiar la superficie de rodadura y todos los baches profundos identificados en la superficie por recuperar deben ser tratados de manera adecuada

Hechos los trabajos previos la superficie de la carpeta existente será calentada a través del movimiento continuo de calentadores radiantes para permitir la posterior recuperación del material sin romper el agregado en la mezcla asfáltica, a una temperatura entre 105° y 230° Celsius. Inmediatamente después de calentar la superficie de la carpeta se realizará un recorte con los cuidados necesarios para que los materiales pétreos recuperados no sean pulverizados, fracturados o rotos y a la profundidad establecida en el proyecto.

Una vez teniendo el material recuperado, los materiales pétreos nuevos los materiales asfálticos y los aditivos se mezclan con la dosificación necesaria para producir un producto homogéneo, de calidad y con las características establecidas en el proyecto utilizando el equipo de recuperación.

Cuando se tiene la mezcla lista se procede con el tendido de la mezcla utilizando el equipo de recuperación o una pavimentadora autopropulsada, extendiendo la mezcla de tal manera que se obtenga una capa de material sin compactar de espesor uniforme. Sin embargo, en áreas irregulares, la mezcla asfáltica puede tenderse y terminarse a mano.

Tendida la mezcla asfáltica, será compactada como mínimo al 95% de su masa volumétrica máxima o lo necesario para lograr que se cumpla con las características indicadas en el proyecto. Se usarán compactadores de rodillos metálicos y compactadores neumáticos.

La superficie de la capa terminada, quedará limpia y presentará una textura y acabado uniformes en todo el ancho de la calzada o la corona, según sea el caso.

Obras de Drenaje y Subdrenaje

Los trabajos referentes a la conservación periódica en todos los elementos del sistema de drenaje en las carreteras (canales, cunetas, alcantarillas, vados, colectores, registros, etc.) están enfocados a la reparación de deterioros como grietas, oquedades, socavaciones, ondulaciones por dilatación y erosión de la superficie del revestimiento o zampeado, entre otros, con el propósito de restituir las condiciones originales de operación de estos elementos de drenaje.

Los materiales que generalmente se utilizan para la reparación de los deterioros son morteros, materiales asfálticos, productos especiales para reparación y sellado de elementos de concreto. Deben tener características de compatibilidad con el concreto, viscosidad, resistencia, adhesión, flexibilidad, elasticidad y durabilidad para realizar trabajos de calidad.

Elementos como los subdrenes, geodrenes y bordillos, cuando tienen algún deterioro es necesaria una reposición del elemento ya que no hay forma de repararlos con los mismos procedimientos que se les aplica a los elementos mencionados anteriormente. El propósito de hacer el trabajo es el de tener las condiciones originales de operación de estos elementos de subdrenaje.

Los equipos que se utilizan varían de acuerdo al procedimiento a ejecutar, sin embargo debe ser el adecuado para obtener la calidad especificada del proyecto.

Estos trabajos se deben realizar antes de la temporada de lluvias para evitar inundaciones, deslaves, filtraciones, etc que pudieran ocasionar un daño mayor al pavimento.

Puentes y Estructuras

- Calafateo y Reparación de Grietas

El calafateo y reparación de grietas son actividades que consisten en sellar las grietas que se presentan en los elementos estructurales de concreto reforzado, mediante materiales como el cemento Portland o productos especiales para el sellado, que den una apariencia y color a la

superficie de la estructura, que se adhieran al grieta y rellenen lo suficiente para que no queden burbujas o vacíos.

Con estas actividades periódicas se tiene el propósito de prevenir el contacto del agua con el acero de refuerzo, la entrada de cuerpos de cualquier agente para evitar que se pueda dañar el cuerpo de la estructura o en su momento deteriorarlo.

Las normas de la SCT se refiere a los trabajos de calafateo cuando se requieren sellar fisuras de hasta 0.3 mm de ancho y para los trabajos de reparación cuando las grietas son mayores de 0.3 mm de ancho.

- *Sello en juntas de dilatación*

La Junta de Dilatación es un elemento que permite los movimientos relativos entre dos partes de una estructura o entre la estructura y otras con las cuales trabaja.

Los trabajos que se realizan para prevenir la entrada de cuerpos extraños y del agua en dichas juntas son la reposición parcial o total del sello en las juntas de dilatación de puentes y estructuras, con ello también se permite el movimiento libre de las mismas debido a los cambios de temperatura.

Los materiales que se utilizan son deformables y no absorbentes, con las dimensiones adecuadas para que puedan ser colocados sin maltratarse y compatible de acuerdo con el tipo de junta de dilatación de que se trate.

- *Reparación y resanes en el concreto hidráulico*

Es la restitución de secciones concreto de elementos estructurales de concreto hidráulico con deterioros considerables causados por impactos, corrosiones del refuerzo, mala colocación del concreto o degradación del concreto por carbonatación o por reacción álcali-sílice. Estas pueden ser provocadas por el intemperismo, clima extremo o el tránsito al que está expuesta.

Estos trabajos se pueden realizar mediante resanes superficiales del recubrimiento o reparaciones de la sección completa.

Se utilizan materiales de tipo cementante que mantengan las condiciones apropiadas del concreto para que los elementos a resanar no sufran cambios drásticos tanto como en textura y color para la uniformidad y el correcto funcionamiento de los elementos

- *Reparación de pavimentos y banquetas*

Es la rehabilitación parcial de los parapetos o banquetas que presentan daños y deterioro a consecuencia del servicio, de impactos o corrosión de elementos metálicos, con el propósito de restituir las condiciones originales de estos elementos.

En todos los trabajos que se realizan para la conservación periódica de los puentes y estructuras, el equipo que debe ser utilizado para obtener la calidad adecuada además de la producción establecida de volúmenes para la ejecución debe de encontrarse en óptimas condiciones durante el tiempo que duran los trabajos. Como equipo extra se debe contar con andamios, pasarelas manuales o mecánicas, canastillas simples u otro elemento necesario para llevar a cabo dichos trabajos.

Túneles

- *Relleno de Oquedades*

Es la colocación de un material aglutinante entre el revestimiento de la cavidad subterránea y el terreno natural, mediante inyecciones de contacto o colado en el sitio, con el objeto de evitar el aflojamiento del terreno o concentraciones de cargas desfavorables para el revestimiento, o bien para el control de filtraciones.

- *Reposición de drenes*

Es la sustitución de tramos de tubo, con el propósito de volver a tener las condiciones originales de operación de los drenes de un túnel carretero.

Señalización y dispositivos de seguridad

Son todos los trabajos que se realizan para reponer, reparar y/o rehabilitar los diferentes elementos del señalamiento que han sufrido algún tipo de daño, como son: el señalamiento horizontal (vialetas, botones en carreteras, reglas y tubos guía para vados, indicadores de alineamiento, etc.), señalamiento vertical (señales preventivas, restrictivas, informativas), así como también de los dispositivos de seguridad como por ejemplo: defensas, barreras centrales de concreto hidráulico, vibradores, guardaganados, etc.

El propósito de los trabajos es el de restituir las condiciones funcionales originales de estos elementos.

Existen otros elementos como cámaras, sensores, teléfonos SOS, tableros de mensajes dinámicos, entre otros, que también necesitan tomarse en cuenta en los trabajos para conservarlos en buen estado. En algunas autopistas se utilizan este tipo equipos de alta tecnología, los cuales requieren de la aprobación de la SCT para su instalación.

Se debe cuidar que los trabajos de reposición o reparación de los distintos elementos estén perfectamente ubicados, alineados tanto horizontal como verticalmente, a la altura especificada y orientados, respecto al resto de los dispositivos de su tipo preexistentes a lo establecido en el proyecto o por la Secretaría.

5.2.3 Reconstrucción o reparación mayor

Esta actividad es la más completa y costosa, ya que rehabilita parcial o totalmente la estructura de los pavimentos, comprendiendo la recuperación de una parte de la estructura, previo al tratamiento de estabilización con adición de pétreos, productos asfálticos, cemento pórland u otros aditivos; al tratamiento de la capa descubierta, tendido de la parte recuperada y de la carpeta asfáltica, restitución o reparación de obras menores de drenaje dañadas, instalación de sistemas de subdrenaje y otros.



Imagen 5.12 Reconstrucción o reparación mayor.

Pavimentos

Como se ha ido mencionando a lo largo de este trabajo, los pavimentos sufren diferentes deterioros o daños a lo largo de su vida útil, por lo que existen métodos y procedimientos para evitar el mal funcionamiento del pavimento, sin embargo cuando el daño es progresivo o irremediable se requieren de procesos para demoler el pavimento existente y posteriormente construir uno nuevo, a continuación se describen de manera general los trabajos que la SCT considera como reconstrucción para la conservación de carreteras.

- Carpetas y carpetas ultradelgadas de concreto hidráulico

Este método consiste en construir una carpeta de concreto hidráulico sobre un pavimento asfáltico existente para proporcionar una superficie de rodadura uniforme, bien drenada,

resistente al derrapamiento, cómoda y segura con el fin de soportar las aplicaciones de carga producidas por el tránsito vehicular.

Las carpetas de concreto hidráulico que se refieren en las normas de la SCT pueden ser:

Carpetas de concreto hidráulico no adheridas

Son aquellas con espesor de 22 cm o mayor, que se construyen directamente sobre la superficie de un pavimento asfáltico sin ningún tipo de trabajo previo para asegurar su adherencia.

Se construyen cuando la superficie de rodadura del pavimento asfáltico existente presenta deformaciones longitudinales permanentes (como roderas) menores de 2.5 cm.

Carpetas ultradelgadas de concreto hidráulico adheridas

Son aquellas con espesor entre 10 y 15 cm, que se construyen sobre la superficie de un pavimento asfáltico mediante un procedimiento que garantice su adherencia a la superficie asfáltica.

Para la construcción de carpetas ultradelgadas de concreto hidráulico se debe fresar la superficie asfáltica para lograr la uniformidad del espesor de la carpeta y asegurar su adherencia a la capa ya existente.

PROCEDIMIENTO

Antes de comenzar los trabajos de construcción de la carpeta de concreto hidráulico se debe revisar que la superficie sobre la que se colocará esté limpia, sin irregularidades y en caso de que hubiera baches se tienen que reparar. En caso de ser necesario si la superficie del pavimento asfáltico se encuentra demasiado caliente se debe humedecer la superficie con el objeto de enfriarla.

Posteriormente se procede a construir el tipo de losa de concreto (losa con juntas, con acero continuo, etc.) de acuerdo a lo que se especifique en el proyecto.

El equipo que se utiliza para la construcción de una losa de concreto es: una planta de mezclado en donde se almacenan los agregados, el cemento y se realizan las dosificaciones necesarias para realizar la mezcla. También se utilizan extendedoras de concreto las cuales esparcen uniformemente el material y las pavimentadoras autopropulsadas son las que se encargan de extender, vibrar, enrasar y dar un acabado al concreto. Finalmente con ayuda de una texturizadora manual o mecánica se le da el acabado final a la superficie de rodadura.

Se debe evitar el tránsito vehicular sobre la carpeta o carpeta ultradelgada recién construida, por un mínimo de 14 días o hasta que se alcance el 60% de la resistencia de proyecto.

- Recuperación en Frío de Pavimentos Asfálticos

Es el conjunto de actividades que las cuales consisten en desintegrar la carpeta asfáltica y parte o la totalidad del material de base o subbase, por medios mecánicos en frío, hacer el remezclado en el lugar del material recuperado con materiales pétreos nuevos, modificados o

estabilizados, con materiales asfálticos, cemento Pórtland, cal, etc o transformarlo en concreto hidráulico de baja resistencia; tender y compactar el material recuperado para formar una nueva base o subbase sobre la que, posteriormente, se construirá una nueva carpeta.

PROCEDIMIENTO

Antes del inicio de los trabajos se debe realizar Limpieza en la superficie por recuperar así como todos los baches profundos identificados en la superficie por recuperar deben ser tratados.

Con la recuperadora se realizará la disgregación de la carpeta asfáltica y de las capas inferiores realizando cortes al tamaño y hasta la profundidad indicada en el proyecto, con una tolerancia de ± 2.5 cm. Los cortes a la carpeta se deben realizar con los cuidados necesarios para no dañar las guarniciones o pavimentos adyacentes.

El material recuperado será mezclado en el sitio utilizando el equipo de recuperación, añadiéndole en su caso materiales pétreos nuevos, emulsión asfáltica, cemento Pórtland, cal o aditivos que se mezclarán con el proporcionamiento necesario para producir un producto homogéneo, con las características establecidas en el proyecto.

Una vez mezclados los materiales para la conformación de las capas recuperadas, se realiza el tendido de la mezcla con la recuperadora o motoconformadora utilizando un procedimiento continuo y que minimice las paradas y arranques del equipo, para evitar las deformaciones que se puedan producir con esta operación.

Inmediatamente después de conformada la mezcla o bien cuando la emulsión haya comenzado a romper, la capa recuperada se compactará lo necesario hasta alcanzar el 100% de la masa volumétrica seca máxima. En este proceso se pueden utilizar compactadores de rodillos metálicos o compactadores neumáticos que garanticen la compactación uniforme en todo el espesor de la capa.

La superficie de la capa recuperada se conservará húmeda por lo menos durante 48 horas después de su compactación.

Finalmente la superficie de la capa terminada, quedará limpia y presentará una textura y acabado uniformes en todo el ancho recuperado.

- *Demolición de Losas de Concreto Hidráulico*

Conjunto de actividades que se ejecutan para fragmentar y remover, por medios mecánicos, losas de concreto hidráulico en carreteras existentes, para su posterior reposición.

PROCEDIMIENTO

Sobre la superficie de la carpeta de concreto hidráulico, se delimitan las áreas que se requieran demoler.

Con la ayuda de una cortadora de disco se realizarán cortes a la profundidad indicada en el proyecto y perpendiculares a la superficie en los límites de la longitud de demolición para proteger las zonas aledañas durante la demolición.

Una vez efectuados los cortes se procede a realizar la demolición de las losas de concreto y para ello existen diferentes procedimientos:

Levantamiento del concreto deteriorado: este método se utiliza en losas sin refuerzo continuo, los bloques o losas se levantan mediante ganchos de acero fijados en ellos, utilizando una cadena conectada a los ganchos, como se muestra en la imagen 5.13.

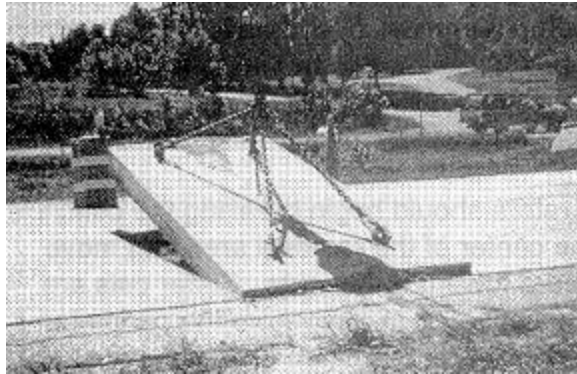


Imagen 5.13 Levantamiento del concreto deteriorado.

Fragmentación del concreto deteriorado: el concreto deteriorado se remueve fragmentando la losa en bloques manejables y sin dañar las demás capas del pavimento u otros elementos de la carretera, utilizando equipo de demolición (martillos hidráulicos o neumáticos, rotomartillos) o bien con herramientas manuales, para retirarlos a mano o con una retroexcavadora.



Imagen 5.14 Fragmentación del concreto deteriorado.

Al finalizar los trabajos de demolición, las pasajuntas y barras de amarre, la superficie de rodadura adyacente y demás áreas, deben estar quedar libres de cualquier residuo, desperdicio o

material, extraídos durante el proceso, que puedan afectar la operación de la carretera o contaminar el entorno.

- *Recorte de Pavimentos*

Son las actividades que se ejecutan para retirar la carpeta, base y subbase por medios mecánicos, a fin de sustituirlas por otras nuevas.

PROCEDIMIENTO

Primero se delimitan las áreas por recortar sobre la superficie de la carpeta que señale el proyecto. Después, con una recuperadora autopropulsada se corta y disgrega la estructura existente del pavimento en la longitud, ancho y profundidad indicados en el proyecto evitando dañar las zonas fuera de la zona de recorte.

El fondo y paredes resultantes del recorte presentarán superficies libres de cualquier residuo, desperdicio o material, extraídos durante el proceso de corte, que afecten la operación de la carretera o que contaminen el entorno.

- *Construcción de Subbases o Bases*

A continuación se mencionarán las actividades que se requieren para la construcción de subbases y/o bases para la reconstruir o reforzar un pavimento.

De acuerdo con las normas de la SCT se pueden construir diferentes tipos de capas:

- *Subbase y base hidráulica:* son construidas con materiales que no sufren ninguna modificación.
- *Subbase y base estabilizadas o modificadas:* se construyen con materiales asfálticos, cemento Pórtland, cal u otros.
- *Subbase y base de concreto:* se construyen con una mezcla de agregados pétreos, cemento Pórtland y agua en baja proporción y se compactan con compactadores de rodillos lisos vibratorios y pata de cabra, formando capas rígidas.

PROCEDIMIENTO

Antes de iniciar los trabajos de construcción de la subbase o la base, la superficie sobre la que se colocará debe estar debidamente terminada dentro de líneas y niveles, sin irregularidades y los baches tratados satisfactoriamente.

Se deben evitar daños a la superficie durante los acarreo de los materiales distribuyendo el tránsito para evitar la concentración en ciertas áreas y, por consecuencia, su deterioro.

La mezcla de los materiales debe ser homogénea y con las características establecidas en el proyecto, el mezclado del material se puede realizar por uno de los siguientes procedimientos: mezclado en planta o mezclado en el lugar.

Los equipos que se pueden ocupar para realizar este trabajo son: equipos del tipo pugmill o de tambor rotatorio, mezcladoras de tipo continuo y estabilizadoras. Su uso dependerá del proceso de mezclado que se decida llevar a cabo.

Inmediatamente después de que se obtenga la mezcla, se extenderá en todo el ancho de la corona y se conformará en capas sucesivas, con un espesor no mayor que el equipo sea capaz de compactar y al grado indicado en el proyecto.

Generalmente si el mezclado se hace en el lugar con estabilizadora, se utiliza una motoconformadora y si la mezcla es elaborada en planta se extiende empleando una extendedora, de manera que se obtenga una capa de espesor uniforme, con las líneas y niveles de proyecto.

Una vez extendida la capa se compactará hasta alcanzar el grado indicado en el proyecto, mediante compactadores autopropulsados y reversibles, con pata de cabra y con rodillos lisos vibratorios.

En el caso de las bases y subbases de concreto se realizarán las juntas longitudinales, transversales y de construcción antes del fraguado del concreto, así como el curado después de la compactación (si así lo requieren las bases y subbases estabilizadas también se les aplicará el curado).

Al final de los trabajos de construcción la superficie de rodadura adyacente y demás áreas afectadas, deben estar libres de cualquier residuo, desperdicio o material, que afecten la operación de la carretera o que contaminen el entorno.

Obras de drenaje

Las reparaciones mayores que se realizan en los diferentes elementos que constituyen el sistema de drenaje en una carretera son prácticamente las de reconstruir por tramos o en su totalidad los elementos dañados, los cuales ya no pueden ser reparados con trabajos como sellos, parches, nivelaciones, etc.

El objetivo de realizar estos trabajos es la de restituir las condiciones iniciales de funcionalidad y operación de los elementos del drenaje.

Señalización

Se pueden diferenciar los trabajos de la conservación periódica con los trabajos de reparación mayor cuando los elementos del señalamiento y seguridad a reparar son más de uno, es decir cuando hay que reponer una serie de dichos elementos como: vialetas, botones en carreteras,

reglas y tubos guía para vados, indicadores de alineamiento, etc. Así mismo para las defensas y las barreras centrales se cambian por completo por elementos nuevos.

El objetivo principal de estos trabajos es mantener la seguridad del usuario durante su traslado por la carretera.

Puentes

Las actividades que se realizan en los puentes como reparación mayor son las reposiciones de las juntas de dilatación en los puentes y la remoción de la superficie de rodadura del puente.

La principal razón por la que se daña una junta de dilatación es por la falta de mantenimiento lo cual puede generar enormes filas de automóviles en la carretera y si a esto se le suma una superficie de rodadura muy deteriorada el problema se agrava más. Por eso la importancia de realizar tiempo las actividades preventivas para evitar que se realicen este tipo de trabajos.

Túneles

- Reparación del sistema de iluminación y ventilación

Son todas las actividades que se realizan para reparar o sustituir los componentes del sistema de iluminación y ventilación de un túnel carretero, como los interruptores de servicio, tableros, conductores, canalizaciones, conectores, plantas de emergencia y accesorios con el propósito de restituir o mejorar las condiciones de operación de estos elementos y por consiguiente la iluminación y ventilación del túnel.

El sistema de iluminación en un túnel es uno o si no el más importante elemento que debe de estar en buenas condiciones, de no ser así, puede ser motivo de accidentes dentro de la estructura. Por ello es que se les pide a los usuarios encender las luces cuando entran un túnel, ya que si hay alguna falla en el sistema de iluminación el conductor puede tener visibilidad dentro de él.

El sistema de ventilación sirve para absorber los gases tóxicos que despiden los automóviles, esto se vuelve más importante cuando hay una acumulación considerable de vehículos dentro del túnel causada por algún accidente u otro factor, ayuda a que estos gases no ocasionen daños al usuario.

6. Diferentes procedimientos, Tendencias

La evolución del tráfico y de los vehículos continúa hacia el futuro y van apareciendo nuevas necesidades y objetivos, que suponen un reto para los próximos años. Por eso es necesario que el gobierno colabore en el desarrollo de nuevos procedimientos y tecnologías en el ámbito de las carreteras para atacar los retos que se presenten de manera exitosa. Algunos expertos en el tema sugieren dos tipos de medidas que el gobierno puede implementar, la primera es aumentando los presupuestos destinados a la investigación, y la segunda, estableciendo sistemas que permitan probar las innovaciones y posteriormente su valorización, para fomentar y facilitar la Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I) en las empresas constructoras, como se está haciendo en otros países europeos favoreciendo la competitividad de sus empresas.

Las actividades de I+D+I son muy importantes para el desarrollo económico de cualquier país porque lo hace más competitivo y permite reducir costos en los trabajos que deben de realizar, en este caso de conservación, en donde el objetivo principal es conservar la carretera con altos índices de servicio realizando pocos trabajos de mantenimiento durante su vida útil. La innovación en carreteras es, en términos globales, algo muy rentable para cualquier país.

A juicio de los especialistas, se debe tomar en cuenta un aspecto muy importante hacia la innovación, que es reconocer la tecnología adecuada para el país y realizar un proceso de transferencia apropiado, que implica definir estándares tras la aprobación en laboratorios y tramos de prueba.

En este capítulo se presentan las innovaciones en materiales y tecnologías que se utilizan tanto en los pavimentos de asfalto y concreto como en los demás elementos de una carretera, surgidas en la última década, especialmente las aplicaciones en carreteras y autopistas concesionadas.

6.1 Pavimentos (nuevas mezclas)

Las nuevas tendencias en los pavimentos son de gran importancia para las autoridades y los propietarios de autovías que necesitan que sus activos tengan una duración más prolongada, evitando dar un mantenimiento convencional, el cual resulta costoso.

Las inversiones en nuevos pavimentos de infraestructura deben de estar protegidas, y gracias a las nuevas tecnologías y procedimientos se permitirá aumentar el uso de los tratamientos de superficies, para hacer frente a las condiciones climáticas adversas (temperaturas y precipitaciones), las variaciones de las cargas sobre los pavimentos que producen las fallas en la carretera y los distintos problemas que ataquen el servicio de la vía. Algunas de esas tecnologías se mencionan a continuación:

SMA con fibras de celulosa. Es un método de construcción de carpetas asfálticas que se desarrolló en Alemania como respuesta a las rigurosas exigencias que representa el aumento del tránsito en las carreteras. Una de las carreteras más transitadas del mundo se encuentra en Dortmund, Alemania, por ella transitan más de 100,000 camiones de carga y fue construida con este método en 1980, hasta la fecha ha tenido un gran desempeño sin mostrar grietas o daños de cualquier otro tipo.

Las principales propiedades de este método son:

- Alta Resistencia.
- Bajo costo.
- Nulo Mantenimiento.

En México, donde el aumento inesperado de volúmenes de carga y tránsito ha sometido esfuerzos adicionales al Sistema Nacional de Carreteras, la aplicación de carpetas tipo SMA con fibra de celulosa prolongaría la vida de carreteras existentes, retardando costosas modificaciones y mejoras a las bases y a las superficies de rodamiento.

La construcción de pavimentos con este sistema aumenta la productividad en la construcción y una reducción muy significativa en los trabajos de mantenimiento. En países como Alemania, Suecia, Dinamarca, Italia, Francia y GB realizan la construcción de la carpeta asfáltica de 30 a 50% más rápido de acuerdo al comité de la American Association of State Highway and Transportation Officials.

Beneficios:

- a) Construcción de carreteras a menor costo, con mayor duración y menor costo de mantenimiento.
- b) Repavimentación de carreteras existentes para aumentar su resistencia y años de uso.
- c) Reducción en el costo de mantenimiento del SNC ya que disminuye grandemente la frecuencia de reparación, permitiendo a los que con los mismos recursos se de mantenimiento a más km de carreteras.
- d) Costos de construcción menores de hasta un 20%.
- e) De acuerdo con la SCT los costos de mantenimiento para una carpeta convencional son del 25% del costo de inversión inicial por año, mientras que un SMA puede durar hasta más de ocho años sin mantenimiento.

Asfalto ahulado. Es un producto que resulta de mezclar un cemento asfáltico normal (AC-20 por ejemplo) con hule granulado obtenido de llantas usadas y se utiliza principalmente en

riegos de sello y como aglutinante en concretos asfálticos en caliente. De acuerdo al criterio de la American Standard Testing Materials (ASTM D8-88) el contenido del hule granulado en el asfalto ahulado debe ser mayor del 15% en peso total de la mezcla para ser usado en la construcción de pavimentos. Los mejores resultados se han obtenido usando entre el 18% y 20%.

Con el uso de este método en la conservación y construcción de pavimentos flexibles se logra una mayor vida útil, un alto nivel de servicio y un mínimo costo de mantenimiento.

Beneficios:

- a) Se reducen los daños por oxidación y envejecimiento de las carpetas asfálticas debido a los antioxidantes que contienen el hule molido de la llanta.
- b) Las mezclas asfálticas elaboradas con asfalto ahulado son más flexibles que las mezclas convencionales.
- c) Se mejora considerablemente la susceptibilidad a las temperaturas bajas y altas con respecto a un asfalto normal.
- d) Existe un mínimo de reflexión de grietas en la colocación de sobrecarpetas en pavimentos agrietados.

Todos estos beneficios se reflejan en una relación costo-beneficio, ya que su vida útil es mucho mayor y su costo de mantenimiento es mínimo.

Usos más comunes:

- Relleno de grietas y sellado de juntas.
- Riego de sello.
- Refuerzo de pavimentos.
- Carpetas de concreto asfáltico de granulometría abierta (Open Graded), granulometría intermedia (Gap Graded), granulometría cerrada (Dense Graded) y carpetas con sistema de 2 y 3 capas.

A pesar de que este método fue inventado en los años 60 no se ha utilizado ampliamente debido a diversos problemas, ya que en un principio se impidió un desarrollo en la industria por complicaciones en los procesos de patentes y durante mucho tiempo solo se mantuvo en estado experimental, un problema más grave y que se presenta con frecuencia en nuestro país es que los proyectos no se planean a largo plazo ya que se prefiere utilizar materiales y métodos antiguos provocando que se realicen trabajos de conservación con más frecuencia.

Rhinophalth. Funciona para impermeabilizar la capa superficial de manera efectiva, sella aceites esenciales y resinas en el interior, mejorando la retención de finos agregados y superficiales.

Está compuesto por un material frío, que se aplica con aerosol, que penetra la superficie, sellando aceites esenciales en el interior e impermeabilizando la capa superficial, prolongando de esta manera la vida útil del pavimento.

Debido a la pérdida de aceites aromáticos ligero, resinas, causa el desequilibrio de los asfaltos y de los aceites saturados pesados. Y en la estructura celular da como resultado la pérdida de la capacidad de unir todo el masticque (mezcla asfáltica, resina), lo que provoca desprolijidades, grietas y finalmente fallo total de la capa.

La dotación del producto se determina por la inspección del sitio o por el diseño y las condiciones del material, pero en general es alrededor de 0,5 litros por m². (ASI empresa proveedora)

La vida útil típica del tratamiento o la frecuencia con que se debe de aplicar será de acuerdo al tipo de superficie:

- Superficie densa, buena condición: 5 a 6 años.
- Superficie con textura negativa, buena condición: 4 a 5 años.

Beneficios.

- a) Aplicación de bajo riesgo.
 - Interrupciones mínimas.
 - Operación con un solo vehículo.
 - Mínimo riesgo de instalación.
 - Trabajo invisible.
- b) Sin cambios en la capa superficial.
 - Sin cambios en el nivel: el proceso penetra la superficie existente en lugar de revestirla.
 - Sin cambios en las características de la superficie: conserva las características de reducción del ruido de la capa superficial.
- c) Menos mantenimiento.
- d) Significativa reducción de la interrupción de las operaciones.
- e) Erradicación de baches.
- f) Significativa reducción de la huella de carbono.

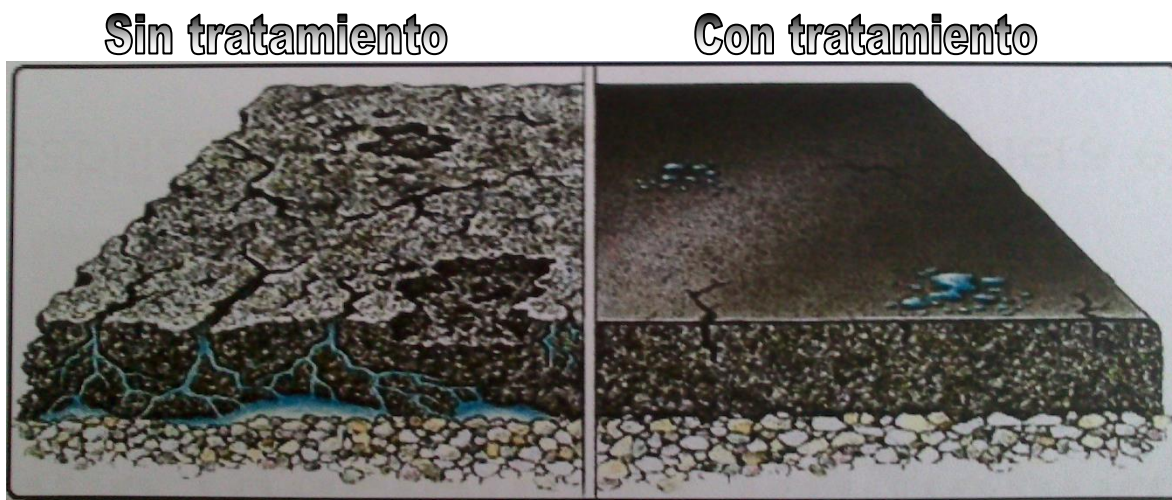


Figura 6.1 Comparación de un pavimento tratado con el Rhinophalth y otro sin tratar.



Figura 6.2 Prueba de desgaste en dos corazones de diferentes pavimentos con y sin tratamiento.

Pavimentos rígidos “Fast Track”.

El Concreto Fast Track, constituye una tecnología adecuada para la rehabilitación y refuerzo del pavimento, es diseñado para una pronta puesta en servicio, reduciendo los plazos de construcción, aumentando la productividad y disminuyendo las molestias para los usuarios.

El Concreto Fast Track se desarrolló inicialmente en 1986 en el estado de Iowa, EU, con la reconstrucción de un tramo de 11.2 km. Posteriormente siguieron numerosas realizaciones, en 1987, se efectuó la reconstrucción y puesta en servicio en 24 horas de un tramo de 7 km de pavimento, con una sección de 7 m de ancho y 15 cm de espesor en Dallas County Route, Iowa.

Países como Austria y Alemania también comenzaron con la aplicación de este método poniendo en servicio en 24 horas pavimentos urbanos de concreto denominados "obras de un día de trabajo", empleando súper plastificantes en la mezcla de concreto.

Este método se desarrolló principalmente para que el concreto tuviera una mayor competitividad en el mercado al realizar trabajos de conservación y rehabilitación de pavimentos, como se mencionó en el capítulo 2.3, las ventajas del pavimento rígido sobre el pavimento flexible son muchas, sin embargo, cuando se trata de reparaciones, los pavimentos de concreto tradicional se entregan al tráfico después de 14 días requeridos para el curado y endurecimiento del concreto, comparado con los pavimentos de asfalto que tienen una rápida ejecución y apertura al tránsito. Esta oferta de innovación permite entregar a tráfico el pavimento a las 24 horas o 3 días, dependiendo del uso del pavimento, con una calidad alta, a un costo relativamente bajo y ocasionando un mínimo de inconvenientes.

Este tipo de concreto se puede utilizar en todos los tipos de pavimentos: aeropuertos, carreteras, pavimentos urbanos o comerciales; ya sea en obras nuevas, reconstrucciones y reparaciones.

En la rehabilitación de pavimentos de los aeropuertos, se reduce considerablemente el tiempo de inoperatividad de las líneas aéreas ya que se utiliza una pavimentación secuencial en la reconstrucción de pistas de aterrizaje.

En las vías urbanas, en especial en aquellas que sirven de acceso a los sectores comerciales e industriales, en avenidas y calles, se disminuyen las pérdidas de tiempo que el proceso de reparación ocasiona a las empresas establecidas en dichas zonas.

En zonas residenciales se afecta únicamente por 24 horas el acceso de los residentes. Además de beneficiar a los usuarios con la ventaja de un mínimo mantenimiento y una alta calidad del pavimento.

En las autopistas se eliminan los problemas de tráfico causados por desviar a los vehículos, pues las obras de mantenimiento o construcción pueden ejecutarse en un solo día. Así mismo en la reconstrucción de intersecciones, la experiencia demuestra que la solución con este método es sumamente operativa.

Es importante recalcar que, aun cuando un pavimento esté diseñado con la más alta calidad no tendrá un desempeño adecuado si no está construido correctamente. En pocas palabras, la calidad se incorpora al pavimento en el proceso constructivo.

Pavimentos rígidos delgados

Este tipo de pavimentos surgen a partir de la nueva versión del método de diseño ASSHTO 2002 que demuestra que si se acortan las losas se pueden adelgazar los pavimentos sin exponerse a fallas o roturas. Se ha comprobado que la utilización de losas con espesores de 10 cm puede significar un ahorro del 20% en el valor total del contrato.

Para el diseño se requiere un geotextil, en el caso de los suelos finos, una base granular drenante de 15 cm y la losa de concreto cortada. De acuerdo con estudios realizados, una losa de 4.5 m de largo de 26 cm de espesor tiene la misma duración que una de 1.75 metros de largo y 15 cm de espesor. Es decir, losas más pequeñas requieren menos espesor y más cortas permanecen en mayor contacto con el suelo evitando los alabeos.

Mezclas bituminosas de alto módulo/índice

A principio de los años 90 se desarrollaron en España unas mezclas bituminosas con un elevado módulo de rigidez, entre el doble y el triple del módulo de una mezcla convencional, esta mezcla proporciona una gran capacidad estructural. A la base le proporciona mayor resistencia mecánica, mayor impermeabilización y regularidad y a la capa de rodadura las funciones de seguridad y comodidad del usuario. Estas mezclas se denominan de Alto Modulo y permiten construir pavimentos muy resistentes sin los problemas de agrietamiento por retracción típicos de las capas de materiales tratados con conglomerantes hidráulicos.

Residuos utilizables en la construcción

Las diversas normativas europeas y sus adaptaciones en España, relativas a los residuos tanto urbanos como industriales, hacen continua referencia a buscar fórmulas para la reutilización de estos residuos, tratando de minimizar al máximo el uso final de vertederos.

La carretera ha sido siempre vista como un gran vertedero, que maneja volúmenes muy grandes de materiales, donde pueden ser utilizados de manera masiva muchos de estos residuos y subproductos.

Es un campo de investigación y aplicación con un futuro claro, pues cualquier uso que permita incorporar algún tipo de residuo en alguna de las capas del pavimento de la carretera, con las garantías necesarias de no perjudicar la calidad final del mismo y de aminorar el impacto ambiental de su vertido.

Mezclas bituminosas activas

Bajo esta denominación se recogen un tipo de mezclas bituminosas en caliente, actualmente solo en fase de investigación, fabricadas con un betún asfáltico activado, que produce el cambio de polaridad de la electricidad estática que, por el rozamiento de los neumáticos, suele tener la superficie del pavimento, de manera que sea de signo opuesto al que tienen las partículas que se encuentran suspendidas en el aire (polvo, partículas del humo de los vehículos, de la industria y de las calefacciones de las casas en la ciudad) y así conseguir la atracción de las mismas y su caída sobre el pavimento, eliminándolas después mediante algún sistema de limpieza adecuado. Este proceso permitirá disminuir la contaminación atmosférica en una ciudad.

Emulsiones termoadherentes para riegos de adherencia

La experiencia demuestra que el propio tráfico de obra, camiones y extendedora, suelen dañar el riego de adherencia (tratamiento esencial siempre, pero sobre todo con capas delgadas y muy

delgadas), pues parte de la liga se va pegado en las ruedas de los camiones y en las cadenas o ruedas de la extendidora.

Se han desarrollado y ya se han empezado a utilizar en las obras un tipo de emulsión fabricada con un betún asfáltico muy duro y sin presencia de fluxantes. El residuo de esta emulsión, una vez que ha roto y se ha evaporado el agua de la misma, presenta una adhesividad prácticamente nula con los neumáticos de los vehículos de obra.

Solamente cuando se coloca encima la mezcla bituminosa en caliente, el calor disminuye la viscosidad de la liga y desarrolla su capacidad adhesiva de la capa construida con la capa inferior, asegurando una excelente unión entre ambas.

6.2 Geosintéticos

El desarrollo de los geosintéticos en el campo de la ingeniería, ha introducido un nuevo concepto en las metodologías de diseño y construcción de sus diversas aplicaciones. Con esta nueva tecnología han surgido varias teorías y se han desarrollado investigaciones basadas en las necesidades y requerimientos de los proyectos, llevando a que los geosintéticos se utilicen cada vez más para la realización de las obras civiles.

Uno de los mayores campos de aplicación de los geosintéticos son las vías, donde se deben considerar varios aspectos que involucran su utilización: separación, refuerzo, estabilización de suelos, filtración y drenaje. Los estudios que se han realizado demuestran los grandes beneficios que aporta este material en la construcción y rehabilitación de carreteras, mejorando el nivel de servicio y aumentando la vida útil.

Geotextiles.

Un geotextil es una lámina permeable y flexible de fibras sintéticas, sus funciones principales se basan en su resistencia mecánica a la perforación y tensión, además de tener excelentes propiedades hidráulicas. Se pueden fabricar de forma no tejida (non woven) o tejida (woven) dependiendo de la resistencia y capacidad de filtración deseada.

La palabra “geotextil” fue adaptada en 1977 en un Simposio Internacional sobre el empleo de textiles en la Geotecnia, J.P. Giroud fue quien llamó a estos productos con ese nombre.

A partir de los años 60 se tienen los primeros informes del uso de los geotextiles en la construcción de obras marítimas en Holanda, donde comenzaron a emplearse en funciones de drenaje y filtración. A partir de entonces, la tecnología de diseño y aplicación se fue desarrollando tanto en Europa como en Estados Unidos consiguiendo nuevas funciones para otros campos de la obra civil, como son el refuerzo y separación del terreno. Esto ha provocado que la utilización de los geotextiles en diversos campos de la ingeniería se incremente de una forma considerable en los últimos años.

La aplicación de los geotextiles es muy amplia ya que pueden ser utilizados en proyectos carreteros, aeropuertos, ferrocarriles, cimentaciones, presas, protección de costas, protección de drenajes, etc. Específicamente, en las carreteras estos materiales se utilizan para proyectos de construcción y trabajos de mantenimiento, desempeñando las siguientes funciones:

- Se usa como filtro dejando fluir el agua de la capa del material fino a la capa del material grueso, previniendo que por causa de la capilaridad el material sea arrastrado debido a las presiones hidrostáticas.
- Actúa como refuerzo aumentando la resistencia al corte del suelo y la estabilidad en la construcción.
- Separar dos capas de suelo de diferentes propiedades físicas (granulometría, plasticidad, consistencia) evitando la mezcla de materiales y estabilizando el terreno.
- Evita la filtración del agua sobre superficies dañadas de concreto hidráulico o asfalto en la colocación de una sobre carpeta.

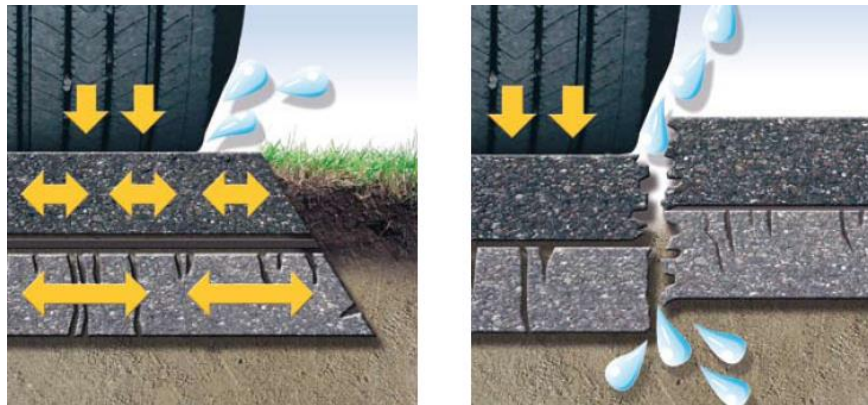


Figura 6.3 El geotextil en el pavimento (izq.) absorbe los movimientos diferenciales entre capas lo que evita la formación de grietas por reflexión. Además forma una capa intermedia impermeable que evita que el agua superficial penetre en la capa antigua. Sin el geotextil (der.) se produce una rápida reflexión de las grietas de la antigua a la nueva capa, además el agua superficial penetra sobre la capa antigua y acelera el deterioro de la carretera.

Beneficios:

- a) Reducción en los espesores de las capas granulares.
- b) Mejoramiento de las propiedades mecánicas de los materiales que conforman la estructura de pavimento.
- c) Incremento de la vida útil de la vía.
- d) Facilidad de puesta en obra por lo que permiten ahorros de tiempos de ejecución.
- e) Es una alternativa más económica comparada con métodos constructivos tradicionales.

- f) Posibilitan soluciones medioambientales correctas.
- g) Ofrecen muchas variantes y posibilidades de uso y productos ya que son versátiles, flexibles, resistentes y se adaptan a las irregularidades de las superficies y condiciones del terreno.
- h) Son de fácil y rápido manejo y aplicación, y no requieren equipo especializado.

Por todo lo anterior, se continúa investigando y desarrollando nuevas tecnologías de los geotextiles para su aplicación en la estructura del pavimento, en particular su utilización sobre la capa de subrasante en la interfase subrasante - capa granular.



Imagen 6.1 Uso de Geotextil para estabilización y separación de las capas de un pavimento.

Geomatrics.

Aunque una vegetación fuertemente arraigada ofrece un excelente control contra la erosión, las áreas expuestas a fuerzas hidráulicas importantes, tales como taludes muy verticales y canales con gran flujo, susceptibles a grandes volúmenes de escurrimientos, pueden necesitar un refuerzo extra para conservar su estabilidad permanente. Las geomatrics están diseñadas para dar ese extra al trabajar en conjunto con la vegetación, para aumentar su resistencia al esfuerzo cortante y para darle el refuerzo adicional que se requiere.

Las geomatrics son productos que permiten el crecimiento de materia vegetal y se usan principalmente para el control de erosión, funcionan como una barrera que previene el desprendimiento de las partículas de suelo al disipar la energía cinética de la lluvia en canales y taludes. Generalmente se fabrican con materiales tejidos, es decir que forman redes y ligaduras mecánicas, los cuales forman un sistema permeable al agua pero que retienen los sólidos y permiten el crecimiento de las raíces y tallos.

Tipos de geomatrics

Existe una gran variedad de geomatrics disponibles en el mercado, para seleccionar la más adecuada se debe definir su aplicación y proceso de erosión al que se enfrentará, es decir, se

debe analizar si se va aplicar a un proceso de control de erosión en un talud sometido a corrientes pluviales que tratarán de desprender y arrastrar las partículas del suelo o es un canal de drenaje donde se concentra el flujo del alcantarillado.

Una vez que se determina el tipo de aplicación, se debe hacer una serie de consideraciones adicionales para seleccionar las formas de protección de acuerdo al tiempo de protección que se necesite: temporal o permanente.

A las **geomatrices temporales** generalmente se les conoce como “mantas” (ECB, por sus siglas en inglés), y han sido definidas por la ASTM como “materiales degradables, compuestos principalmente por fibras de origen orgánico (paja, coco, yute, viruta de madera, etc.), manufacturadas en rollos, diseñadas para reducir la erosión de los suelos y ayudar en el crecimiento, establecimiento y protección de la vegetación”.

Las georredes o geomallas sintéticas usadas en la fabricación de las geomatrices temporales están hechas de materiales fotodegradables; las fibras orgánicas que se usan son 100% biodegradables, lo que determina su carácter temporal, aunque, de acuerdo con el tipo de materiales usados en su composición, podrá variar su longevidad que varía de los 60 días hasta los 3 años.

Se utilizan para revegetar pendientes suaves, hasta de 3:1, una vez que se logra la adecuada estabilización mediante el establecimiento de la vegetación, su función de control de erosión ya no se requiere.



Imagen 6.2 Geomatrices biodegradables.

Por otro lado, las **geomatrices no degradables o permanentes**, también conocidas como matrices para el refuerzo del suelo (TRM), han sido definidas por el Consejo Tecnológico para el Control de Erosión (ECTC, por sus siglas en inglés) como “una geomatriz de largo plazo, no degradable, compuesta de fibras sintéticas estabilizadas contra los rayos UV, cuya red y filamentos están fabricados en un arreglo tridimensional para reforzar de manera permanente los suelos contra la erosión hidráulica, y las descargas ejercen velocidades y esfuerzos cortantes que exceden los límites de resistencia de los suelos y de la vegetación nativos o locales”. Las geomatrices TRM proporcionan espesor, resistencia y relación de vacíos suficientes para el relleno con suelo vegetal que permita el desarrollo de la vegetación dentro de ellas.

El establecimiento de la vegetación proporciona una forma primaria de cobertura, mientras que la función primaria de la geomatriz TRM se vuelve el refuerzo de dicha vegetación. De manera

adicional, debe brindar una cobertura suplementaria al suelo superficial contra cualquier fuerza erosiva que trate de penetrar en la vegetación.

Debido a la gran cantidad y diversidad de materiales que pueden usarse para la fabricación de las geomatrices permanentes, éstas pueden tener un gran rango de vida útil, por lo que se utilizan principalmente para pendientes fuertes, canales con gran flujo y áreas altamente erosionables.



Imagen 6.3 Instalación de las geoceldas.

Beneficios

- a) Se reduce el impacto de las gotas de lluvia y la velocidad de los escurrimientos, se mantiene a los suelos in situ.
- b) Generalmente este tipo de control es menos oneroso que el control de tipo rígido o estructural.
- c) Se ha demostrado que este método puede brindar una resistencia al esfuerzo cortante semejante a la que podría proporcionar un enrocamiento de grandes dimensiones o un refuerzo rígido con base en elementos de concreto, de un costo muy alto.
- d) El uso de las geomatrices proporciona al paisajista, arquitecto, ingeniero o constructor una excelente opción ecológica que armoniza con la naturaleza y que es de bajo costo, comparado con las soluciones tradicionales de refuerzo rígido usadas hasta la fecha.

Un problema que se podría tener es que el área debe ser proclive al nacimiento y mantenimiento de la vegetación, es decir, deben ser suelos fértiles, con un pH adecuado, aireados, húmedos y adecuadamente expuestos al sol y a los vientos.

Así mismo cuando comienza a germinar la vegetación, estas áreas requieren un control de erosión temporal, una protección y un anclaje para mantener el suelo y las semillas en su lugar; deben regularse, además, los factores de crecimiento, tales como la temperatura y la humedad, para asegurar el establecimiento de la vegetación. Sin embargo, si se lleva un buen control

antes, durante y después de efectuar la ejecución del proyecto los costos de mantenimiento y reconstrucción serán bajos de otra manera, los costos pueden elevarse.



Imagen 6.4 Protección de taludes con geosintéticos e hidrosiembra.

6.3 Sistemas Inteligentes del Transporte (ITS)

El aumento en los niveles del tránsito en las carreteras, además de desgastar más rápido un pavimento, también provoca congestionamientos en ellas, esto causa tiempo perdido por los viajeros a causa de las demoras y efectos nocivos en el medio ambiente por la contaminación de los vehículos automotores. Para solucionar ese problema existen medidas comúnmente propuestas como: incrementar la capacidad mediante la construcción de nuevos caminos, mejorar las vías existentes y el uso de mejores controles de tránsito.

Los Sistemas Inteligentes del Transporte o ITS por sus siglas en inglés, son una buena solución para manejar la red de transporte de manera eficiente. Los ITS se basan en la tecnología para solucionar problemas y lograr un óptimo funcionamiento, permitiendo una comunicación entre los vehículos y la infraestructura, proveyendo de información a los usuarios y permitiendo automatizar, controlar y facilitar la administración vehicular, así como a realizar mejoras y beneficios de seguridad, capacidad, fluidez y comodidad.

La implementación de los ITS surgió con la finalidad de agilizar los procesos y el flujo vehicular desde hace aproximadamente 30 años. En 1963, en Inglaterra se propuso un sistema de cobro, diez años más tarde en Singapur se implementó un nuevo sistema de cobro, pero no fue hasta 1983 que en Hong Kong se puso en marcha un proyecto piloto que puso en evidencia el verdadero potencial de los sistemas automatizados (ATT, Automated Transport Telematics) utilizados en las autopistas. Este proyecto de cobro electrónico fue el precursor de muchos otros proyectos que se llevaron a cabo en varios países, también abrió un panorama para mezclar otros tipos de tecnologías para realizar proyectos más ambiciosos. Los principales países que comenzaron a idear nuevos proyectos hace más de 15 años son Europa, EUA y Japón.

Hoy en día son una herramienta importante en el programa de operación de las carreteras, pues combina la aplicación de tecnología avanzada con esquemas de operación de transporte. También se manejan como una nueva forma de trabajar en equipo ya que se comparte

información, e inclusive sistemas entre los actores involucrados tanto de la misma dependencia como de diferentes dependencias y jurisdicciones. Los ITS no resuelven por si mismos los problemas del transporte, requieren la intervención de personas en actividades complementarias de gestión y de operación.

Beneficios

- a) La gran ventaja de utilizar los ITS en las carreteras es que proporcionan beneficios a mediano y largo plazo, se podría decir que los costos de estos sistemas son bajos en comparación a los beneficios que se pueden tener, es decir, un mayor beneficio/costo.
- b) Sirven para mejorar la operación y capacidad de los sistemas viales a costos menores en comparación con las inversiones o gastos que se realizan en una reconstrucción o ampliación de la carretera.
- c) Tener un sistema de ITS bien diseñado y bien operado ofrece servicios muy marcados:
 - Se disminuyen los puntos negros de riesgo.
 - Se mejora la señalización.
 - Se tiene información confiable y oportuna de las condiciones de la carretera.
 - Se cuenta con un sistema de telepeaje eficiente, interoperable y presente en todas las plazas de cobro.
 - Ayudan a tener carreteras cada vez más seguras y con mejores programas de mantenimiento.

Países como Estados Unidos, Francia, Japón, Alemania, etc. tienen amplia experiencia en desarrollar e implementar los ITS en sistemas carreteros, ferroviarios, y de transporte urbano, a continuación se presentan algunos sistemas que son utilizados por estos países, así como las imágenes de ellos.

Ejemplos de ITS:

- Cámaras de video para detectar accidentes.



Imagen 6.5

- Tableros de mensajes dinámicos de información vial.



Imagen 6.6

- Detectores de vehículos para calcular tiempos de recorrido.



Imagen 6.7

- Sistemas de pago electrónico en plazas de cobro.



Imagen 6.8

- Centros de gestión de tránsito.



Imagen 6.9

- Sistemas inteligentes de semáforos.



Imagen 6.10

- Software de integración de sistemas.

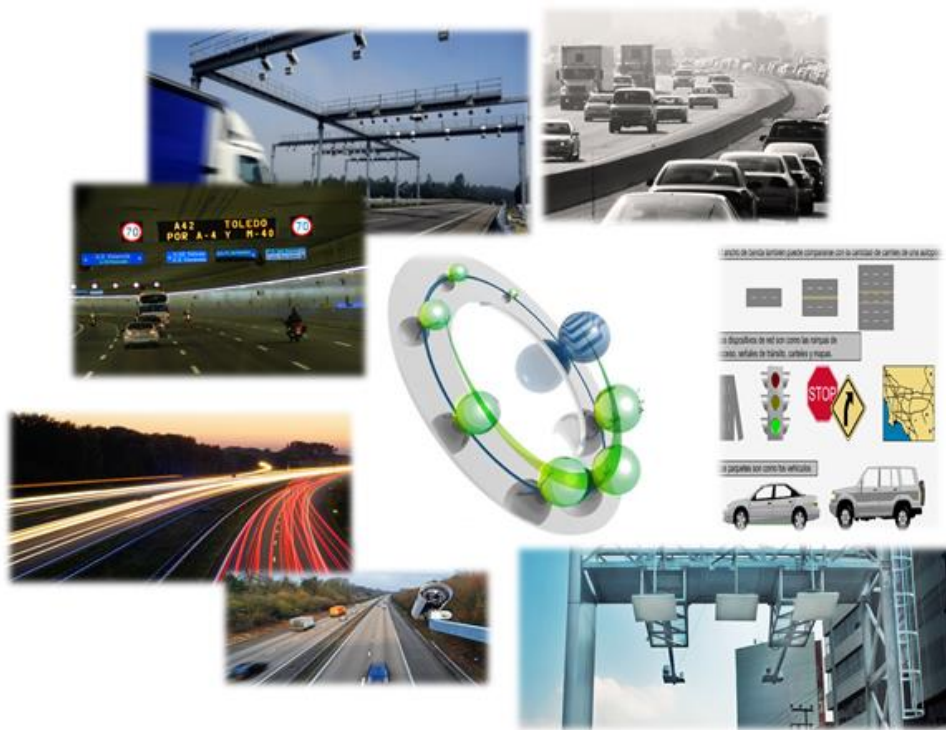


Imagen 6.11

- Sensores y actuadores para los túneles

Estos sistemas responden a cambios de las condiciones dentro de un túnel, por ejemplo: Sensores, iluminación, ventilación, señales de mensaje variable, muestras de control de carril, señales luminosas de tráfico, etc.



Imagen 6.12

En México, la primera carretera inteligente se inauguró el 20 de septiembre 2008, con una inversión de US\$480 millones y una longitud de 223 kilómetros el “Arco Norte” es el primer proyecto construido en México con red de fibra óptica en todo su trayecto. Esta carretera cuenta con tecnología que ofrece información constante y en tiempo real sobre el tráfico, condiciones climáticas a través de una página de Internet.

La carretera, que fue construida con un diseño de concreto hidráulico, cuenta con 28 cámaras con un alcance de tres kilómetros cada una, 14 radares, 3 estaciones meteorológicas, 64 teléfonos para atención inmediata, 10 paneles de información, 15 casetas automatizadas, 8 kioscos inteligentes y acceso a Internet en toda la carretera. Esto significa mayor seguridad y comodidad para el viajero ya que, a diferencia de una carretera tradicional, se puede solicitar asistencia e información a través de la página de Internet, referente a tiempos de recorrido, costos, clima e incluso el tráfico.



Imagen 6.13 Casetas de la carretera “Arco Norte”

La SCT con base en proyectos ha impulsado la implementación de los sistemas inteligentes en las carreteras mexicanas, en el Plan Estratégico Nacional de Sistemas Inteligentes se tiene el objetivo de equipar 74 carreteras para finales de 2025 con tecnología que pueda agilizar los servicios de ayuda y emergencia, dar información en tiempo real al conductor a través de pantallas o alertas en su celular y tener una forma de cobro universal, entre otras ventajas.

Sin embargo, a pesar de esta iniciativa se tendrá que hacer frente a grandes retos, como la falta de coordinación y colaboración operativa, escasez de inversión y principalmente falta de adaptación al mercado mexicano, pues no todos los usuarios entienden el funcionamiento de esta nueva tecnología.

7. Conclusiones

La realización de este trabajo tuvo la finalidad de ejemplificar la importancia de las carreteras en buen estado así como sus beneficios a la sociedad, a la economía y al medio ambiente principalmente.

Los beneficios que se adquieren al mantener las carreteras en buen estado son: abatir los costos de operación vehicular, aumentar la seguridad y la comodidad de los usuarios, fomentar la competitividad y la eficiencia en el sistema carretero. Por esa razón, todos los elementos que conforman una carretera (pavimentos, señalizaciones, obras de drenaje, terracerías, etc.) tienen una gran importancia para la funcionalidad de la vía, sin embargo, se comprobó que el elemento de mayor trascendencia en una carretera es la superficie de rodamiento. La principal razón es que de ella depende en gran medida el buen funcionamiento de una carretera como: el tiempo y calidad de recorrido de un lugar a otro, el desgaste de los vehículos, así como la seguridad de los pasajeros que transitan por la vía. Otro factor importante son los costos de construcción y mantenimiento de este elemento, por ello es necesario que durante la construcción de una carretera se evalúen los tipos de materiales que se utilizan tanto para la estructura, como para la capa de rodadura del pavimento (rígido o flexible), así como controlar que los procedimientos de construcción se lleven a cabo de forma correcta ya que interviene de forma directa en el costo del mantenimiento que se llevará a lo largo de la vida útil del mismo.

Una vez construida la carretera debe de estar sujeta a un monitoreo constante indicando los periodos en los cuales se deben realizar las intervenciones adecuadas para mantener los niveles de servicio de un pavimento y en general de la carretera, provocando que el deterioro en la carretera sea lento y poco visible y logrando que el pavimento cumpla con su vida útil. Esto se traduce a que mientras los caminos se conserven en buenas condiciones, los trabajos requeridos son de un costo bajo en comparación con los trabajos que se requieren cuando se presentan los mayores deterioros. Tener un control adecuado en la conservación de carreteras puede significar un ahorro considerable de gastos que se destinan en reparaciones y mantenimiento de las carreteras en periodos muy cortos, lo cual puede ser aprovechable para invertir en nuevos proyectos carreteros, investigación, tecnología, etc., por esa razón, las inversiones en la conservación de carreteras son económicamente rentables para la sociedad en su conjunto.

Para que todo lo anterior se lleve de manera exitosa, es necesario la creación de estrategias que ayuden al cumplimiento de un buen servicio, como por ejemplo: las asociaciones Público-Privado (APP) las cuales buscan que la asignación de los recursos sea más eficiente para el mantenimiento de las carreteras y que éstas operen en mejores condiciones y conforme a estándares internacionales, asimismo permiten implementar nuevas técnicas, procedimientos, tecnologías en materiales y herramientas que ayuden a preservar el patrimonio carretero.

Finalmente, la tecnología juega un rol muy importante en la construcción y conservación de las carreteras ya que con la aplicación de nuevas mezclas, materiales y herramientas tecnológicas se ha logrado extender la vida útil tanto del pavimento como de sus componentes obteniendo beneficios para un mejor desempeño. Una de las aplicaciones más importantes que se ha desarrollado son los programas de administración de carreteras, que como su nombre lo dice son utilizados para llevar una correcta administración de las vías recopilando y analizando información sobre las diferentes variables (clima, aforo, sobrecargas, históricos de conservación y mantenimiento, diseños, deterioros, estudios, etc.) que intervienen en el desempeño de un pavimento con el objeto de realizar la proyección, evaluación y programación de los trabajos de mantenimiento y conservación óptimos que deben realizarse a lo largo de la vida útil de la carretera con el fin de obtener un mayor costo/beneficio.

Sin duda, las condiciones actuales del transporte carretero cambiarán conforme al paso del tiempo ofreciendo cada vez más retos en la infraestructura, por lo tanto el gobierno de México debe actualizarse continuamente e innovar en procesos, materiales, herramientas tecnológicas que ayuden a mejorar la conservación de las carreteras y así aumentar su vida útil.

Bibliografía

- XXIV Congreso mundial de carreteras.
Disponible en Internet: <http://www.congresocarreteras.mx/>

- Fundación de la Asociación Española de la Carretera (FAEC)
Disponible en Internet: www.fundacionaec.com

- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. IMCYC (2013):
“Recuperación de pavimentos con cemento”
Disponible en Internet: <http://www.imcyc.com/cyt/enero03/recuperacion.htm>

- La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres Carreteras
Ferrocarriles y Autopistas. Vol 2 Capitulo 10 “Pavimentos Rígidos”
Autor: Alfonso Rico Rodríguez, Hermilo del Castillo Editorial Limusa
Disponible en Internet:
http://books.google.com.mx/books?id=d042vJAKVK8C&pg=PA205&dq=losas+de+concreto+s+imple&hl=en&sa=X&ei=7JsiUY_TBk2QW9woGACw&ved=0CDIQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false

- Sobre a pesquisa
Disponible en Internet: <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/Sobre-a-pesquisa.aspx>

- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) (Concesiones)
Disponible en Internet: http://www.diputados.gob.mx/cesop/Comisiones/2_transporte.htm

- HMA Pavement
Disponible en Internet:
<http://www.pavementinteractive.org/article/hma-pavement/>

- Manual: “Pavement Design Guide”.
From: Russel W. Lenz, P.E., Director, Construction Division
Effective Date: January 01, 2011

- Section 4: “Pavement Types”
Disponible en Internet:
http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/pavement_types.htm

- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)
Folleto. “Conservación de Carreteras Federales
Libres de Peaje” Ing. Arturo M. Monforte Ocampo

- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)
Segundo Encuentro Técnico Sobre la Estructuración de Proyectos de Asociación Público-Privada. “Contratos Plurianuales de Conservación Carretera Basados en Estándares de Desempeño y Actividades” Ing. Arturo Monforte - Lic. Francisco Ibáñez

- PricewaterhouseCoopers
BID/PIAPPEM 29 de abril de 2009 Guanajuato, Guanajuato, México.

-
- Procedimiento de Conservación
NORMATIVA PARA LA INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE
Disponible en Internet: <http://normas.imt.mx/barra.php?tm=1>

 - Drenajes de carreteras “Biocunetas Tecnología”
Disponible en Internet:
<http://drenajesostenible.com/aplicaciones-de-sistemas-atlantis/drenaje-de-carreteras>

 - Mantenimiento en los túneles
Disponible en Internet:
<http://www.slideshare.net/YACARLA/construccion-de-tuneles>

 - Cámara de diputados LX Y LIX Legislatura. –
Informe. “Análisis Comparativo de Tarifas en
Autopistas Concesionadas-

 - Unidad de Autopistas de Cuota de la SCT
Disponible en Internet: <http://uac.sct.gob.mx>

 - BANOBRAS
www.banobras.gob.mx/

 - CAPUFE
www.capufe.gob.mx

 - Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT):
“Situación de México y el transporte”
México, 2012.

 - Agencia Nacional de Transporte Terrestre (ANTT) de Brasil,
Tarifas de Caminos Concesionados.
Disponible en Internet: <http://www.antt.gov.br/concessaorod/concessionarias.asp>

 - Asociación de Sociedades Españolas Concesionarias de Autopistas,
Túneles, Puentes y Vías de Peaje (ASETA).
Disponible en Internet: <http://www.aseta.es/>

 - Órgano de Control de Concesiones Viales (OCCOVI) de Argentina;
“Corredores Viales Nacionales”
Disponible en Internet: <http://www.occovi.gov.ar>

 - SANCHEZ, Ricardo J. El pago por el uso de la infraestructura de transporte
vial, ferroviaria y portuaria, concesionada al sector privado, CEPAL,
Santiago de Chile, noviembre de 2003.

 - Concesiones viales: un impulso al desarrollo carretero

en México Autor: Lizbeth Castañeda Hernández

-Bull, Alberto: “Concesiones viales en América Latina: situación actual y perspectivas”. En: Serie Recursos Naturales e Infraestructura, CEPAL No. 79. Santiago, 2004.

-Standard & Poor’s: Sector de Carreteras de Cuota en México. México, 2006.

-Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)
Instituto Mexicano del Transporte
“Desarrollo de un marco para la evaluación de esquemas PPS en carreteras de México”
Jorge Artemio Acha Daza
José Antonio Arroyo Osorno
Publicación Técnica No. 311
Sanfandila, Qro, 2008

-International Technology Scanning Program
Public-Private Partnerships for
Highway Infrastructure:
Capitalizing on International Experience

-Agencia Reguladora de Transporte do Estado de Sao Paulo (2006).
“Pesquisa de satisfacao dos usuarios com os servicios das rodavias concedidas e com as empresas concessionarias no Estado de Sao Paulo”.
Sao Paulo, Brasil, 2006.
Disponibile en Internet:
http://www.artesp.sp.gov.br/biblioteca/biblio_pesq_satisfacao.asp#

-BANOBAS (2006). “Proyectos de Prestación de Servicios (PPS) en México”.
Disponibile en Internet:
www.banobras.gob.mx/BANOBAS/CasosdeexitoRevistayEventos/Revista/4toTrim2006/pps.htm - 69k

-Cybis, Betella H.B. Reis Guzen, E.; Lindau, L.A.; Duarte Riberiro, J. L., Dutra Michel, F. (2006), “Model to evaluate roadway concessions in Brazil”.
Transportation Research Record No. 1948. Washington, D.C.

-Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).
“Proyectos de prestación de servicios en carreteras.”
Disponibile en Internet:
adminsitos.sct.gob.mx:8090/uac/fileadmin/espanol/presentaciones/pps.pdf.

-Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)
Subsecretaría de Infraestructura
Dirección General de Desarrollo Carretero
Disponibile en Internet:
<http://dc.sct.gob.mx>

-Dirección General De Conservación de Carreteras
Conferencia: Contratos Plurianuales de Conservación de Carreteras CPCC
26 de agosto 2011

-Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)
Instituto Mexicano del Transporte
“Prácticas para evaluar la calidad de infraestructura carretera de cuota”
Alberto Mendoza Díaz
Emilio Abarca Pérez
María Guadalupe Saucedo Rojas
Publicación Técnica No. 353
Sanfandila, Qro. 2011

-AASHTO. (2004). A Policy on the Geometric Design of Highway and Streets (5ta ed.).
American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). U.S.A.

-Bases de Datos de Accidentes de la Red Operada por CAPUFE, 2008.

-Bases de Datos de Accidentes de la Red Operada por CAPUFE, 2009.

-Bases de Datos de Accidentes de la Red Operada por CAPUFE, 2010, CAPUFE, 2011.

-Bennett, C. R. and Paterson, William D O. (2000).
Documentation of HDM-4, version 1.0. International Study of Highway
Development and Management Tools (ISOHDM), United Kingdom.

-Calificación de la Corona de la Red Carretera Nacional, 2010. Dirección
Capacidad Vial de la Red Carretera Federal Libre, 2010. Dirección General de
Servicios Técnicos. CAPUFE 2009; CAPUFE, 2010.
Datos Viales, 2010. Dirección General de Servicios Técnicos (DGST) de la
(SCT). (1999). México: SCT.

-Delgado C. y Vasallo, J. M. Aplicación de Indicadores de Calidad en
Concesiones de Carreteras en España. Recuperado el 12 de septiembre de
2011. Disponible en Internet: <http://www.caminos.upm.es>

-Índice de Rugosidad Internacional (IRI), Profundidad de la Rodera (PR) y
Calificación de la Corona de la Red de Cuota, 2010. Dirección General de
Desarrollo Carretero (DGDC) de la SCT, 2011.

-Zaragoza A. Determination of Performance Indicators to Evaluate the Quality
Level of Toll Motorways. Disponible en Internet: <http://rru.worldbank.org>

-Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)
Instituto Mexicano del Transporte
“Análisis de Varianza del Efecto de Algunos Factores que Influyen de Algunos Factores que
Influyen en la Deformación Permanente de Mezclas Asfálticas”

Paul Garnica Anguas
Horacio Delgado Alamilla
Carlos Daniel Sandoval Sandoval
Publicación Técnica No 272
Sanfandila, Qro, 2005

-Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)
Instituto Mexicano del Transporte
“Hacia una Arquitectura Nacional para los Sistemas Inteligentes de Transportes”
Jorge A Acha Daza
Juan Carlos Espinosa Rescala
Publicación Técnica No 251
Sanfandila, Qro, 2004

-Explaining International IT Application Leadership:
Intelligent Transportation Systems
Stephen Ezell | January 2010

-ITS Technical Note
For Developing Countries
Technical Note 5
“ITS System Architectures For
Developing Countries”
Toshiyuki Yokota
Richard J. Weiland
July 22, 2004

-Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa
“Estado del Arte y Tendencias Generales del Mercado en el Ámbito de las TIC Aplicadas a los
Sistemas Inteligentes de Transporte”
Disponibile en Internet: <http://www.sandetel.es>

-PEMEX DCIDP
Subdirección de Ingeniería
Gerencia de Normatividad Técnica
“Pavimentos Flexibles”
No de Documento GNT-SSNP-2005

-Universidad Austral de Chile
Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Construcción Civil
“Deterioros en Pavimentos Flexibles y Rígidos”
Autor: Ricardo Javier Miranda Rebolledo
Valdivia –Chile 2010
Asesorado por el Ing. Adolfo Montiel Mancilla

-Universidad Veracruzana
Facultad de Ingeniería
“Ventajas y Desventajas del Uso de Polímeros en los Asfaltos”

Autor: Vázquez Ruiz Idalit
Coatzacoalcos, Ver. Junio 2010

-Universidad Austral de Chile
Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Construcción Civil
“El Asfalto en la Conservación de Pavimento”
Autor: Mariana Valenzuela V. Valdivia
Chile 2003

-Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil
“Asfaltos Modificados con Polímeros”
Autor: Martha Dina Avellán Cruz
Asesorado por el Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus
Guatemala, mayo de 2007

-Instituto Tecnológico de la Construcción
“Metodología para Valuar el Estado Físico de Caminos con Pavimentos Flexibles”
Autor: Ing. Angel Iván Kantún Rosado
Asesorado por el Dr. José Bernardo Vargas Negrete

-“La Innovación Técnica y el futuro de la explotación de carreteras”
Technical innovation and the future of road operation”
J. Agustín Sánchez Rey. Dr Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento

-El asfalto de hoy y del futuro
Autor: COSTA HERNÁNDEZ, Andrés
Área de tecnología de Elsan-Pacsa
Fuente: Directivos Construcción nº 164.

-Manual y Software de Diseño
Geosoft –Pavco-

-Geotextiles
Tejidos y no tejidos
Funciones y Aplicaciones
Las Autopistas de Peaje en España 2011

-Asociación de Sociedades Españolas Concesionarias
de Autopistas, Túneles, Puentes y Vías de Peaje (ASETA)
Disponible en Internet:
www.aseta.es