



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**"CONSTRUCCION, CONSERVACION Y  
REHABILITACION DE PAVIMENTOS  
CARRETEROS"**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A N I:**

*ELIZABETH CASTILLO VARGAS*

*MARCO ANDRES POZOS GARCIA*

**DIRECTOR DE TESIS:**

**ING. LUIS CANDELAS RAMIREZ**



**MEXICO, D. F.**

**2002**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/050/01

Señores  
**ELIZABETH CASTILLO VARGAS**  
**MARCO ANDRÉS POZOS GARCÍA**  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **LUIS CANDELAS RAMIREZ**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

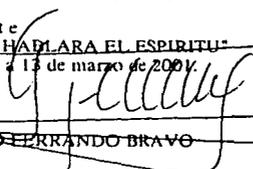
**"CONSTRUCCIÓN, CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS CARRETEROS"**

- I. INTRODUCCION
- II. ASPECTOS GENERALES
- III. GENERALIDADES DE SOBRE PAVIMENTOS
- IV. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS
- V. CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS CARRETEROS
- VI. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
Cd. Universitaria a 13 de marzo de 2004.  
EL DIRECTOR

  
**M. C. GERARDO FERRANDO BRAVO**  
GFB/GMP/mstg.

**AGRADECIMIENTOS:**

- En primer lugar queremos agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México por darnos la oportunidad de pertenecer a ella y haber formado en nosotros el espíritu universitario
- A la Facultad de Ingeniería por ser ahí donde obtuvimos nuestra formación profesional y los elementos para contribuir con el desarrollo de nuestra sociedad.
- A los profesores de la Facultad de Ingeniería por los conocimientos y consejos que nos han brindado.
- Agradecemos de manera muy especial al Ing. Luis Candelas Ramírez, director de esta tesis, por brindarnos su confianza y apoyarnos con sus valiosos comentarios para llevar a buen término este trabajo.
- Agradecemos al Ing. Jorge de la Madrid Virgen, al Ing. Luis Antonio Martín Chávez y a todas las personas que conocimos en el Libramiento Tulancingo y que nos apoyaron con sus aportaciones.
- De igual forma agradecemos al C. Ing. Margarita Puebla Cadena, al C. Ing. Gustavo Argil Carriles, al C. Ing. Onésimo Xelhuantzin y al C. Ing. Alejandro Ponce Serrano por su gran disposición para participar como sinodales en nuestro examen profesional, por su amistad y confianza.

---

## **DEDICATORIA**

*Los Ingenieros civiles son depositarios de un legado de esfuerzos, logros y nacionalismo para tener una mejor calidad de vida.*

- *A mis Padres Edmundo Castillo Monroy y Magdalena Vargas Herrera por brindarme su Amor y depositar en mí la esperanza y el aliento firme durante mi formación profesional.*
- *Al Creador y Conservador del universo por darme la vida y la fuerza.*
- *A mis Hermanos Elena, Jacqueline, Edmundo, Andrea y mi primo José Carmelo por darme su cariño, aportar en mí la perseverancia cada día y apoyarme en los momentos más difíciles.*
- *A mis Abuelitos que están en mi mente y corazón.*
- *A Santiago por todo el Amor y comprensión que me has dado en todo este tiempo. Y recuerda que siempre te llevo en el corazón y en él ocupas un lugar muy especial.*
- *A mis amigos Andrés, Julio, Hilda, Mauricio, Miguel y demás compañeros por brindarme su amistad.*

**ELIZABETH**

---

**DEDICATORIAS**

**A mis Papás,**

*Porque no ha existido un minuto en mi vida sin que me den su apoyo, por sus consejos siempre acertados, por su inigualable espíritu de superación, por todo lo que me han enseñado, les dedico este trabajo como constancia de que su esfuerzo no ha sido en vano, son un gran ejemplo para mí, los quiero mucho.*

**A Brenda, Gerardo y Mirandita,**

*Por su apoyo, ya que sin él me hubiera sido difícil concluir esta etapa de mi vida, gracias.*

**A Karen,**

*Porque tu compañía hace que cada día sea especial.*

**A Karla y Adriancito,**

*Ya que de ustedes aprendo nuevas cosas día a día, porque sin su compañía, paciencia y apoyo hubiera sido muy difícil llegar a este momento en mi existencia, porque nuestros proyectos empiezan a tomar forma el día de hoy, y porque sin duda complementan mi vida, les dedico este trabajo, los quiero.*

**A Elizabeth,**

*Por compartir conmigo esta etapa de nuestra formación profesional, por tu amistad y confianza.*

**A mis Amigos,**

*Armando Vilchis, Fernando Trujillo, Mauricio Jiménez (Mao), Josefina, Gerson, Carlos Zapata, Alejandro, Luz María Piña, Hilda, Santiago, compañeros del Servicio Social y demás amigos que hicieron que la estancia en la Facultad fuera especial.*

**A mis profesores**

**ÍNDICE**

## CONSTRUCCIÓN, CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS CARRETEROS

Índice	PÁGINA
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>Capítulo I. Aspectos Generales</b> .....	<b>4</b>
1.1 Elementos de un proyecto de ingeniería civil.....	5
1.2 Vida útil de un proyecto de ingeniería civil.....	8
1.3 Sistemas de transporte.....	10
1.4 Importancia de las Carreteras en los sistemas de transporte.....	12
1.5 Infraestructura de la red carretera.....	15
1.6 Concepto de carretera.....	24
1.7 Clasificación de las carreteras.....	25
1.7.1 Carreteras de integración nacional.....	25
1.7.2 Carreteras de tipo social.....	25
1.7.3 Carreteras para el desarrollo.....	25
1.7.4 Carreteras entre zonas desarrolladas.....	26
1.8 Elementos constitutivos de una carretera.....	31
<b>Capítulo II. Generalidades sobre pavimentos</b> .....	<b>35</b>
2.1 Concepto de Pavimento.....	36
2.2 Pavimentos flexibles.....	40
2.2.1 Carpeta asfáltica.....	42
2.2.2 Base hidráulica.....	47
2.2.3 Sub-base.....	48
2.2.4 Subrasante.....	51
2.2.5 Métodos de diseño.....	55
2.3 Pavimentos rígidos.....	59
2.3.1 Losa de concreto hidráulico.....	60
2.3.2 Sub-base.....	65
2.3.3 Métodos de diseño.....	71
2.4 Otros tipos de pavimentos.....	75
<b>Capítulo III. Procedimientos constructivos</b> .....	<b>78</b>
3.1 Preliminares.....	79
3.1.1 Trazo.....	79
3.1.2 Desmonte.....	79
3.1.3 Despalse.....	81
3.1.4 Cortes superficiales.....	81
3.2 Terracerías.....	82
3.2.1 Realización de cortes.....	83
3.2.2 Compactación del terreno natural.....	85

3.2.3 Formación de terraplenes.....	86
3.2.4 Capa subrasante.....	88
3.2.5 Control de calidad.....	89
3.3 Bancos de préstamo para construcción de pavimentos.....	90
3.3.1 Control de calidad de los materiales utilizados en la construcción de pavimentos.....	91
3.3.2 Sub-base.....	93
3.3.3 Base hidráulica.....	93
3.3.4 Equipo utilizado.....	93
3.4 Riegos y bases.....	95
3.4.1 Riego de impregnación.....	95
3.4.2 Base mejorada.....	97
3.4.3 Base estabilizada.....	98
3.4.4 Riego de liga.....	100
3.5 Carpetas asfálticas.....	101
3.5.1 Tratamientos superficiales.....	101
3.5.1.1 Un riego.....	102
3.5.1.2 Dos riegos.....	102
3.5.1.3 Tres riegos.....	102
3.5.2 Macadam asfáltico.....	103
3.5.3 Mezcla en el lugar.....	103
3.5.3.1 Elaborada con mezcladora móvil.....	103
3.5.3.2 Elaborada con motoconformadora.....	103
3.5.4 Mezcla en planta (Dosificada por volumen).....	103
3.5.5 Concreto asfáltico (Dosificado por peso).....	104
3.5.6 Stone Mastic Asphalt.....	104
3.5.7 Control de calidad.....	106
3.6 Carpetas de Concreto Hidráulico.....	107
3.6.1 Losas de concreto simple y reforzado.....	111
3.6.2 Tipos de juntas.....	112
3.7 Ejemplo de aplicación.....	114
<b>Capítulo IV. Conservación y Rehabilitación de pavimentos Carreteros.....</b>	<b>129</b>
4.1 Indicadores del estado de un pavimento y su determinación.....	130
4.2 Factores que aceleran el deterioro de los pavimentos.....	136
4.2.1 Condiciones climáticas.....	136
4.2.2 Calidad de los materiales y su colocación.....	138
4.2.3 Características del tránsito.....	139
4.3 Tipos de fallas en los pavimentos.....	143
4.3.1 Fallas funcionales.....	143
4.3.2 Fallas estructurales.....	143
4.3.3 Catálogo de fallas en los pavimentos.....	143
4.4 Práctica común de conservación y rehabilitación de pavimentos.....	149
<b>Conclusiones.....</b>	<b>154</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>156</b>

# **INTRODUCCIÓN**

## **INTRODUCCIÓN**

Para un país en vías de desarrollo como México, resulta de vital importancia poseer un sistema carretero que permita la integración en forma rápida, segura y económica de los principales centros productivos con las ciudades y poblados pequeños así como con otras naciones vecinas.

Sin embargo la red carretera nacional resulta insuficiente para satisfacer la demanda correspondiente al crecimiento demográfico y al desarrollo económico del país, por lo que la construcción de estas vías debe ser prioritaria si se pretende tener una economía sólida y un desarrollo sustentable, además conservar las carreteras existentes en un estado de funcionamiento óptimo similar al que tenían cuando fueron construidas además de brindarles rehabilitación periódica debe ser una labor primordial para los ingenieros mexicanos.

En este trabajo pretendemos mostrar las principales técnicas de construcción, conservación y rehabilitación de los pavimentos carreteros, considerando que estos son el elemento más importante de las carreteras y que de su estado depende la funcionalidad de estas.

La construcción, conservación o rehabilitación de una carretera nace de una necesidad que se plasma en un proyecto, por eso en el primer capítulo, Aspectos Generales, explicamos los elementos que lo constituyen de manera general también presentamos la importancia de las carreteras en los sistemas de transporte y la infraestructura carretera que tiene México actualmente, además de mencionar los principales componentes de tales vías.

Una vez que conocemos estos elementos es importante notar que la atención se centra en los pavimentos, por tal, en el segundo capítulo, Generalidades sobre Pavimentos, se describen sus principales características y funciones además de que mencionamos los diferentes tipos de pavimentos que existen.

En el tercer capítulo, Procedimientos Constructivos, se describen las diversas actividades que se desarrollan durante la construcción de un pavimento carretero, diferenciando entre pavimentos rígidos y flexibles que son los más comunes en la práctica de construcción de carreteras en México, además de que hacemos mención de los controles de calidad que se tienen en estos procedimientos.

Para mayor comprensión, en este capítulo presentamos un ejemplo real en donde se explica con apoyo de fotografías el procedimiento constructivo de un pavimento rígido.

En el cuarto capítulo, Conservación y Rehabilitación de Pavimentos Carreteros, explicamos la forma en que se determina el estado de un pavimento y los factores que aceleran su deterioro, además de mencionar las fallas que pueden presentarse en estos, las características de algunas de ellas, las causas que las producen y las técnicas que se utilizan comúnmente para su reparación.

Por último presentamos las conclusiones que elaboramos al terminar este trabajo y que reflejan solamente nuestro punto de vista de este tema, esperando sirva como material de apoyo a las personas interesadas al respecto y en especial a los alumnos que cursan la carrera de Ingeniería Civil y que están inscritos en materias de los últimos semestres.

# **CAPÍTULO I**

## **ASPECTOS GENERALES**

## **CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES**

La importancia de las carreteras está en directa relación con la necesidad de transportar mercancías, de trasladar personas y de intercambiar ideas, está íntimamente relacionada con la demanda de comunicación, tan antigua como el hombre mismo. La influencia de las carreteras se aprecia en todos los aspectos de la vida de las naciones: en lo político, porque favorecen la integración nacional; en lo económico, porque sustentan el desarrollo de la agricultura, de la industria y del comercio; en lo social, porque promueven la comunicación entre poblaciones e individuos, fomentan el turismo nacional e internacional además de que estimulan el desarrollo cultural de los pueblos. En relación con la antigüedad de la transportación por caminos, puede afirmarse que sus principios se remontan a la etapa nómada del hombre, y que respecto a otros tipos de transportación, las carreteras son más antiguas que las vías marítimas, que las ferroviarias y que las aéreas. En cuanto a la velocidad y al costo de operación se refiere, las vías aéreas son las más rápidas, aunque las más caras; seguidamente están las carreteras, menos rápidas, aunque más baratas, después siguen las vías ferroviarias y finalmente, las marítimas, que son más baratas, aunque más lentas. En lo siguiente se describirán algunos aspectos generales de este tema.

### **1.1 Elementos de un proyecto de Ingeniería Civil**

Un proyecto cualquiera se puede definir como una actividad cíclica y única para tomar decisiones, en la que el conocimiento de las bases de la ciencia de la ingeniería, la habilidad matemática y la experimentación se conjugan para poder transformar los recursos naturales en sistemas y mecanismos que satisfagan las necesidades humanas. Existen dos tipos básicos de proyectos, el proyecto por evolución y el proyecto por innovación. El proyecto por evolución es una actividad que predominaba anteriormente y consistía en introducir mejoras a un sistema establecido de manera que fuera un proceso evolutivo, hasta alcanzar un nivel deseado en un momento determinado. Este proceso era lento ya que los cambios eran introducidos al sistema por los propios consumidores que deseaban algún cambio.

El proyecto por innovación, en cambio, demanda de actividad creativa e intelectual, requiere de prever las necesidades futuras para proyectar con esa idea en mente. Este tipo de proyecto es un proceso complejo que, sin embargo, puede sistematizarse y dividirse en diversos elementos o fases por los que atraviesa para lograr una solución óptima. En las fases que a continuación se mencionan quedan enmarcadas todas las actividades que constituyen un proyecto, desde su concepción, hasta la culminación de su vida útil, y son:

- Planeación
- Diseño
- Construcción
- Operación y,
- Mantenimiento

La **planeación** se puede definir como un proceso de análisis sistemático, documentado y tan cuantitativo como sea posible, previo al mejoramiento de una situación, así como el establecimiento de los actos que conducen a dicho mejoramiento.

Se puede clasificar de diferentes formas:

En cuanto a su aplicación

- **Indicativa:** Se deja actuar libremente a la economía de mercado, indicando por medio de medidas de tipo fiscal la conveniencia de que los empresarios inviertan en una cierta zona o sector, y a un determinado tiempo.
- **Imperativa:** Las actividades productivas se llevan a cabo por total impulso y dirección del estado.

Por lo que respecta a su área de aplicación:

- Global
- Sectorial

En cuanto al tiempo:

- Corto plazo (hasta 5 años)
- Mediano plazo (de 5 a 10 años)
- Largo plazo (más de 10 años)

Además la planeación puede ser multidisciplinaria e interdisciplinaria.

En términos generales los mecanismos de la planeación son:

- Conocimiento de la situación actual que se pretende cambiar
- La necesidad y el interés por parte de la colectividad de realizar una modificación y su proyecto a futuro, lo que significa definir una meta
- Una proposición que sea la expresión concreta del deseo de la colectividad
- Un juicio que valore las consecuencias de la proposición
- Un programa que ordene en el tiempo y el espacio, el desarrollo de los actos necesarios
- Confrontación de resultados.

Estos mecanismos pueden resumirse en dos etapas: Por una parte los estudios previos que comprenden la localización del lugar más adecuado para la construcción de la obra, los beneficios esperados, factibilidad económica, etc. Y por otra la programación propia de la obra, entendida como la ordenación en el tiempo y en el espacio de los acontecimientos.

El **diseño** consiste en la utilización de principios científicos, información técnica y creatividad, para la definición de una obra que cumpla funciones específicas con el máximo de economía y eficiencia.

En esta etapa, el diseñador deberá apoyarse en los datos y requerimientos proporcionados por la planeación, para definir las posibles soluciones a un problema determinado, plasmando posteriormente en planos y especificaciones la solución óptima.

En el diseño de una obra, intervienen invariablemente diversas disciplinas o especialidades como: mecánica de suelos, hidráulica, estructuras, etc.

El ingeniero civil dedicado a diseño, debe tomar en consideración durante su trabajo, la factibilidad técnica y económica de su proyecto, de lo contrario, llegará a especificar soluciones que desde el punto de vista constructivo sean prácticamente imposibles de realizar o bien antieconómicas.

El ingeniero civil encargado del diseño de cualquier obra de ingeniería requiere de ciertas habilidades como: capacidad de expresarse matemática, gráfica y verbalmente, habilidad en la simulación de fenómenos, etc.

Una vez que se han terminado los planos de diseño y que se han preparado las especificaciones, que son el lenguaje con el que se relacionan la etapa del diseño y la de la **construcción**, esta última se encarga de la realización física de la obra.

Las obras que el ingeniero civil realiza en esta área, son muy diversas y abarcan todos los sectores de la actividad económica, lo variado de estas y los problemas que se presentan durante la construcción, obligan al especialista en ésta área a tener una preparación muy completa en todas las ramas de la ingeniería civil; necesariamente tiene que relacionarse con ingenieros de otras especialidades, y, de acuerdo con la complejidad de la obra, frecuentemente forma parte de equipos interdisciplinarios.

En forma resumida, las actividades que realiza el ingeniero civil en esta área son:

- Planeación de la construcción: esta actividad abarca la elaboración de presupuestos, selección de procedimientos de construcción y de equipo, elaboración de programas de ejecución, de insumos financieros, etc.
- Ejecución: con base en planos y especificaciones y de acuerdo con la planeación establecida, el ingeniero organiza sus recursos humanos fijando a cada persona, políticas y procedimientos específicos a seguir.
- Resuelve problemas particulares que se presentan en la realización de la obra y establece y mantiene una comunicación adecuada dentro y fuera de la obra.
- Control: establece y opera los mecanismos necesarios para mantener la calidad dentro de lo especificado. Vigila la oportuna realización de los trabajos para que sean ejecutados dentro de los tiempos previstos. Cuida que los

costos no sobrepasen lo planeado y retroalimenta la planeación cuando las desviaciones son significativas.

- Seguridad: cuida y es responsable de la seguridad de los trabajadores en el desempeño de sus labores.

Después de que se ha terminado la obra, debe ponerse en **operación**, siguiendo los procedimientos preestablecidos. En muchas ocasiones la operación no es realizada directamente por el Ingeniero Civil, pero si interviene de diversas maneras por medio de equipos interdisciplinarios.

Para que una obra funcione bajo condiciones óptimas de servicio y seguridad, es necesario realizar permanentemente trabajos de **mantenimiento**, que consiste en cuidar o conservar la permanencia de la obra, de manera que cubra la vida útil para la que se diseñó.

## **1.2 VIDA UTIL DE UN PROYECTO DE INGENIERIA CIVIL.**

Es fundamental tener una idea clara acerca de lo que se debe entender por vida útil de un proyecto de ingeniería civil, por ello es necesario definir algunos términos que se relacionan con este concepto.

### **VIDA INICIAL.**

Comienza desde el mismo instante de la terminación de la construcción del elemento y es el lapso en el cual el comportamiento del mismo sufre alteraciones. Esto es, cuando se hacen evidentes los defectos de construcción, así como la deficiente calidad de los materiales y de la mano de obra.

### **VIDA UTIL.**

Esta etapa se inicia después de la vida de prueba o vida inicial, y es aquella en donde la obra mantiene una eficiencia más o menos alta y estable, finaliza en el lapso en el que el desgaste se efectúa o la eficiencia empieza a decrecer rápidamente. En este período el mantenimiento es casi constante en su índice de costo, frecuencias y cargas de trabajo.

Las obras van sufriendo deterioros a través de los años, presentando diferentes condiciones de servicio a lo largo de su ciclo de vida. Este deterioro se muestra en la figura 1, la cual nos muestra una curva de deterioro de una carretera que empieza en un punto alto y luego desciende gradualmente hasta llegar a un punto bajo. El organismo encargado debe intervenir antes de la descomposición total del camino, mediante su rehabilitación o reconstrucción.

Después de efectuada la medida, la carretera vuelve a ser buena, hecho que queda representado por una subida abrupta de la curva, hasta el nivel más alto.

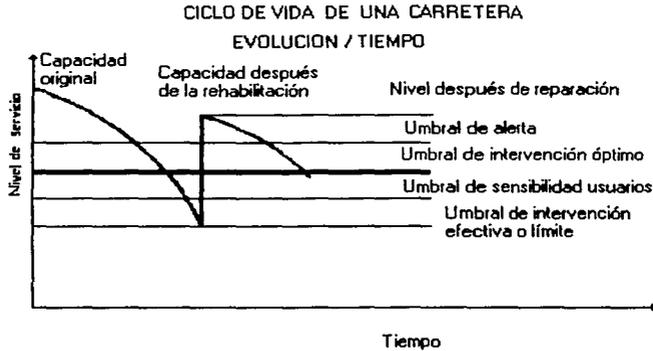


Figura 1. ciclo de vida de una carretera

Conforme pasa el tiempo, todo el proceso se repite y la curva toma la forma de sierra invertida, en el cual los dientes representan las intervenciones al camino.

Los dientes pueden estar más o menos distantes uno de otros, representando la rapidez del deterioro y dependiendo del volumen del tránsito, clima, la calidad de la construcción original y del mantenimiento que se efectúa. Los espacios entre dientes pueden ser más o menos profundos, lo que representa la política de intervención; ésta puede ser de conservación, rehabilitación y reconstrucción.

La utilización de estas gráficas permite vigilar la evolución y el comportamiento de los tramos y su velocidad de degradación para programar las nuevas acciones en el tiempo preciso y así prolongar la vida útil del pavimento más allá del proyecto y con productividad y repercusión en los costos de mantenimiento.

### 1.3 Sistemas de transporte

El transporte se puede definir como el movimiento de mercancías y personas por los medios que conocemos para tal fin. El transporte es un factor de integración y coordinación en nuestra sociedad y cobra gran importancia en la distribución de mercancías, ya que estas no tienen valor a menos que sean útiles, esto es, a menos que puedan satisfacer necesidades. En la actualidad los transportes representan un papel importante dentro de la vida cotidiana, es muy difícil imaginar una sociedad en la que éstos no formen parte del desarrollo económico.

En México el Sistema Nacional de Transporte comprende todas las líneas y los servicios de transporte del país, subdividiéndose a su vez en transporte regional, estatal y urbano.

Los sistemas de transporte se integran por cinco componentes principales que son:

- Vehículo
- Fuerza motriz
- Caminos
- Terminales
- Sistemas de control

Componentes	Modos de transporte				
	Carretero	Ferrovionario	Urbano	Aéreo	Fluviomarítimo
Vehículos	Automotores con neumáticos	Trenes Locomotoras y carros	Vehículos automotores con neumáticos	Aeronaves	Embarcaciones, equipos sumergibles
Fuerza Motriz	Motor de gasolina, diesel	Máquinas eléctricas y de vapor	Motor de gasolina, diesel	Motores de gasolina, diesel, Turbinas	Motor de gasolina, diesel, reactores
Caminos	Carreteras, autopistas, caminos	Vías, patios, obras conexas	Calles, avenidas, calzadas	Rutas aéreas, Espacio aéreo	Océanos, mares, lagunas, ríos, canales, esteros
Terminales	Paraderos, Estaciones,	Estaciones y terminales	Estaciones, paraderos, estacionamientos	Aeropuertos, helipuertos	Puertos
Sistemas de Control	Semáforos, señalización, Topes, Agentes de tránsito	Centros de control, semáforos, señalización, personal de señalización	Semáforos, señalización, topes, agentes de tránsito	Centros de control, torres de control, ayudas visuales a la navegación	Capitanía de puertos, Faros

Tabla 1 Componentes de los sistemas de transporte

En México para la modernización del Sistema de Transporte Nacional se debe brindar atención especial a la conservación y mantenimiento de la infraestructura especialmente a los tramos y terminales que atienden el comercio internacional, a la ampliación de los segmentos carreteros de tráfico intenso, al fomento del intermodalismo del transporte, a la promoción del uso del contenedor y al equipamiento adecuado de los puntos de traslado, a modificar algunos de los reglamentos de operación de los distintos medios a fin de flexibilizar y hacer más eficiente su servicio, a sanear financieramente y reorganizar la operación del ferrocarril, a promover y elevar la calidad de los servicios de apoyo al transporte especialmente los relacionados con las telecomunicaciones y la informática.

#### **1.4 IMPORTANCIA DE LAS CARRETERAS EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE**

El hombre en su eterna necesidad de transportarse y comunicarse, ha heredado obras en cantidad y calidad para el disfrute de la comunidad.

El sistema de transporte ejerce una influencia predominante en las condiciones económicas, sociales, administrativas y políticas, constituyendo uno de los elementos esenciales de su infraestructura.

Además de ser un importante detonante de desarrollo social entre poblaciones marginadas, en este sistema se cimientan las cadenas de producción y distribución de mercancías en todo el territorio nacional y es también el sustento de los sectores generadores de divisas, como el exportador y el de turismo.

La construcción de carreteras produce como resultado la descentralización de la vida nacional, puesto que a través del desplazamiento de las actividades productivas y el bienestar social, disminuye en gran medida, la emigración a los grandes centros urbanos.

Un buen sistema carretero permite que el gobierno federal lleve, programas de asistencia o los distintos sectores de la población, como salud e higiene, educación, energía eléctrica, agua potable, drenaje, etc., así como la ayuda oportuna en caso de desastre.

Los efectos que producen en el aspecto económico las carreteras son muy variados. Contando con gran extensión y buena distribución de las mismas se logra que los transportes sean baratos, interviniendo en los costos de producción y distribución de los bienes y servicios, como en la disposición de los mismos en el momento en que se necesitan, trayendo consigo reducción de costos para los productores, en la exportación de sus productos, redundando en que el país produzca y ofrezca precios que le permitan estar en posibilidades de competir con el exterior.

Si consideramos que en México el transporte carretero es el medio más importante debido al considerable número de pasajeros y carga que son movilizados a lo largo del territorio nacional, se comprende la importancia estratégica que tiene para la economía del país la conservación de su infraestructura carretera y la necesidad de incrementar su longitud.

**Crecimiento de la Red Federal de Carreteras**

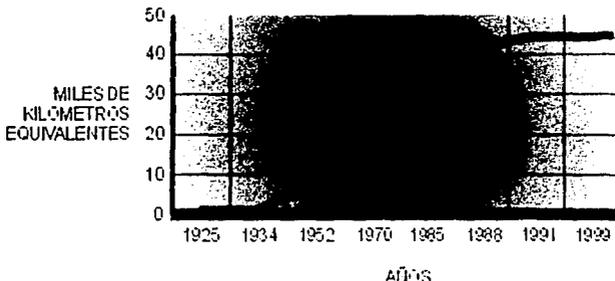
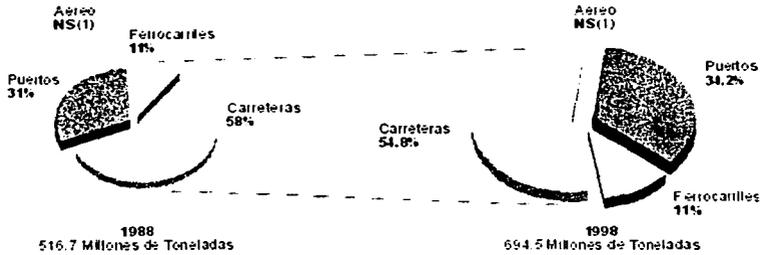


Figura 2

Cabe señalar que el 30% de la longitud de la red federal soporta tránsitos diarios de más de 5,000 vehículos y el 21% tiene problemas de capacidad para atender sus tránsitos en condiciones óptimas de seguridad y economía, ya que durante los últimos 10 años la carga transportada por carretera en México se ha incrementado en un 27.4% y los pesos autorizados de los vehículos han crecido de manera importante, al pasar de 34 toneladas en 1960 a 66.5 en 1997. Asimismo, en el período de 1988 a 1998 los pasajeros transportados por carretera se incrementaron en un 44.0%.

**Carga Transportada**



**Transporte de Pasajeros**

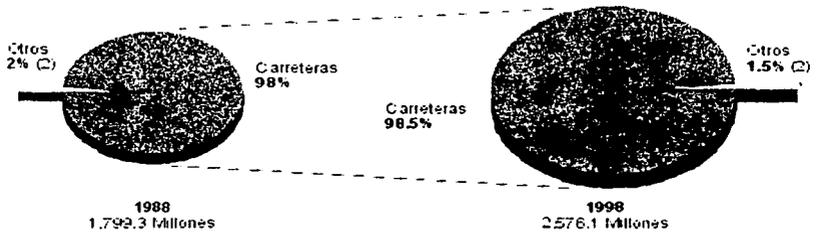


Figura 3

El tránsito carretero movilizó durante 1998 el 98.5% de los 2,576.1 millones de pasajeros internos nacionales y el 54.8% de un total de 694.5 millones de toneladas de carga. En la medida en que la red carretera opere en condiciones más favorables de fluidez y de seguridad del tránsito, aumentará su capacidad de proporcionar un transporte eficiente, con los consecuentes beneficios para la nación.

### **1.5 Infraestructura de la red carretera**

En materia de infraestructura carretera los rezagos son evidentes tanto en la extensión como en el estado actual de conservación de la red federal; en la discontinuidad de los principales ejes troncales; en la falta de libramientos; en la insuficiente cobertura y mantenimiento de los caminos rurales; y en la carencia de accesos terrestres adecuados en algunos puertos marítimos y fronterizos.

La obsolescencia de la red es manifiesta: el congestionamiento de algunos tramos, el rápido deterioro de los pavimentos y el diseño de curvas y pendientes, se traduce en el número de accidentes y en el mayor costo del transporte. Adicionalmente y si bien hubo avances en el Programa Nacional de Autopistas, la infraestructura de carreteras de altas especificaciones presenta, también, falta de continuidad en los grandes ejes que la conforman y deficiencias en las conexiones con algunas ciudades, puertos y fronteras, sin embargo en México la mejor alternativa para transportar bienes y personas es sin duda el Sistema Nacional de Carreteras.

Según la Dirección General de Evaluación de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes el Sistema Nacional de Carreteras tiene una extensión de 303 262 km y comunica entre sí a las capitales de los estados, cabeceras municipales, zonas urbanas, zonas rurales, puertos, fronteras, aeropuertos y a los principales centros de producción y consumo. Se estima que se encarga del 98.5 % del movimiento doméstico de pasajeros y alrededor del 85 % del de carga terrestre.

Esta red es el resultado de la evolución económica lograda en las últimas décadas y es de vital importancia para el desarrollo nacional, por lo que su ampliación y conservación resulta primordial.

El sistema Nacional de Carreteras se integra como lo indica el siguiente cuadro.

<b>SISTEMA NACIONAL DE CARRETERAS</b>			
<b>Clasificación</b>	<b>Pavimentadas (km)</b>	<b>No pavimentadas (km)</b>	<b>Total (km)</b>
<b>Red federal</b>	<b>47,960</b>	<b>651</b>	<b>48,611</b>
Libre (A cargo de la SCT)	42,277 <sup>1/</sup>	651	42,928
Autopistas de cuota	5,683	0	5,683
A cargo de Capufe	1,420	0	1,420
Concesionadas a particulares	3,176	0	3,176
Concesionadas a gobiernos de los estados	1,087	0	1,087
<b>Red estatal</b>	<b>44,458</b>	<b>12,201</b>	<b>56,659</b>
Libre	43,853	12,201	56,054
Autopistas de cuota	605	0	605
<b>Caminos rurales</b>	<b>3,527</b>	<b>143,929</b>	<b>147,456</b>
A cargo de la SCT	1,845	73,433	75,278
A cargo de gobiernos de los estados	1,127	25,307	26,434
A cargo de otros	555	45,189	45,744
<b>Brechas</b>	<b>0</b>	<b>50,536</b>	<b>50,536</b>
<b>TOTAL</b>	<b>95,945</b>	<b>207,317</b>	<b>303,262</b>

Tabla 2 Sistema Nacional de Carreteras

Fuente: SCT. Dirección General de Evaluación (1998)

De este cuadro se desprende lo siguiente:

La infraestructura estatal consta de 56,054 kilómetros de carretera libres y 605 de carreteras de cuota. Del total, 44 002 kilómetros están pavimentados.

Además, el sistema nacional de carreteras cuenta con 147,456 kilómetros de caminos rurales, de los que alrededor del 50 por ciento son atendidos por la SCT.

También se tienen identificados más de 50 mil kilómetros de brechas que, por sus características, sólo son transitables en determinadas épocas del año.

La red federal de carreteras, está constituida por 42,928 kilómetros de caminos libres y 5,683 kilómetros de autopistas de cuota. El 98.7 por ciento de ella se encuentra pavimentada.

Se detectó que la columna vertebral del Sistema Carretero Nacional esta integrada por 10 ejes troncales que comunican las principales zonas de producción industrial y agropecuaria, así como las más importantes localidades urbanas y centros turísticos a lo largo y ancho del país. En estos ejes, existen tramos con volúmenes diarios de tránsito que oscilan entre 2 mil y 30 mil vehículos, estos ejes se constituyen por los siguientes tramos:

#### **EJES TRONCALES DEL SISTEMA CARRETERO NACIONAL**

1. México-Guadalajara-Tepic-Mazatlán-Guaymas-Hermosillo-Nogales, con ramales a Lázaro Cárdenas y Tijuana.
2. México-Querétaro-San Luis Potosí-Salttillo-Monterrey-Nuevo Laredo, con ramales a Reynosa y Piedras Negras.
3. Querétaro-Irapuato-León-Lagos de Moreno-Aguascalientes-Zacatecas-Torreón-Chihuahua-Ciudad Juárez.
4. Acapulco-Cuernavaca-México-Pachuca-Tuxpan-Tampico-Matamoras.
5. México-Puebla-Coatzacoalcos-Campeche-Mérida-Cancún-Chetumal, con ramales a Oaxaca y Chiapas.
6. Mazatlán-Durango-Torreón-Salttillo-Monterrey-Reynosa-Matamoras.
7. Manzanillo-Guadalajara-Lagos de Moreno-San Luis Potosí-Tampico.
8. Acapulco-Cuernavaca-Puebla-Veracruz.
9. Veracruz-Tampico-Monterrey.
10. Tijuana-Santa Rosalía-La Paz-Cabo San Lucas (Transpeninsular).

### Ejes troncales del Sistema Carretero Nacional

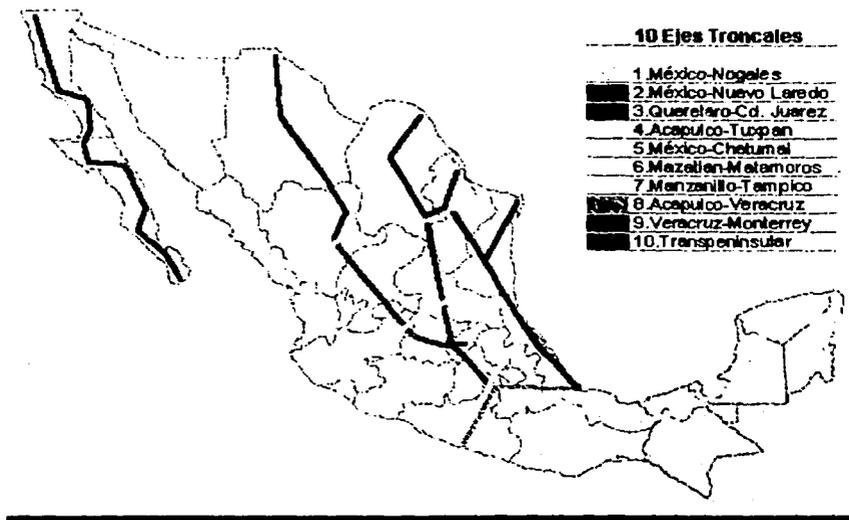


Figura 4. Fuente. Sitio WEB de la SCT

El diagnóstico de la Red Carretera Nacional es el siguiente:

#### Red federal libre

La red federal libre a cargo de la SCT tiene 40,109 kilómetros de carreteras de dos carriles, 2,619 de cuatro carriles, y 200 de más de cuatro carriles de circulación.

El 53 por ciento de estas carreteras tiene más de 30 años de servicio, mientras que tan sólo el 11 por ciento se construyó hace menos de 15 años. Con el paso del tiempo, los volúmenes de tránsito han aumentado gradualmente, de tal forma que hoy el 21 por ciento de la red soporta tránsitos superiores a 5 mil vehículos diarios.

Del total de la red, aproximadamente el 50 por ciento atiende los grandes flujos del movimiento troncal nacional, en tanto que el resto cumple una función de carácter regional.

Un elemento a considerar es que los pesos y dimensiones de los vehículos autorizados para circular por las carreteras libres han crecido significativamente, sin que se hayan modificado en forma paralela las características estructurales y geométricas de los caminos. Por ejemplo, en 1960 el automotor más grande y pesado era de tres ejes y 10 toneladas, lo que contrasta con los vehículos de nueve ejes y 66.5 toneladas autorizados en 1994.

Por otra parte, el mal estado de los pavimentos genera un sobrecosto de operación de los vehículos que, según estudios del Instituto Mexicano del Transporte, se estima en alrededor de 6 mil millones de pesos anuales, derivado del incremento en el consumo de combustibles, lubricantes, llantas y refacciones, así como por el acelerado deterioro de la flota vehicular.

Durante los últimos años, las inversiones destinadas a la conservación, reconstrucción, modernización y ampliación de la red federal libre han sido insuficientes, dada su gran extensión, su estado físico, el constante incremento de los volúmenes de tránsito y los efectos recurrentes de fenómenos naturales. Como consecuencia de lo anterior, esta infraestructura ha experimentado un progresivo deterioro. Si bien, a partir de 1993 los niveles de inversión han evitado mayores daños a su estado físico, ello no ha permitido recuperar los rezagos acumulados en este importante renglón.

### ESTADO FISICO DE LA RED FEDERAL LIBRE

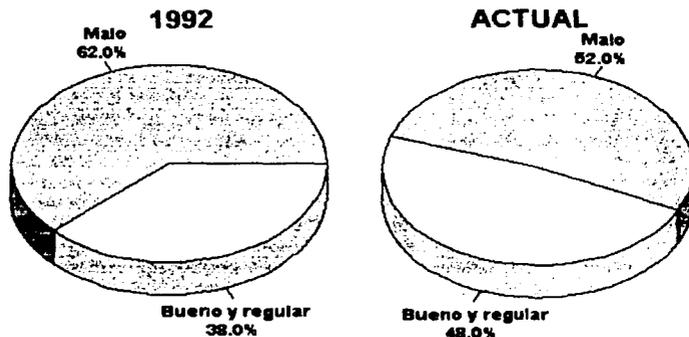


Figura 5. Fuente: SCT. Dirección General de Conservación de Carreteras

La situación de los puentes carreteros merece especial atención. De los 6,346 puentes en la red federal, alrededor de 200 requieren ser reforzados y rehabilitados para continuar garantizando una circulación segura y permanente. Las carreteras federales presentan otros problemas. Algunos de ellos inciden en la seguridad de los usuarios. Destacan en este sentido la obsoleta geometría de algunos tramos, que se manifiesta en curvas cerradas y pendientes pronunciadas, y la existencia de entronques a nivel entre vías transitadas.

Por lo que se refiere a la señalización, su escaso mantenimiento, la falta de oportunidad en la reposición de señales, así como la ausencia de ellas en determinados sitios conflictivos, se traduce en punto crítico para la seguridad. Es de mencionarse que el uso indebido del derecho de vía en las carreteras se ha convertido en un factor de riesgo que afecta la seguridad en el transporte y dificulta los trabajos de su modernización, conservación y mantenimiento, así como el desarrollo ordenado de los servicios conexos.

A partir de la década de los ochenta, las inversiones asignadas a la construcción de nuevas carreteras han conducido tan sólo a un crecimiento marginal de la red federal libre. Además, han tendido a diluirse en un considerable número de obras en las que se avanzó con lentitud. Dado que la expansión sostenida de esta infraestructura se ha dificultado, su cobertura es todavía insuficiente a lo largo de las fronteras y de algunos ejes transversales de comunicación. Contribuye, en este sentido, la falta de libramientos que den continuidad al tránsito interurbano y de accesos que mejoren la conexión de las carreteras con la vialidad urbana, y con puertos marítimos y enlaces fronterizos.

En lo que toca a la modernización de la red, las inversiones tampoco han sido suficientes para ampliar la capacidad y mejorar la seguridad en los niveles deseados. El cuadro siguiente presenta una visión de los tramos que, a lo largo de los diez ejes troncales del sistema, requieren en mayor medida ser modernizados. En el siguiente cuadro se muestran los tramos que se deben de modernizar por cada eje troncal:

EJES TRONCALES Y TRAMOS POR MODERNIZAR				
EJE	Longitud en kilómetros			Tramos por modernizar
	Total	Modernizada	Faltante	
México-Guadalajara-Tepic-Mazatlán-Guaymas-Hermosillo-Nogales, con ramales a Lázaro Cárdenas y Tijuana	3,036	1,976	1,060	Entronque San Blas-Villa Unión (227 km) San Luis Rio Colorado-Sonoyta (200 km) Santa Ana-Caborca-Sonoyta (254 km) La Rumorosa-Tecate (54 km) Pátzcuaro-Uruapan (56 km) Uruapan-Lázaro Cárdenas (269 km)
México-Querétaro-San Luis Potosí-Salttillo-Monterrey-Nuevo Laredo, con ramales a Reynosa y Piedras Negras	1,816	1,094	722	San Luis Potosí-Puerto México (393 km) Saltillo-Castaños (170 km) Monclova-Sabinas (90 km) Agujita-Allende (55 km) Allende-Nava (14 km)
Querétaro-Irapuato-León-Lagos de Moreno-Aguascalientes-Zacatecas-Torreón-Chihuahua-Cd. Juárez	1,610	1,293	317	Aguascalientes-Zacatecas (111 km) Ent. Ramón López Velarde-Cuencamé (206 km)
Acapulco-Cuernavaca-México-Tuxpan-Tampico-Matamoras <sup>1/</sup>	1,044	202	842	Pirámides-Tihuatlán (185 km) Tuxpan-Tampico (193 km) Tres Marias-Estación Manuel (47 km) Est. Manuel-Soto La Marina (148 km) Soto La Marina-Matamoras (269 km)
México-Puebla-Coatzacoalcos-Campeche-Mérida-Cancún-Chetumal, con ramales a Oaxaca y Chiapas	2,806	1,607	1,199	Agua Dulce-Cárdenas (82 km) Villahermosa-Cd. del Carmen (168 km) Cd. del Carmen-Champotón (147 km) Campeche-Mérida (192 km) Cárdenas-P. Nezahualcoyotl (132 km) Ocozacoatlá-Las Cruces (67 km) Las Cruces-Arriaga (47 km) Cancún-Chetumal (379 km)
Mazatlán-Durango-Torreón-Salttillo-Monterrey-Reynosa-Matamoras <sup>1/</sup>	753	388	365	Mazatlán-Durango (294 km) Reynosa-Matamoras (71 km)
Manzanillo-Guadalajara-Lagos de Moreno-San Luis Potosí-Tampico <sup>1/</sup>	908	381	527	Lagos de Moreno-San Luis Potosí (130 km) San Luis Potosí-Cd. Valles (259 km) Cd. Valles-Tampico (138 km)
Acapulco-Cuernavaca-Puebla-Veracruz <sup>1/</sup>	446	344	102	Atlixco-Alpuyeca (102 km)
Veracruz-Tampico-Monterrey <sup>1/</sup>	737	192	545	Cardel-Nautla (122 km) Nautla-Poza Rica (97 km) Est. Manuel-Cd. Victoria (162 km) Cd. Victoria-Linares (164 km)
Transpeninsular de Baja California	1,738	200	1,538	R. Sánchez Taboada-Gro. Negro (592 km) Guerrero Negro-La Paz (770 km) La Paz-Entronque Aeropuerto San José del Cabo (176 km)
<b>TOTAL</b>	<b>14,894</b>	<b>7,677</b>	<b>7,217</b>	

Tabla 3. Fuente: SCT. Dirección General de Servicios Técnicos (1998)

De los 7,217 kilómetros pendientes de modernizar dentro de los ejes troncales, hay alrededor de 3 mil kilómetros a los que debe darse atención preferente en razón de sus actuales condiciones de servicio y de su utilización creciente, prevista para el corto plazo. De igual manera, existen tramos que, a pesar de no pertenecer a los ejes troncales, también requieren de acciones de modernización en el futuro cercano.

Por último, desde el punto de vista institucional, es de reconocer la presencia de otros factores que afectan el desarrollo de los programas carreteros, como son la falta de personal calificado; la desactualización de las normas técnicas; la insuficiencia de estudios básicos y proyectos ejecutivos; y el debilitamiento de los sistemas de planeación, control y supervisión de obras.

### Autopistas de cuota

La red de autopistas de cuota, conformada por las que opera Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (Capufe) y las concesionadas, tiene una extensión total de 5,683 kilómetros, de los cuales 867 son de dos carriles; 4,795 de cuatro; y 21 de seis o más carriles de circulación.

Durante los últimos años, se avanzó sustancialmente en la integración de esta red mediante concesiones en que se cuenta con una importante participación del sector privado. Las autopistas de cuota que actualmente están en operación aparecen en el cuadro siguiente:

<b>AUTOPISTAS FEDERALES DE CUOTA EN OPERACION</b>	
<b>(Kilómetros)</b>	
<b>Autopista</b>	<b>Long.</b>
<b>AUTOPISTAS CONCESIONADAS AL SECTOR PRIVADO</b>	<b>3,176</b>
Armeria-Manzanillo	37
Arriaga-Huixtla y Libramiento Tonalá y Huixtla	220
Cadereyta-Reynosa	175
Chamapa-Lechería	27
Chamotón-Campeche	38
Constituyentes y Reforma-La Marquesa	21
Córdoba-Veracruz	108
Cuernavaca-Acapulco	263
Durango-Yerbanis	105
Ecatepec-Pirámides	22
Guadalajara-Tepic	194
Guadalajara-Zapotlanejo	26
Kantunil-Cancún	240
La Tinaja-Cosoleacaque	228
León-Lagos de Moreno-Aguascalientes	116
Libramiento de Manzanillo	19
Libramiento Oriente de San Luis Potosí	34
Libramiento Poniente de Tampico	14

Maravatio-Zapotlanejo	311
Mazatlán-Culiacán	207
Mexicali-Tecate y Libramiento de Mexicali	46
Monterrey-Nuevo Laredo	146
Puente El Zacatal-Cd. del Carmen	4
Puente Internacional Zaragoza-Ysleta	7
San Martín Texmelucan-Tlaxcala	26
Tijuana-Tecate y Libramiento Tecate	38
Torreón-Cuencamé-Yerbanis	119
Torreón-Saltillo	233
Zapotlanejo-Lagos de Moreno	152
<b>AUTOPISTAS CONCESIONADAS A GOBIERNOS DE LOS ESTADOS</b>	<b>1,087</b>
Camargo-Jiménez y El Sueco-Villa Ahumada	188
Carbonera-Puerto México "Los Chorros"	34
Cardel-Veracruz y Libramiento de Cardel	31
Delicias-Camargo	65
Estación Don-Nogales	469
Gómez Palacio-Jiménez	184
Libramiento Calera-Victor Rosales	9
Libramiento de Fresnillo	19
Libramiento Nororiente de Querétaro	37
Libramiento Oriente de Saltillo	22
Peñón-Texcoco	16
Puente Internacional Libre Comercio	4
Puente Internacional Reynosa-Pharr	8
Puente Internacional Solidaridad-Colombia	1
Puente San Miguel (Río Fuerte)	-
<b>AUTOPISTAS CONCESIONADAS OPERADAS POR CAPUFE</b>	<b>548</b>
Atacomulco-Maravatio	64
Guadalajara-Colima	148
México-Cuernavaca y tramos complementarios	182
Tepic-Entronque San Blas	25
Tihuatlán-Tuxpan, Puente Tuxpan y México-Pachuca	129
<b>TOTAL DE AUTOPISTAS CONCESIONADAS EN OPERACION</b>	<b>4,811</b>
<b>OTRAS AUTOPISTAS OPERADAS POR CAPUFE</b>	<b>872</b>
<b>TOTAL</b>	<b>5,683</b>

Tabla 4

## **1.6 CONCEPTO DE CARRETERA.**

El sistema de caminos se inició utilizando las calzadas de las vías antiguas, por donde circula el transporte de tracción, modificándose, después gradualmente, por la evolución de técnicas y tecnologías, utilizadas en la realización de este tipo de obra, por estas características podemos denominarlas caminos o vías rurales, mientras que el nombre de carretera se aplica a los caminos de características modernas, destinados al movimiento de gran número de vehículos.

Así que el término Carretera se puede definir como la adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que llena las condiciones de ancho, alineamiento y pendiente para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales ha sido adaptada.

A continuación se describirán brevemente los términos ancho, alineamiento y pendiente que han sido mencionados en la definición.

El ancho de un camino es de suma importancia debido a que este es un factor de gran repercusión en la capacidad del tránsito y el costo de la obra. Existen dos elementos de gran importancia para determinar el ancho de cada vía de circulación:

- Las dimensiones máximas de los vehículos.
- La velocidad de los mismos.

Estos dos elementos son de suma importancia, ya que a mayor velocidad, se requiere un ancho mayor de vía, pues los vehículos tienden a separarse más del bordo de la carpeta asfáltica. Además, el ancho de vía tendrá que considerar un acotamiento u hombro para proporcionar una sensación de seguridad al conductor y el de ofrecerte la posibilidad de estacionar su vehículo cuando éste sufra alguna avería.

El alineamiento de un camino, es la proyección sobre un plano (horizontal y vertical) de su eje de proyecto, según sea el plano de proyección.

La pendiente de una carretera es el perfil tomado a lo largo de la línea central del camino, es decir, se define como la diferencia de los niveles o cotas entre dos puntos obligados

## **1.7 Clasificación de las carreteras**

Alguna vez se ha comentado que las carreteras son la infraestructura de la infraestructura, y con gran razón, ya que una vez que se han construido éstas, es más fácil proporcionar el resto de los servicios. Debido a que las carreteras son los detonadores de la economía de una región y por tanto del desarrollo social es necesario clasificarlas según estos beneficios. Por lo tanto, de acuerdo a su utilidad socio-económica las carreteras se pueden clasificar en: carreteras de integración nacional, carreteras de tipo social, carreteras para el desarrollo y carreteras entre zonas desarrolladas.

### **1.7.1 Carreteras de integración nacional**

Este tipo de carretera se distingue por que sirven principalmente para tener unido el territorio nacional, esto con el fin de llevar el desarrollo a regiones marginadas. En México las primeras carreteras de este tipo se construyeron para unir la capital de la república con las capitales de los estados, tiempo después estas carreteras unieron a las capitales entre sí. Los gobernantes son finalmente los que deciden el número de obras de este tipo que se construirán, así como el monto programado para tal efecto.

### **1.7.2 Carreteras de tipo social**

El objetivo de estas carreteras es el de introducir al desarrollo nacional a los núcleos sociales que han permanecido marginados por falta de comunicación. La valoración de estas carreteras se hace por medio del costo por habitante servido, que se calcula dividiendo el costo total de la obra entre el número de habitantes por servir, a este cociente se le llama índice de servicio. Generalmente las carreteras de este tipo tienen una corona constituida por un solo carril, la superficie de rodamiento es aglutinada (de forma natural o con productos químicos), para soportar el tránsito y las condiciones regionales del ambiente, de manera tal que se tenga comunicación todo el año.

Generalmente estas carreteras se diseñan con especificaciones geométricas (pendiente y grado de curvatura) máximas para que el costo sea el mínimo tanto en la construcción como en el mantenimiento.

### **1.7.3 Carreteras para el desarrollo**

La principal característica de estas carreteras es que sirven para propiciar el auge agrícola, ganadero comercial, industrial o turístico de la zona de influencia. Su rentabilidad se determina mediante un índice de productividad, que se calcula dividiendo los beneficios (suma de los costos de producción que se perciben durante un determinado tiempo que por lo general es de cinco años) entre el costo de la obra. La corona de este tipo de carreteras mide usualmente entre 7 m y 11m.

### **1.7.4 Carreteras entre zonas desarrolladas**

Son carreteras o autopistas de altas especificaciones cuyo objetivo es el de comunicar sólo los puntos que han alcanzado mayor desarrollo; por lo tanto serán directos, con los que se disminuyen las distancias de recorrido. Se construyen para disminuir los costos de operación, induciendo al mejoramiento del tránsito en los caminos regionales, el nivel de servicio debe ser mayor que en el resto de carreteras, por lo que la operación debe ser más segura y cómoda. Por lo general tienen el acceso restringido y pueden ser de 2, 4 o más carriles dependiendo del tránsito de proyecto.

Su rentabilidad se determina a través de la relación beneficio – costo, denominado índice de recuperación, que se calcula dividiendo los ahorros que se obtendrán al utilizarse la nueva obra (pueden ser de combustible, lubricantes, horas-hombre, comodidad y seguridad, por mencionar algunos) entre el costo de la construcción.

Las carreteras de altas especificaciones que operan en la República Mexicana fueron proyectadas para mejorar los índices de seguridad, de velocidad y economía. Cuentan con mejores especificaciones geométricas de curvatura, mayor distancia de visibilidad, pendientes moderadas, señalamientos, mayores dimensiones de sus carriles y acotamientos, características que las convierten en mejores y más seguras.

Tienen control de acceso a lo largo de su recorrido, ya que el derecho de vía se encuentra protegido por alambradas y cuenta con tramos a desnivel para cruce de peatones, de ferrocarriles y de otros caminos y su trazo permite a los usuarios el ahorro en tiempo y dinero.

El sistema de carreteras de altas especificaciones ha permitido solucionar problemas de congestionamiento en las vías libres, de las que son rutas alternas y alivian por medio de la cuota la presión financiera directa sobre el presupuesto gubernamental, además contribuye al crecimiento económico de las regiones del país, y se convierten en agentes de desarrollo, por lo que se justifica ampliamente la necesidad de su construcción.

Existen otras clasificaciones que dependen de otros factores, estas son;

Por su transitabilidad (en las diferentes etapas de construcción):

- Brechas. Se llama así a los caminos que no tuvieron un proyecto previo al trazo.
- Terracerías. En este tipo de camino se ha construido la sección de proyecto hasta el nivel de la subrasante, esto lo hace transitable sólo en época de secas.

- **Revestida.** Este tipo de camino es transitable todo el año, esto se debe a que sobre la capa subrasante ya se han construido algunas capas de material granular.
- **Pavimentadas.** Esta es la etapa óptima del pavimento ya que éste cuenta con superficie de rodamiento constituida por una losa de concreto asfáltico o hidráulico y la estructura del pavimento está totalmente terminada.

Por su administración:

- **Federales.** Estas carreteras se encuentran a cargo de la federación y ésta se encarga de su mantenimiento, se conocen como carreteras libres.
- **Estatales.** Estos caminos son administrados por las Juntas Locales de Caminos, y se construyen mediante el sistema de cooperación, en donde el Estado aporta el 50% del costo total y la Federación el otro 50%.
- **Vecinales o rurales.** El costo de un camino de estos es cubierto por aportaciones de los vecinos, del Estado y la de Federación, a razón de un tercio del costo total respectivamente.
- **De cuota.** Son conocidas como carreteras de peaje y su administración queda en manos de Caminos y Puentes federales de Ingresos y Servicios Conexos, en este caso la inversión inicial es recuperada a través de cuotas de paso durante algún tiempo determinado.

Por sus características técnicas.

Esta clasificación permite distinguir en forma precisa la categoría física del camino, ya que toma en cuenta los volúmenes de tránsito sobre el camino al final del período económico del mismo (15 años) y las especificaciones geométricas aplicadas.

En México la SCT clasifica técnicamente a las carreteras de la manera siguiente:

**Tabla 5 Tipo especial**

<b>Velocidad de proyecto</b>	120 km/h
<b>Velocidad de operación</b>	100 km/h
Tránsito diario(prom. Anual)	Más de 3000 vehículos
Tránsito horario(max. Anual)	Más de 360 vehículos
Porcentaje de vehículos pesados	50 %
Superficie de rodamiento	Pavimentada
Obras de drenaje	De concreto o mampostería
Puentes	Definitivos de concreto o acero
Señales	Metálicas reflejantes
Entronques o cruzamientos	A desnivel
Obras complementarias	Definitivas de concreto o mampostería
Pendiente máxima	4 %
Ancho de corona	Variable
Ancho de carpeta	Una o dos bandas de 7.3 m
Grado de curvatura máxima	4° 00'

**Tabla 6 Tipo A o de primer orden**

<b>Velocidad de proyecto</b>	60 a 100 km/h
<b>Velocidad de operación</b>	50 a 90 km/h
Tránsito diario(prom. Anual)	De 1500 a 3000 vehículos
Tránsito horario(max. Anual)	De 180 a 360 vehículos
Porcentaje de vehículos pesados	40 a 50 %
Superficie de rodamiento	Pavimentada
Obras de drenaje	De concreto o mampostería
Puentes	Definitivos de concreto o acero
Señales	Metálicas a veces reflejantes
Entronques o cruzamientos	A nivel o desnivel
Obras complementarias	De concreto o mampostería
Pendiente máxima	4 a 6 %
Ancho de corona	De 8 a 9 m
Ancho de carpeta	De 6. 10 m
Grado de curvatura máxima	8 a 26°

Tabla 7 Tipo B o de segundo orden

<b>Velocidad de proyecto</b>	50 a 80 km/h
<b>Velocidad de operación</b>	40 a 70 km/h
Tránsito diario(prom. Anual)	De 500 a 1500 vehículos
Tránsito horario(max. Anual)	De 60 a 180 vehículos
Porcentaje de vehículos pesados	30 a 40 %
Superficie de rodamiento	Pavimentada
Obras de drenaje	Definitivas, De concreto o mampostería
Puentes	Definitivos de concreto o mampostería
Señales	Metálicas
Entronques o cruzamientos	A nivel
Obras complementarias	Definitivas de concreto o mampostería
Pendiente máxima	4.5 a 6.5 %
Ancho de corona	De 7 a 8 m
Ancho de carpeta	De 5 a 6.10 m
Grado de curvatura máxima	11 a 35°

Tabla 8 Tipo C o de tercer orden

<b>Velocidad de proyecto</b>	35 a 70 km/h
<b>Velocidad de operación</b>	30 a 60 km/h
Tránsito diario(prom. Anual)	De 50 a 500 vehículos
Tránsito horario(max. Anual)	De 6 a 60 vehículos
Porcentaje de vehículos pesados	30 a 40 %
Superficie de rodamiento	Pavimentada
Obras de drenaje	Generalmente definitivas
Puentes	Definitivos de concreto o mampostería
Señales	Metálicas, con pintura no reflejante
Entronques o cruzamientos	A nivel
Obras complementarias	Generalmente naturales
Pendiente máxima	5 a 7 %
Ancho de corona	De 6 a 7 m
Ancho de carpeta	De 5.5 m
Grado de curvatura máxima	16 a 60°

Con el objeto de adaptarse a la medida del servicio que se requiere, se llegó a adoptar nuevos tipos de caminos más modestos, los tipos D y E cuyas especificaciones son:

**Tabla 9**

	<b>Tipo D</b>	<b>Tipo E</b>
<b>Velocidad de proyecto</b>	30 a 60 km/h	30 a 60 km/h
<b>Superficie de rodamiento</b>	No pavimentada	No pavimentada
<b>Pendiente máxima</b>	5 a 13 %	6 a 15 %
<b>Ancho de corona</b>	De 6 m	De 4 m
<b>Ancho de calzada</b>	De 5.5 m	De 4 m
<b>Grado de curvatura máxima</b>	11 a 62°	11 a 62°

Clasificación por su importancia:

- Carreteras troncales. Son las que se pueden considerar interestatales o de largo itinerario.
- Carreteras alimentadoras o secundarias. Son aquellas que funcionan como tributarias de las troncales y a su vez tienen ramales en toda la región a que dan servicio.
- Carreteras terciarias. Son ramales con acceso a las carreteras troncales y alimentadoras que sirven a pequeñas regiones y además tienen poco tránsito.

## **1.8 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA CARRETERA.**

Para comprender mejor cómo funcionan las carreteras a continuación se mencionan sus elementos constitutivos.

### **1.- ACOTAMIENTO**

Son fajas comprendidas entre la orilla de la carpeta o de la superficie de rodamiento y el hombro de una carretera, que sirve para proteger el pavimento y además es una zona de emergencia para los usuarios

### **2.- ALCANTARILLA**

Obra de drenaje que consiste en dos partes: el cañón y los muros de cabeza. El cañón forma el canal de la alcantarilla y es la parte esencial de la estructura. Los muros de cabeza sirven para evitar la erosión alrededor del carril, para guiar la corriente y para evitar que el terraplén invada el carril.

### **3.- ANCHO DE CALZADA**

Es variable a lo largo del camino y depende de la localización de la sección en el alineamiento horizontal y excepcionalmente en el vertical. Normalmente el ancho de calzada se refiere al ancho de tangente del alineamiento horizontal.

### **4.- AREA DE CORTE**

Es la parte del terreno natural que se quita para alojar la carretera.

### **5.- BASE**

La base permite reducir el espesor de la carpeta que es más costosa, pero la función fundamental de la base de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la subbase y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.

### **6.- BERMA**

Es la obra que se construye en las carreteras con el fin de darle mayor estabilidad a los taludes.

### **7.- BOMBEO**

Es la pendiente transversal que se le da a la superficie de rodamiento, para evitar la acumulación del agua sobre el camino.

### **8.- BORDILLO**

Son elementos, generalmente de concreto asfáltico, que se constituyen sobre los acotamientos juntos a los hombros de los terraplenes, a fin de encauzar el agua que escurre por la corona y que de otro modo causaría erosiones en el talud del terraplén.

### **9.- CAPA SUB-RASANTE**

Es la porción subyacente a la subcorona, tanto en corte como en terraplén. Su espesor es comúnmente de 30 cm. Y esta formada por suelos seleccionados para soportar las cargas que le transmite el pavimento.

**10.- CARPETA**

Capa resistente que debe proporcionar una superficie de rodamiento adecuada con textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos de tráfico.

**11.- CONTRA-CUNETA**

Generalmente son zanjas de sección trapezoides, que se excavan arriba de los ceros de un corte, para interpretar los escurrimientos superficiales del terreno natural. Se construyen perpendiculares a la pendiente máxima del terreno con el fin de lograr una interceptación eficiente del escurrimiento laminar.

**12.- CORONA**

Es la superficie del camino terminado que queda comprendida entre los hombros del camino.

**13.- CUNETETA**

Las cunetas son zanjas que se construyen en los tramos de corte a uno o a ambos lados de la corona, contiguas a los hombros, con el objeto de recibir en ellas el agua que escurre por la corona y los taludes de corte.

**14.- DERECHO DE VIA**

Es la faja que se requiere para la construcción, conservación, reconstrucción, ampliación, protección y en general, para el uso adecuado de esa vía y de sus servicios auxiliares. Su ancho será el requerido para satisfacer esas necesidades.

**15.- EJE DE CAMINO**

Es la línea imaginaria que divide al camino en toda su longitud.

**16.- ESCALONES DE LIGA**

Es el que se forma en el área de desplante de un terraplén, cuando las pendientes transversales del terreno son un poco menor que la inclinación del talud, a fin de obtener una liga adecuada entre ellos y evitar un deslizamiento.

**17.- HOMBROS**

Son los puntos que limitan el ancho de corona o sea las aristas superiores de los taludes del terraplén y las interiores de las cunetas.

**18.- INTALACIONES MARGINALES**

Cuando la línea de ceros de terraplén no llega al terreno natural es necesario construir muros de retención.

**19.- MUROS DE CONTENCIÓN**

Cuando la línea de ceros de terraplén no llega al terreno natural es necesario construir muros de retención, cuya ubicación y altura estarán dadas como resultado de un estudio económico.

**20.- PAVIMENTO**

Conjunto de capas de materiales compactados que permiten transmitir adecuadamente las cargas de los vehículos a las capas inferiores y al terreno natural. Las capas que lo integran son: la sub-base, la base y la carpeta.

**21.- RASANTE**

Es la línea imaginaria, sobre la superficie de rodamiento que corre a lo largo del eje de la carretera.

**22.- SEÑALAMIENTO**

Son elementos que tienen por objeto prevenir a los usuarios de las carreteras sobre la existencia de peligros o prohibiciones que limiten sus movimientos sobre el camino y proporcionarles la información necesaria.

**23.- SERVICIOS Y ACCESOS**

Son obras, instalaciones que se realizan fuera del derecho de vía y tienen como finalidad ayudar al usuario a tener un mejor viaje. Las hay públicas y privadas.

**24.- SUB-BASE**

Capa de materiales compactados que permite reducir el costo del pavimento cuando éste es de espesor considerable.

**25.- SUB-DRENES**

Son los elementos de drenaje que desalojan las aguas subterráneas a través de los taludes de corte abajo de las cunetas.

**26.- SUB-RASANTE**

Es la línea imaginaria, que marca el eje del camino a la altura de la capa sub-rasante.

**27.- TALUD DEL CORTE**

Es la superficie inclinada, que queda respecto a la horizontal como consecuencia de extraer el material natural en una obra de ingeniería.

**28.- TALUD DEL TERRAPLEN**

Es la inclinación del paramento de los terraplenes, expresado numéricamente por el recíproco de la pendiente.

**29.- TERRACERIAS DE TERRAPLEN**

Está constituido por el conjunto de diferentes capas de material compactado que proporcionan exclusivamente un soporte adecuado a las capas superiores; sirviendo así de cimentación a las mismas.

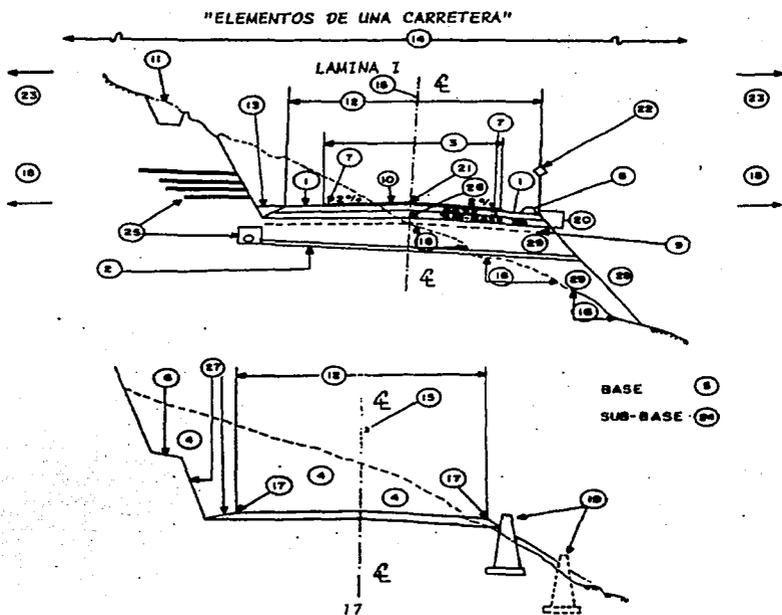


Figura 6. Elementos constitutivos de una carretera

## **CAPÍTULO II**

# **GENERALIDADES SOBRE PAVIMENTOS**

## **CAPÍTULO II. GENERALIDADES SOBRE PAVIMENTOS**

Los pavimentos son muy importantes como parte de una carretera, sin embargo su importancia se acentúa porque, siendo ésta la capa superior, es el elemento más notable de la carretera, el que está continua y directamente en contacto con los usuarios y con los vehículos que transitan por el camino.

En consecuencia para fines prácticos, de la superficie del pavimento depende en buena medida la seguridad y la comodidad proporcionadas por la carretera. En las siguientes páginas mencionaremos en forma general algunas de las características de los pavimentos.

### **2.1 Concepto de Pavimento**

Un pavimento puede ser definido como un conjunto de capas de materiales seleccionados cuya función es la de recibir en forma directa las cargas producidas por el tránsito y transmitir las adecuadamente distribuidas a las capas inferiores. Los materiales con que se construyen los pavimentos deben tener la calidad suficiente para resistir los esfuerzos y según las teorías que tratan temas al respecto a medida que las capas que los integran están localizadas a mayor profundidad, pueden disminuir en calidad, proporcional al nivel de esfuerzos a las que estén sometidas, pero también, el pavimento debe transmitir los esfuerzos a las capas inferiores, convenientemente distribuidos con el objetivo de que éstas las puedan resistir.

La calidad y espesores de las capas del pavimento deben estar íntimamente relacionados con los materiales de las capas inferiores; es decir, la estructuración del pavimento está influida, tanto por los esfuerzos debidos al tránsito como por la calidad de las terracerías. La sección estructural del pavimento debe ser una estructura que proporcione una superficie de rodamiento de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, debe ser estable ante el intemperismo pero sobre todo debe proporcionar al usuario una superficie de rodamiento por donde pueda transitar de manera segura, cómoda y económica, aunque esto depende del tipo de camino de que se trate.

Los pavimentos se pueden clasificar de acuerdo con algunas de sus características, como son:

- a) El lugar en el que se utilizarán
- b) La forma en que transmiten las cargas a la subrasante
- c) Los materiales de que están constituidos.

Y se pueden presentar los siguientes casos:

a) Según el lugar en el que se utilizarán

1. Pavimentos para vivienda. Son aquellos que cumplen su misión en el ámbito de las viviendas y, por lo general tienen en gran manera el fin de embellecer, ya que, cargas y tránsito, son generalmente reducidos, debiendo cumplir, en cambio, importante función en cuanto a color, textura y suavidad. Los materiales de que están constituidos son de lo más variado, yendo desde la piedra natural a la madera y de la piedra artificial, a las losetas de resinas sintéticas.

2. Pavimentos urbanos. Estos son los que desempeñan funciones en parques, calles, paseos y plazas, es decir en zonas de circulación, permanencia o recreación con las que cuentan todos los centros urbanos. Tienen características propias según sean las zonas urbanas en las que han de ser utilizados y el uso específico a que se les destina. Si se utilizan en plazas, habrá que distinguir y diferenciar las zonas que están destinadas a la circulación de vehículos y las que solamente se hayan destinado a la circulación de peatones.

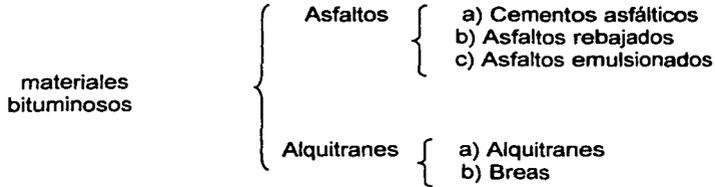
Los pavimentos de las vías de circulación de vehículos tendrán como condición fundamental, resistir el tránsito rodado y tener condiciones antisonoras. En todos los pavimentos urbanos se debe tener en cuenta que también cumplen funciones estéticas. Los pavimentos constituyen, una parte muy importante del planeamiento urbano, el cual no puede darse por terminado, si en su diseño no se han considerado los mismos, los cuales deberán ser adecuados a las características de la zona.

3. Pavimentos carreteros. Una carretera destinada al tránsito moderno no puede darse por terminada, si no se le ha dotado del pavimento que responda a sus características. El pavimento en la carretera está destinado principalmente a soportar la acción mecánica de los vehículos, transmitiendo las cargas a la subrasante y manteniéndose inalterable, dentro de lo posible, ante los agentes atmosféricos y gozar de una superficie impermeable. Es en los pavimentos carreteros en donde más se debe de tener en cuenta el aspecto económico, por las enormes superficies que se deberán cubrir, resultando sumas muy importantes en el conjunto, y pequeñas diferencias de precio por metro cuadrado. En el diseño y cálculo de estos pavimentos, deben tenerse en cuenta los efectos originados por las cargas de los ejes, cada vez más pesados y moviéndose a velocidades mayores. Considerando los efectos de los impactos, las vibraciones y el resultado del rodamiento.

4. Pavimentos para aeropuertos. Como elementos de transporte, los aviones necesitan zonas más amplias, destinadas a las operaciones de aterrizaje, despegue y estacionamiento, para ello, exigen superficies considerables cubiertas por pavimentos capaces de soportar las cargas, cada vez

mayores de los aviones. En estos pavimentos se toman en cuenta los efectos que producen las tomas de contacto de las ruedas y las velocidades muy altas que tienen al aterrizar y despegar. Igualmente, tener en cuenta las fuertes corrientes de aire que generan los motores y las altas temperaturas de los gases. El diseño y cálculo de estos pavimentos tiene características especiales y su costo es siempre elevado.

5. Pavimentos para malecones portuarios y muelles. Estos pavimentos tienen características que los distinguen de los demás, debido al tipo de subrasantes encima de los cuales deben construirse. A veces son estructuras que no descansan sobre el suelo y otras son construidas sobre subrasantes absolutamente inapropiadas. En su diseño deben contemplarse, de manera preferente las grandes cargas estacionarias y las de los vehículos cuya distribución de peso es diferente, por ejemplo: los montacargas, grúas, tractores, etc. Por lo anterior, estos pavimentos deben tratarse en forma específica en cuanto al cálculo y construcción.
- b) De acuerdo con la forma en que transmiten las cargas a la subrasante (Posteriormente serán descritos de manera más detallada, por lo que sólo se mencionarán)
1. Pavimentos flexibles
  2. Pavimentos rígidos
  3. Pavimentos mixtos
- c) Por los materiales de que están constituidos
1. Suelos estabilizados. Como su nombre lo indica, con este recurso se pretende hacer más estable a un suelo. La primera y la que siempre acompaña a todas las estabilizaciones, es la de aumentar la densidad de un suelo, compactándolo mecánicamente. La segunda estabilización usada es la de mezclar a un material de granulometría gruesa con otra que carece de esa característica. Finalmente, esta el recurso de estabilizar un suelo, mezclándole cemento Portland, cal hidratada, asfalto o cloruro de sodio.
  2. Pavimentos bituminosos. Los diferentes materiales que se denominan bituminosos, son cuerpos extremadamente complejos, constituidos esencialmente por hidrocarburos asociados con materiales minerales en mayor o menor proporción. Se puede aceptar que los materiales bituminosos se dividen en:



3. Pavimentos de concreto de cemento. Los pavimentos rígidos transmiten los esfuerzos a distancias y repartiéndolos así sobre una gran superficie. Las presiones que estos pavimentos transmiten a la subrasante dependen:
  - a) De las dimensiones de las losas, especialmente su espesor.
  - b) De la elasticidad relativa de las citadas losas.
  - c) De la elasticidad de la subrasante.
  - d) De la posición de la carga sobre la losa
  
4. Pavimentos varios. Son los pavimentos en los cuales la superficie de rodamiento no es de asfalto ni de concreto, las cuales pueden ser empedradas, adoquinadas, de mosaicos de ladrillos, de madera y hasta se han utilizado pavimentos de hierro en algunos países productores de hierro en forma de placas. Para todos estos pavimentos se utilizan especificaciones particulares, para cada uno de ellos, ya que tienen diferentes modos de construcción.

## 2.2 PAVIMENTOS FLEXIBLES

Anteriormente se mencionó que un pavimento es la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidos entre el nivel superior de la Terracerías y la superficie de rodamiento, cuyas principales funciones son las de soportar las cargas rodantes y transmitir las adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por éstas; así como de permitir el tránsito de vehículos en forma cómoda, segura y eficiente, con un costo mínimo.

Desde la aparición del automóvil, se ha tratado de proporcionar a los usuarios caminos con superficie de rodamiento y resistencia adecuada al volumen y peso de los vehículos. Se ha desarrollado métodos para la estructuración de la sección transversal para caminos. Estos métodos, sobre todo los que más se usan, son de tipo empírico, ya que hasta ahora no ha sido posible englobar en forma técnica.

Los pavimentos flexibles son combinaciones de materiales pétreos graduados y material asfáltico, su superficie de rodamiento está formada por una carpeta asfáltica, bajo la cual se localizan otras capas de materia seleccionados cuya calidad va disminuyendo con la profundidad.

En algunas ocasiones puede convenir utilizar en las capas de pavimentos, materiales cuya resistencia a la tensión sea considerable, añadiendo a los materiales pétreos porcentajes apropiados de un aglutinante, como el cemento, el asfalto o la cal; las capas así tratadas aumentan su capacidad de distribución de esfuerzos, con los que puede tener grandes ahorros de espesor; este sistema es muy usado en la actualidad.

La estructuración de la sección transversal de un pavimento flexible (figura 7) debe de ser funcional, es decir, debe cumplir con las finalidades para la cual está proyectada y además debe ser económica, lo que indica que debe tener menor suma de costos de construcción, operación y mantenimiento o conservación.

Las capas que constituyen un Pavimento Flexible, mencionadas de las superiores a las inferiores son:

- Carpeta Asfáltica.
- Base.
- Sub-base.
- Capa subrasante.
- Cuerpo de terraplén.

A continuación se presenta la estructura de un Pavimento Flexible.

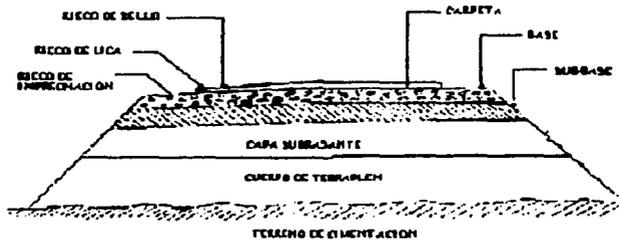


Fig. 7 Sección Típica de un Pavimento Flexible.

Las tecnologías para el proyecto de pavimentos flexibles que actualmente están en vigor en el mundo son de tipo empírico y se basan en los siguientes aspectos:

- Cumplimiento de las normas de calidad de los materiales y observación de los procedimientos de construcción.
- Elección de una prueba de resistencia.
- Correlación de los resultados de la prueba de resistencia con el comportamiento real de los pavimentos.
- Obtención de nomogramas o modelos matemáticos de proyecto.

Con lo anterior queda establecido en forma clara, que los nomogramas o modelos matemáticos sólo deben usarse para la prueba de resistencia utilizada en la correlación, ya que de no hacerse así se deben de cometer errores importantes.

### 2.2.1 CARPETA ASFALTICA

La carpeta asfáltica es la capa superior de un pavimento flexible y proporciona la superficie de rodamiento para los vehículos y ésta debe de ser adecuada, con textura y color convenientes y resistir los efectos abrasivos del tránsito. Además debe de ser una capa prácticamente impermeable, constituyendo una protección para la base, se elabora de materiales pétreos y productos asfálticos.

Los materiales pétreos son empleados en la elaboración de carpetas y de sub-bases y bases estabilizadas; además para ligar o unir tales capas entre sí. Para la construcción de carpetas, los materiales pétreos son suelos inertes, provenientes de playones de ríos o arroyos, de depósitos naturales, denominados minas, o de rocas, los cuales, por lo general, requieren de cribado, triturado o ambas para poder utilizarse.

Las características más importantes que debe satisfacer los materiales pétreos para carpetas asfálticas son:

- Granulometría
- Dureza
- Forma de la partícula
- Y adherencia con el asfalto.

En cuanto el asfalto es un material bituminoso, sólido o semisólido, con propiedades aglutinantes y que se licua gradualmente al calentarse. Está constituido principalmente, por asfaltenos, resinas y aceites, estos elementos le dan al asfalto sus características de consistencia, poder de aglutinación y ductibilidad.

El contenido óptimo de asfalto para una carpeta, es la cantidad de asfalto que forma alrededor de las partículas una membrana, que sea suficiente para resistir los elementos del intemperismo, es decir, que el asfalto se oxide con rapidez y que no sea tan gruesa como para que la mezcla pierda estabilidad o resistencia y no pueda soportar las cargas de los vehículos.

Los tipos de materiales asfálticos que existen son los siguientes:

a) Cementos asfálticos

Son los asfaltos obtenidos por un proceso de destilación del petróleo para eliminar a éste sus solventes volátiles y parte de sus aceites.

b) Emulsiones asfálticas

Son los materiales asfálticos líquidos estables, en las que el cemento asfáltico por medio de un emulsificante y un estabilizador se encuentra en

suspensión con el agua. De acuerdo con el emulsificante usado, se tiene emulsiones aniónicas y emulsiones catiónicas, las cuales pueden resistir mayores humedades en los pétreos.

**TIPOS DE CARPETAS**

Son tres los tipos de carpetas asfáltica usadas en el país:

- 1.- Por riegos.
- 2.- Mezcla en el lugar.
- 3.- Concreto asfáltico.

**CARPETAS POR EL SISTEMA DE RIEGO**

Son las que se construyen mediante una, dos o tres riegos de materiales asfálticos, cubiertos sucesivamente con capas de materiales pétreos de diferentes tamaños, triturados o cribados. Estas carpetas se usan para tránsito ligeros (menores de 250 vehículos por día). Los materiales pétreos que se utilizan en la construcción de éste tipo de carpetas, son los que se indican en la siguiente tabla.

DENOMINACIÓN DEL MATERIAL PÉTREO	QUE PASA POR LA MALLA DE	RETENCIÓN EN LA MALLA
1	25.4mm (1")	12.7mm (1/2")
2	12.7mm (1/2")	6.3mm (1/4")
3.A	9.5mm (3/8")	2.38mm num. 8
3.B	6.3mm (1/4")	2.38mm num. 8
3.E	9.5mm (3/8")	4.76mm num. 4

Tabla 10.- Materiales pétreos que se utilizan en carpetas asfálticas por el sistema de riego.

Además estarán libres de polvo, de materiales orgánicos y de cualquier otro material extraño al pétreo, en humedad será como máximo la humedad de absorción y deberán pasar las siguientes pruebas:

- **Desgaste de los Angeles :**  
Para cualquier tipo de material pétreo. 30% máx.
- **Intemperismo Acelerado :** 12% máx.
- **Forma de las Partículas:**  
Para partículas alargadas y, o en forma de laja 35% máx.

- **Afinidad con el asfalto:**
  - \* desprendimiento por fricción 25% máx.
  - \* cubrimiento por asfalto 90% máx.

**Los materiales asfálticos que se usan son:**

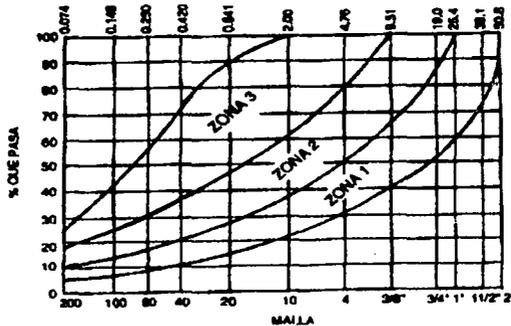
- Cementos asfálticos
- Emulsiones de rompimiento rápido.

**MEZCLA EN EL LUGAR**

Comprende las "Carpetas de Mezcla en Frío con planta estacionaria" y las "Carpetas de Mezcla en el Lugar". En los dos casos, los materiales pétreos que se emplean deben cumplir con los siguientes requisitos:

**Granulometría:**

El material pétreo debe presentar una curva granulométrica continua (figura 8), la cual debe quedar entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 2 de la gráfica 8 (la zona 1 corresponde a los materiales gruesos y en la zona 2 los finos). Además esta curva deberá seguir en la mayor parte de su longitud la forma de algunas de las curvas límites.



**Figura 8.- Zona en la que deben localizarse las granulometrías de los materiales pétreos para mezclas en el lugar.**

**Contracción Lineal:**

- 1.- Cuando la curva granulométrica del material pétreo quede en la zona 1, debe de ser 3% máximo (de la gráfica anterior).
- 2.- Cuando quede ubicada en la zona 2, será de 2% máximo (de la gráfica anterior)

**Formas De Las Partículas.**

Partículas alargadas y, o en forma de lajas 3%.

**Afinidad Con Los Asfaltos:**

Debe cumplir cuando menos, con dos de las siguientes pruebas:

- 1.- Desprendimiento por fricción: 25% mínimo
- 2.- Cubrimiento con asfalto: 90% máximo
- 3.- Pérdida de estabilidad por inmersión de agua : 25% máximo.

Las mezclas en planta en frío, se asemejan en muchos aspectos a las mezclas en planta en caliente, solo que en las primeras se emplean asfaltos rebajados e emulsiones asfálticas y su mezcla se hace en temperatura ambiente. El tipo de material asfáltico que se utiliza depende del uso que al que se destine la mezcla.

Las carpetas de mezcla en el lugar, se construyen, como su nombre lo indica, en el lugar de la obra y se construyen mediante el mezclado, tendido y compactación de materiales pétreos y un material asfáltico.

**CONCRETO ASFALTICO**

Son carpetas que se construyen mediante el tendido y compactación de mezclas elaboradas en caliente, en una planta estacionaria, utilizando cementos asfálticos y materiales pétreos. Estas mezclas son las de más alta calidad y se emplean en pavimentos con elevada intensidad de tránsito y con gran peso.

Debido a las características del cemento asfáltico, este tipo de carpeta tiene características de tipo elástico, con roptura de tipo frágil y de poca resistencia, principalmente a bajas temperaturas, en este tipo de carpeta no debe construirse sobre bases naturales, con módulo de elasticidad bajo, que pueden tener deformaciones bajo la acción del tránsito, sino que deben de construirse sobre base rigidizadas con cal hidratada o cemento Portland o sobre bases asfálticas.

El material pétreo que se utiliza en este caso, en general es roca triturada de tipo de basalto, andesita o reolita sanos, aunque pueden ser bancos de grava-arena, de minas, playones de ríos o arroyos, en estos dos últimos conviene que tengan bastante desperdicio de triturar, ya que muchas veces son materiales

redondeados, puede haber la posibilidad que la mezcla no pase las normas de resistencia, pero al triturarse se producen superficies rugosas que mejoran su calidad.

Los materiales pétreos que se utilizan para carpetas de concreto asfáltico, deben cumplir con las siguientes especificaciones:

La curva granulométrica debe quedar comprendida en la zona limitada por dos de las curvas de la siguiente figura:

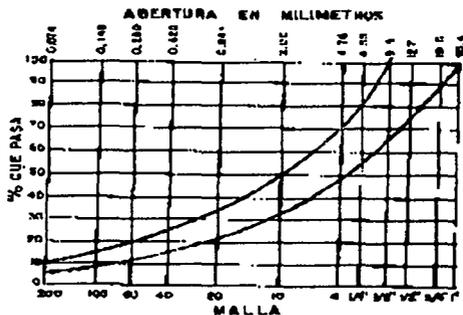


Figura 9 Zona de especificación granulométrica para materiales pétreos que se empleen en concretos de asfalto.

Para este tipo de carpeta las normas son muy exigentes en lo que a granulometría se refiere y marca una sola zona granulométrica relativamente angosta. Esta curva está en función de la dureza y densidad del material y el equipo de trituración.

Calidad del cemento asfáltico:

En general se usa en México el cemento asfáltico del AC-20, su penetración varía de 60-100, éste debe cuidarse, ya que los cementos duros en mezclas de alta compactación, producen carpetas frágiles.

Al mezclar los agregados pétreos y el cementante, la mezcla debe de ser homogénea, adecuada y el equipo usado en la elaboración no debe de alterar las propiedades del cementante por efecto de control de la temperatura.

### **2.2.2 BASE HIDRAULICA**

La base hidráulica es una capa que se construye sobre la sub-base.

#### **FUNCIONES:**

Su función principal, desde el punto de vista estructural, es proporcionar un elemento resistente a la acción de las cargas del tránsito capaz de transmitir con intensidades adecuadas los esfuerzos resultantes, así mismo de eliminar rápidamente el agua que llegue a filtrarse a través de la carpeta, así como de impedir la ascensión capilar del agua proveniente de las capas inferiores, por lo tanto deberá ser una capa permeable.

#### **MATERIALES:**

Los materiales que se emplean, en general son los mismos que para sub-bases, solo que sus especificaciones son más estrictas, ya que la base necesita materiales de mejor calidad que la sub-base, por estar debajo de la superficie de rodamiento y por lo mismo está sujeta a cargas muy elevadas.

En la base deben emplearse materiales poco deformables, es decir, materiales granulares, de preferencia gruesos y con un bajo contenido de partículas finas de plasticidad fina.

En lugares de alta precipitación pluvial, debe emplearse materiales permeables, para así facilitar la evacuación rápida de agua de lluvia que logra infiltrarse a través de la carpeta.

Los materiales que más se usan, al igual que la sub-base, son las gravas-arenas de los ríos, también se utilizan las rocas procedentes de mantos, depósitos, pepenas, etc.

En México, la base y las sub-bases se construyen en general con un material granular (grava ) mezclado con:

- Cemento natural y agua.
- Cemento y agua.
- Cal y agua.
- Emulsión asfáltica.

Los requerimientos que debe tener los materiales para base son:

- Estabilidad.
- Resistencia a la abrasión.
- Resistencia a la penetración del agua.

### **2.2.3 SUB-BASE**

La sub-base es una capa de material seleccionado que se construye sobre la subrasante.

Básicamente conviene buscar dos cualidades principales en un material de sub-base, que son la resistencia friccionante y la capacidad drenante. La primera beneficiará la resistencia del conjunto y a la vez, será garantía de un buen comportamiento en cuanto a deformabilidad, pues un material que posee esa calidad de resistencia será poco deformable a condición de estar bien compactado. La capacidad drenante permite que el pavimento elimine convenientemente tanto el agua que se infiltre en la superficie, como la que asciende por capilaridad.

#### **FUNCIONES:**

- Su principal función es la de soportar las cargas rodantes y transmitir las a las terracerías, distribuyéndolas en tal forma que no se produzcan deformaciones perjudiciales en éstas.
- Sirven de transición entre el material de base, que generalmente es granular, más o menos grueso, y la subrasante, generalmente formada por materiales finos.
- Al ser la sub-base más fina que la base, actúa como filtro de la base e impide la incrustación de ésta en la subrasante.
- También se coloca para absorber deformaciones perjudiciales de las terracerías, por ejemplo; cambios volumétricos asociados a las variaciones de humedad, impidiendo que se reflejen en la superficie del pavimento.
- Actúa como dren para desalojar el agua que se filtra al pavimento y para impedir la ascensión capilar hacia la base, de agua procedente de las terracerías; al ser una capa impermeable.

#### **MATERIALES:**

Para su construcción se emplean materiales pétreos seleccionados por sus características físicas.

En nuestro país, estos materiales se obtienen en forma natural, por disgregado, por cribado, o por trituración y cribado.

Así que se clasifican de la siguiente manera:

**Materiales que no requieren tratamiento:**

Son los poco o nada cohesivos, como limos, arenas y gravas, que al extraerlos quedan sueltos y que no contengan más del 5% de partículas mayores de 51mm (2").

**Materiales que requieren ser disgregados:**

Son los tezontles y los cohesivos como tepetate, caliches, conglomerados, aglomerados y rocas muy alteradas, al extraerlos resultan con terrones y que una vez sometidos a la acción del equipo de disgregación no contengan más del 5% de partículas mayores de 51mm (2").

**Materiales que requieren ser cribados:**

Son los nada o poco cohesivos, como mezclas de gravas, arenas y limos, que al extraerlos quedan sueltos y con un contenido entre el 5% y el 25% de material mayor de 51mm (2").

**Materiales que requieren ser triturados parcialmente y cribados:**

Son los siguientes:

- Son los nada o poco cohesivos, como mezclas de gravas, arenas y limos, que al extraerlos quedan sueltos y con un contienen más del 25% de partículas mayor de 51mm (2").
- Son los tezontles y los cohesivos como tepetate, caliches, conglomerados, aglomerados y rocas muy alteradas, al extraerlos resultan con terrones y que una vez sometidos a la acción del equipo de disgregación no contengan más del 5% de partículas mayores de 51mm (2").

**Materiales que requieren ser triturados totalmente y cribados:**

Son los que provienen:

- a) Piedra extraída de mantos de roca.
- b) Piedra suelta de depósitos naturales o de desperdicios.
- c) Piedra de pepena.

Se puede usar en su construcción suelos con mayor contenido de partículas finas de baja plasticidad, que en la base. Esto quiere decir que los suelos empleados en la Sub-base pueden ser más deformables que en la base, su espesor está ligado a las propiedades de la subrasante.

En lugares de alta precipitación pluvial, se debe usar materiales poco permeables, para evitar que el agua llegue fácilmente a la subrasante.

Los materiales que más se usan son las gravas-arenas procedentes de ríos, que en la mayoría de los casos es necesario mezclarlas con otro material que posea ciertas características que complementen las de éstas. Estos materiales se prefieren debido a lo económico de su extracción y de su tratamiento.

En sub-bases es común el uso de los conglomerados y las areniscas. En ocasiones se emplean, tipos de rocas alteradas o rocas procedentes de mantos, depósitos, pepena, etc. En ambos casos, dichos materiales se usan solo cuando cumplen los requisitos especificados, como sucede con las calizas, pero en ocasiones es necesario incorporarles algún otro material triturado, como es el caso de los basaltos.

Es común exigir a los materiales de sub-base requisitos de tamaño máximo, granulometría, plasticidad, equivalente de arena, valor relativo de soporte. También suelen fijarse requerimientos mínimos de compactación.

Los espesores de la sub-base son muy variables y dependen de cada proyecto específico, pero suelen considerarse de 12 o 15 cm como la dimensión mínima constructiva.

### 2.2.4 SUBRASANTE

La capa Subrasante es la que va colocada debajo del pavimento; las especificaciones dicen que deberá tener:

- Como mínimo 30cm de espesor.
- Tamaño máximo: 7.5cm.
- Grado de compactación 95%: del PVSM
- Valor relativo de soporte: 15% mínimo
- Expansión máxima : 5%

Y se forma con una o varias capas de materiales seleccionados, de espesor especial que fije el proyecto. Aunque forma parte de las terracerías, se proyecta al mismo tiempo que el pavimento.

#### FUNCIONES:

- Resistir los esfuerzos de los vehículos, que le son transmitidos por el pavimento y transmitirlos al resto de las terracerías.
- Evitar la contaminación de la parte inferior del pavimento, con los materiales que forman el cuerpo del terraplén y evitar la incrustación del pavimento en el cuerpo del terraplén, en el caso de que esté formado por fragmentos de roca.
- Evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes en roca, se reflejen en la superficie de rodamiento.
- Disminuir el costo de las capas del pavimento, principalmente cuando se tiene terracerías de baja calidad.
- Uniformizar los espesores requeridos de pavimento, al compensar la variación de resistencia en las terracerías.
- Evitar que cuando el cuerpo del terraplén esté formado de materiales finos plásticos, éstos contaminen el pavimento. El tamaño de las partículas deberá estar entre las finas correspondientes del cuerpo de terraplén, y las granulares del pavimento.
- Evitar que el pavimento sea absorbido por las terracerías, cuando éstas estén formadas principalmente por fragmentos de roca.

**MATERIALES:**

Los materiales que se utilizan en terracerías son los que proviene de la corteza terrestre, ya sea que la extraigan de cortes o préstamos; pueden emplearse solos, mezclados o estabilizados con otros materiales naturales o elaborados de tal forma que reúnan características adecuadas parra su uso. Estos materiales son generalmente finos.

De acuerdo con la dificultad que presenta para su extracción y carga, los materiales de corte se clasifican en:

**Material A.-** blando o suelto; son los suelos poco o nada cementados, con partículas hasta de 7.6cm (3"). Los más comunes son los suelos agrícolas, los limos y las arenas. Pueden ser excavados por motoescrepas.

**Material B.-** piedras sueltas menores de 75mm y mayores de 7.6cm (3"). Los más comunes son las rocas muy alteradas, conglomerados medianamente cementados, areniscas blandas y tepetates. Solo pueden ser excavados por tractor de orugas con cuchilla de inclinación variable.

**Material C.-** piedras sueltas mayores de 75cm. los más son las rocas basálticas, las areniscas y conglomerados fuertemente cementados, calizas, riolitas, granitos y andesitas sanas. Solo pueden ser excavados mediante el empleo de explosivos.

Los materiales que se emplean en la construcción de terraplenes se clasifican en:

- a) **Materiales compactables:** como su nombre lo indica, se pueden compactar y son del tipo A y B, además de otros.
- b) **Materiales no compactables:** no se pueden compactar y son del tipo C, además de otros.

La compactación se puede realizar utilizando el equipo más adecuado, de acuerdo a sus características. En general, se construye mediante dos capas de 15cm de espesor mínimo.

Quando los materiales que se encuentran en las zonas cercanas a la obra no cumplan con las características marcadas en las normas, se requiere estabilizarlos en forma adecuada, ya sea mecánica o químicamente, en otras ocasiones, para construir las terracerías, es necesario formar caja y sustituir el material extraído por otro de características adecuadas, a menudo éste es el caso para construir la capa subrasante en cortes.

El material de los cortes es adecuado para utilizarse en la capa subrasante, por lo que éste no debe de acarrear de bancos de préstamo, sino que se utiliza el mismo material, y para que nos se tenga salientes en la cama de corte y que la compactación sea constante, se escarifican 15cm de material, se humedece en forma homogénea, se extiende dando el bombeo o sobreelevación de proyecto y se compacta.

En algunos casos puede emplearse, en la capa Subrasante, materiales estabilizados con cal, cemento porland, materiales puzolanicos o materiales asfálticos.

**2.2.5 METODOS DE DISEÑO.**

El diseño de pavimentos comprende, básicamente la medición de la resistencia y otras propiedades, generalmente se fundamentan en el conjunto de pruebas de laboratorio y el diseño consiste en hacer una correlación entre dichas pruebas y el comportamiento de pavimentos ya construidos.

La pruebas de laboratorio se hacen con el fin de medir la resistencia del suelo, la cual está relacionada con el valor relativo de soporte (V.R.S.). Esta característica no es constante de un suelo, sino circunstancial, ya que no depende de la textura del suelo, del contenido del agua y la condición de compactación.

Para el diseño de pavimentos existe una gran variedad de métodos empleados, y aproximadamente son más de veinte algunos son teóricos, y otros son realizados en el laboratorio apoyados con programas de computo, en los cuales se hace uso de muchas fórmulas, tablas y nomogramas.

Por lo tanto a continuación se mencionará uno de los métodos de diseño empleados en los pavimentos flexibles.

**METODO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA**

La Secretaria de Obras Públicas patrocinó un programa de investigación sobre el diseño estructural de pavimentos flexibles para carreteras, que se desarrolla en el Instituto de Ingeniería, UNAM.

Su propósito fundamental es obtener mejores métodos de diseño en la construcción de carreteras, considerando las condiciones particulares del país en cuanto a materiales, características del tránsito, clima, condiciones regionales, conservación, especificaciones, procedimientos de construcción, factores de seguridad y programa de inversiones.

El método se basa en una generalización teórica de los datos experimentales obtenidos en la pista circular del Instituto y en los tramos experimentales de Izúcar Salinas

**HIPOTESIS DE CRITERIO DE DISEÑO DESARROLLADO.**

Se considera que la carretera es un sistema de capas múltiples de resistencia relativa uniforme. Si no existe esta condición de uniformidad, se supone que la capa más débil determina la resistencia de conjunto y vida de servicio de la estructura, independientemente de su posición en la misma.

En cuanto a las características de los materiales, se establece que las diferentes capas están constituidas por suelos finos altamente cohesivos, caracterizados por su valor relativo de soporte crítico en el lugar (VRSz).

Para el sólido multicapa de resistencia relativa uniforme, se supone que la VRSz requeridos son proporcionales a los esfuerzos normales máximos en el eje de simetría de una placa flexible sujeta a presión uniforme.

Por otro lado, la caracterización del tránsito, refleja los ejes equivalentes convencionales, representados por dos conjuntos de ruedas dobles de 4.1 ton de peso y sujetas a presiones de inflado de 5 a 6 kg/cm<sup>2</sup>, se sustituye por placas de 30cm de diámetro sujetas al mismo peso, las cuales producen esfuerzos verticales uniformes de 5.8 kg/cm<sup>2</sup> en condiciones estáticas.

Para simular el tránsito, la placa se desplaza en cada aplicación y produce un esfuerzo vertical en la superficie  $\Delta q_s = 5.8(l) \text{ kg/cm}^2$ , donde (l) es un coeficiente de impacto. Los puntos en el eje vertical de simetría reciben esfuerzos verticales ( $\sigma_z$ ) que se calculan con el criterio de Boussinesq para sólido semifinito, homogéneo, elástico e isótropo.

$$\sigma_z = 5.8 l F_z \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Para condiciones de mecanismo de falla, la estabilidad del sistema multicapa puede analizarse utilizando los conceptos de capacidad de carga en cimentaciones superficiales.

De acuerdo con la ecuación de Tarzaghi, la capacidad última ( $\Delta q_s$ )<sub>u</sub> de una cimentación de ancho B con sobrecarga  $\gamma d$  es un medio semifinito, homogéneo, con un peso volumétrico  $\gamma$  y propiedades de resistencia al esfuerzo cortante definidas por una envolvente de Mohr recta, con cohesión c y un ángulo de fricción  $\phi$ , así como una curva esfuerzo-deformación típica de cuerpo rígido-plástico, es el siguiente:

$$(\Delta q_s)_u = cN_c + 0.5\gamma B N_\gamma + \gamma d N_q$$

donde:

$(\Delta q_s)_u$	Capacidad última
$N_c, N_q, N_\gamma$	Coefficientes adimensionales que únicamente dependen del ángulo de fricción, $\phi$

Se han desarrollado numerosas ecuaciones basadas parcialmente en teorías y datos experimentales. La ecuación de Tarzaghi se emplea frecuentemente:

$$(\Delta q_s)_u = 1.2cN_c + 0.6\gamma D N_\gamma + \gamma d N_q$$

donde:

D                    Diámetro del cemento.  
d                    Profundidad de desplante de la cimentación.

De acuerdo a las hipótesis establecidas, en un sistema de capas múltiples formado por suelos altamente cohesivos con ángulo de fricción igual a cero, la falla estática se presentará en el momento de esfuerzo vertical ( $\sigma_z$ ) producido por el tránsito exceda la capacidad última de cualquiera de las capas  $(\Delta q_s)_u$ :

$$\sigma_z \geq (\Delta q_s)_u = 6.2c$$

donde c es la cohesión.

Para suelos finos puede observarse que el valor relativo de soporte en el lugar  $(VRS)_z$  constituye una prueba de capacidad de carga en la cual se determina  $(\Delta q_s)_b$  para una deformación especificada ( $p_b = 0.254\text{cm}$ ). El valor relativo de soporte es la relación entre la capacidad de carga de un suelo  $(\Delta q_s)_b$ , y la capacidad de carga de un material de referencia  $(\Delta q_s)_b$  estándar, por lo cual, puede transformarse a esfuerzos verticales:

$$VRS = \frac{(\Delta q_s)_b}{(\Delta q_s)_b \text{ estándar}} \times 100 = \frac{(\Delta q_s)_b}{70 \text{ kg/cm}^2} \times 100$$

$$(\Delta q_s)_b = \sigma_z = 0.7 VRS; VRS, \text{ es un porcentaje, y } \sigma_z, \text{ en Kg/cm}^2$$

Para materiales diferentes (i,j), se tiene:

$$\frac{(\Delta q_s)_{u-i}}{0.7 (VRS)_{z=0}} = \frac{(\Delta q_s)_{u-j}}{0.7 (VRS)_{z=0}} = C_0$$

por tanto

$$(\Delta q_s)_{u-j} = 0.7 (VRS)_{z=0} C_0$$

donde  $C_0$  es un factor experimental:

$$C_0 = \frac{5.8 I F_0}{0.7 VRS_0}$$

en el cual  $VRS_0$  representa el soporte en la superficie de un material i que falla a la primera aplicación de carga equivalente.

Si el esfuerzo vertical aplicado es menor que la capacidad de carga ( $\sigma_z \geq (\Delta q_s)_u = 6.2c$ ), la estructura resistirá más de la aplicación estática.

El criterio desarrollado, se plantea la hipótesis de que la estructura de la carretera se deteriora progresivamente a causa de pequeñas deformaciones plásticas ocasionadas por los esfuerzos verticales ( $\sigma_z$ ) aplicados. Si dichos esfuerzos aumentan, también se incrementan las deformaciones producidas en cada ciclo. En el límite se tiene de falla general cuando la intensidad de la sollicitación crece hasta producir la rotura en el primer ciclo de carga.

La capacidad de carga de un suelo fino altamente cohesivo es independiente del diámetro de la placa. Por lo tanto, puede establecerse que el efecto de la carga equivalente queda debidamente representado por un pistón flexible con el mismo diámetro del empleado en la prueba de valor relativo de soporte y una presión de contacto de  $5.8 \text{ l kg/cm}^2$ . Si se quiere emplear un pistón rígido, tiene que introducirse un factor  $F_0$  para tomar en cuenta el cambio en la distribución de esfuerzos verticales debido a la variación en rigidez, por lo que la carga equivalente podrá representarse aproximadamente por un pistón VRS con un esfuerzo vertical medio igual a  $5.8 \text{ l } F_0$ .

Por definición, el VRS y la capacidad última  $(\Delta q_s)_u$  corresponden al esfuerzo vertical medio aplicado por el pistón para deformaciones totales,  $\rho_b = 0.254 \text{ cm}$  y  $p_u$ , respectivamente.

En la ecuación de diseño, el método establece la hipótesis de que hay una relación lineal entre el logaritmo de la resistencia última y el número de aplicaciones de falla.

Las coordenadas (i, j) definen la ecuación de diseño para una capa en la superficie. De acuerdo con el concepto de resistencia relativa, para materiales a cualquier profundidad, se multiplica la cara última en la superficie por el coeficiente de Boussineq ( $F_z$ ) y se desprecia el efecto de sobrecarga.

MATERIAL	COORDENADAS	
	$(\Delta q_s)_u$	$\Sigma L$ a la falla
i	$5.8 \text{ l } F_0$	1
j	$5.8 \text{ l } F_0 \text{ VRS}_j / \text{VRS}_i$	$\Sigma L$

Tabla 11.- Coordenadas para desarrollar la ecuación de diseño.

La ecuación general que resulta:

$$VRS_z = VRS_0 (A)^{\log \Sigma L} F_z$$

- VRS<sub>z</sub> Valor relativo requerido a la profundidad z
- VRS<sub>0</sub> Cte experimental igual al valor relativo de soporte en la superficie de un material que falla con una aplicación de carga equivalente de 8.2 ton cte experimental.
- A Constante experimental.
- ΣL Número de aplicaciones equivalentes de 8.2 ton a la falla.
- F<sub>z</sub> =  $1 - z^2 / (15^2 + z^2)^{3/2}$  Coeficiente de Boussinesq
- Z Profundidad, en cm

**2.3 Pavimentos rígidos**

En un pavimento rígido la superficie de rodamiento es una losa de concreto hidráulico, ésta se encarga de distribuir las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores, por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes que trabajan en forma conjunta con la que recibe directamente las cargas. Este tipo de pavimento no puede plegarse a deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural; aunque en teoría las losas de concreto hidráulico pudieran colocarse en forma directa sobre la subrasante, es necesario la construcción de una capa de subbase para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento al paso de los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla en la losa; la sección transversal de un pavimento rígido está formada por la losa de concreto hidráulico y la subbase que se construyen sobre la capa subrasante, como se muestra en la siguiente figura.

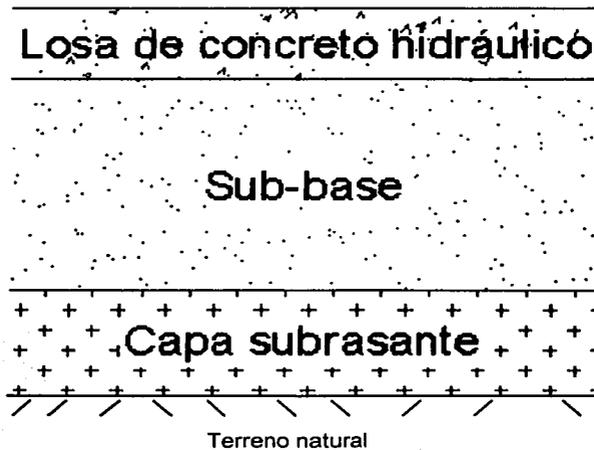


Figura. Sección de un pavimento rígido

### **2.3.1 Losa de concreto hidráulico**

El concreto hidráulico que se utiliza en la construcción de las losas para pavimentos es de características similares al concreto que se utiliza para elaborar otras estructuras, está constituido por una mezcla de cemento, agua, arena y grava, dosificados de tal forma que se obtenga la resistencia y la densidad deseada. El concreto utilizado en los pavimentos puede ser simple o armado. El concreto debe ser durable y resistente a las cargas y al desgaste; estas propiedades están íntimamente relacionadas entre sí, pues un concreto resistente a cargas por lo general es durable y resistente al desgaste por abrasión. La resistencia del concreto para pavimentos se mide por su resistencia a la flexión ó módulo de rotura.

Las propiedades principales que se deben observar en las gravas y en las arenas son: dureza, plasticidad, sanidad, formas de las partículas y granulometría. Es necesario que la grava y la arena sean materiales inertes, o sea que tengan un índice plástico y una contracción lineal de cero, sumado a esto deben de acatar las disposiciones establecidas en las normas de desgaste e intemperismo acelerado, obteniendo así la dureza y durabilidad deseada. Es bueno conocer también si estos agregados contienen álcalis y si serían perjudiciales para el concreto.

La forma de las partículas debe ser lo más rugosa posible, o sea que posean un alto valor de fricción que garantice una adherencia adecuada con la pasta agua-cemento, ya que esto no sucede con las partículas redondeadas como las que provienen de arroyos o ríos.

Para asegurar la resistencia y densidad del concreto endurecido se requiere conocer la granulometría de los agregados, sin embargo esto no es un elemento determinante para aceptar o rechazar los materiales ya que si el concreto endurecido no cumple con alguna característica de éstas, se pueden variar las proporciones de los agregados o de la lechada, para obtener los resultados precisos.

El concreto convencional se produce con la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados, a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo. En la figura 10 se muestra el esquema de integración del concreto.

El cemento Portland se clasifica como lo indica la tabla 12, los tipos de cemento definidos en esta tabla pueden presentar adicionalmente una o más características especiales, mismas que se presentan en la tabla 13. La resistencia inicial de un cemento es la resistencia mecánica a la compresión a los tres días. Para indicar que un tipo de cemento debe cumplir con una resistencia inicial especificada, se le agrega la letra R después de la clase. Sólo se definen valores de resistencia inicial a 30 R y 40 R, como se puede ver en la tabla 14.

El agua utilizada para fabricar el concreto debe cubrir los requisitos indicados en la Tabla 15.

También es factible emplear aditivos para concreto, que existen a la venta para diferentes usos: retardar o acelerar la resistencia; y reducir la cantidad de agua sin disminuir la fluidez.

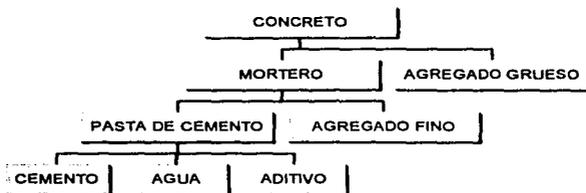


Figura 10. Esquema de integración del concreto

Tipo	Denominación
CPO	Cemento Portland Ordinario
CPP	Cemento Portland Puzolánico
CPEG	Cemento Portland con Escoria granulada de Alto Horno
CPC	Cemento Portland Compuesto
CPS	Cemento Portland con Humo de Sílice
CEG	Cemento Con Escoria granulada de Alto Horno

Tabla 12. Clasificación del Cemento Portland  
Referencia :NMX-C-414-ONNCCE-1999

Nomenclatura	Características especiales de los cementos
RS	Resistente a los Sulfatos
BRA	Baja Reactividad Alcali Agregado
BCH	Bajo Calor de Hidratación
B	Blanco

Tabla 13. Cementos con características especiales.  
Referencia: NMX-C-414-ONNCCE-1999

Clase resistente	Resistencia a compresión (N/mm <sup>2</sup> )			Tiempo de fraguado (min)	
	3 días		28 días	Inicial	Final
	Mínimo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
20	-	20	40	45	600
30	-	30	50	45	600
30 R	20	30	50	45	600
40	-	40	-	45	600
40 R	30	40	-	45	600

Tabla 14. Especificaciones mecánicas y físicas del cemento  
Referencia. NMX-C-414-ONNCC-1999.

Impurezas	Límites en p. p. m.	
	Cemento rico en calcio	Cemento Sulfato resistente
<b>- Sólidos en suspensión</b>		
En aguas naturales (limos y arcillas)	2000	2000
En aguas recicladas	50000	35000
<b>- Cloruros como Cl</b>		
Para concreto con acero de preesfuerzo y piezas de puentes.	400	600
Para otros concretos reforzados en ambiente húmedo o en contacto con metales como el aluminio, fierro galvanizado y otros similares.	700	1000
Sulfato como SO <sub>4</sub>	3000	3500
Magnesio como Mg	100	150
Carbonatos como CO <sub>3</sub>	600	600
Dióxido de Carbono disuelto como CO <sub>2</sub>	5	3
Álcalis totales como Na	300	450
Total de impurezas en solución	3500	4000
Grasas o aceites	0	0
Materia orgánica	150	150
Valor del pH	No menos de 6	No menor de 6.5

Tabla 15. Requisitos que debe cumplir el agua, para utilizarse en concreto hidráulico.

Referencia: NOM-C-122-1982.

Existen muchos factores que afectan la vida útil de los pavimentos de concreto hidráulico, uno de ellos es el agrietamiento. Este fenómeno no se puede evitar en el concreto, pero si se puede controlar mediante el uso de juntas de diversos tipos.

Los sistemas de juntas para pavimentos carreteros tienen los siguientes objetivos:

- Controlar el agrietamiento transversal y longitudinal inducido por contracción confinada y por los efectos combinados de ondulación confinada, alabeo confinado, y cargas aplicadas.
- Dividir el pavimento en módulos de construcción prácticos (por ejemplo en distintos carriles de tráfico).
- Absorber movimientos de la losa.
- Proporcionar la transferencia de cargas deseada.
- Formar una caja para aplicar el sellador de juntas.

La construcción adecuada y oportuna, así como un diseño adecuado, son los elementos clave para lograr un sistema de juntas que se comporte correctamente. El sellado eficiente es un aspecto crítico para lograr y mantener el funcionamiento adecuado del sistema de junteo.

La presencia de los sistemas de junteo en pavimentos de concreto, son el resultado de la necesidad de controlar el agrietamiento transversal y longitudinal. El agrietamiento se produce por los efectos combinados de la contracción por secado del concreto, los cambios de humedad y temperatura, las cargas transmitidas por el tráfico, la restricción de la sub-base, y ciertas características de los materiales.

En el diseño de los sistemas de juntas para pavimentos carreteros se deben de considerar los siguientes factores:

- Condiciones ambientales: Los cambios de temperatura y humedad inducen movimientos en la losa que originan a su vez concentraciones de esfuerzos, alabeo y ondulación.
- Espesor de la losa: El espesor del pavimento afecta los esfuerzos de ondulación y las deflexiones debidas a transferencia de carga.
- Transferencia de cargas: La transferencia de cargas es necesaria a través de cualquier junta de pavimento. Sin embargo, la magnitud de la transferencia necesaria de carga varía según el tipo de junta. Cuando se usan pasajuntas o varillas de sujeción, el tipo y diámetro de las varillas escogidas será un factor que se deberá tomar en cuenta para el diseño de la junta.
- Tráfico: Las condiciones de tráfico son un factor extremadamente importante en el diseño de las juntas. La clasificación del tráfico, la canalización, las desviaciones de vehículos y la predominancia de las cargas de borde, afectan los requisitos de comportamiento a largo plazo.
- Características de los materiales para concreto: Los materiales constitutivos influyen en la resistencia del concreto y en las especificaciones de las juntas. Los materiales seleccionados para fabricar el concreto determinan la contracción de la losa. El agregado grueso afecta el coeficiente térmico del concreto. Además los materiales de mala calidad tienen un efecto perjudicial en el comportamiento de las juntas.
- Tipo de sub-base: Los valores de apoyo y las características de fricción entre superficies de contacto de los diferentes tipos de sub-bases, afectan el movimiento y el apoyo de las losas.

- Características del sellador: La separación de la junta afectará el tipo de sellador de juntas seleccionado. Otros aspectos, tales como factores de forma adecuados y costos del ciclo de vida también influyen en la selección del sellador.
- Diseño del acotamiento: El tipo de acotamiento (concreto ligado, asfalto, material granular o material térreo) afecta el apoyo en los bordes y la capacidad de las juntas de eje principal para transferir la carga. Los carriles externos ampliados han resultado efectivos para conservar la transferencia de cargas.
- Comportamiento histórico: Los registros locales de comportamiento constituyen una fuente excelente para establecer el diseño de las juntas. Sin embargo, las mejoras hechas a diseños anteriores aplicando la tecnología actual y nuevos materiales puede mejorar significativamente el comportamiento.

Los sistemas de construcción de juntas se basan en el principio de controlar las grietas que aparecen por causas naturales en los pavimentos de concreto. Las juntas se colocan en el pavimento para controlar la ubicación y geometría del agrietamiento.

La mayor parte del agrietamiento anticipado en el concreto, tiene lugar a edades muy tempranas en la vida del pavimento. Una de las causas principales del agrietamiento son los cambios de temperatura. El calor de hidratación y la temperatura del pavimento generalmente alcanzan un valor máximo poco tiempo después de que ha ocurrido el fraguado final. Después de llegar al máximo, la temperatura del concreto disminuye debido por un lado, a la menor actividad de hidratación y por otro, a la menor temperatura del aire durante la primera noche en la vida del pavimento.

Otro efecto que contribuye a la contracción inicial se debe a la reducción de volumen inducida por la pérdida de agua de mezclado. Las mezclas de concreto para aplicaciones a pavimentos implican más agua de mezclado de la que se necesita para hidratar al cemento. Esta agua adicional ayuda a alcanzar la trabajabilidad necesaria para las operaciones de colocación y acabado. Durante la consolidación y el endurecimiento, la mayor parte del agua sobrante asciende por sangrado hacia la superficie y se evapora. Al perder agua, el concreto ocupa un menor volumen.

En el capítulo III se describirán de forma detallada las características de los tipos de juntas que existen

**2.3.2 Sub-base**

Como se mencionó anteriormente un pavimento rígido está constituido por varias capas, una de ellas es la sub-base. Para el diseño de pavimentos de concreto, con la aplicación de la experiencia obtenida en el comportamiento y de la tecnología moderna de los materiales, se fomenta el uso más integral y más económico de los suelos naturales que existen en el sitio de construcción del pavimento. Por lo tanto, el ingeniero puede analizar las condiciones de diseño y decidir con un criterio racional si se necesita una capa de sub-base o si se pueden usar alternativas menos costosas para satisfacer los requisitos de un buen comportamiento.

La función esencial de una sub-base es la de evitar el efecto de bombeo de los suelos de grano fino. Una capa de sub-base es obligada, en los casos en que se combinen suelos finos, agua y tráfico, de tal forma que se induzca el efecto de bombeo, además de que no es necesario que esta capa sea muy gruesa, ya que la mayor parte de la capacidad estructural es aportada por la losa de concreto. El fenómeno de bombeo en pavimentos consiste en el desplazamiento forzado de una mezcla de suelo y agua, que tiene lugar por debajo de juntas de losas, grietas y bordes del pavimento. El efecto de bombeo puede ocurrir cuando los pavimentos de concreto se desplantan directamente sobre suelos plásticos de grano fino y sobre sub-bases propensas a la erosión. El bombeo continuo e incontrolado de los finos da lugar al desplazamiento de un volumen grande de suelo que induce la disminución de la capacidad de apoyo y por su parte los bordes de la losa quedan sin soporte.

Otras funciones económicas de las sub-bases son las siguientes:

- a) Recibir y soportar las cargas del tránsito a través de la capa que constituye la superficie de rodamiento (losa de concreto hidráulico).
- b) Transmitir estas cargas, adecuadamente distribuidas, a las terracerías.
- c) Impedir que la humedad de las terracerías ascienda por capilaridad.
- d) En caso de introducirse agua por la parte superior, permitir que el líquido descienda hasta la capa subrasante, donde se desaloja al exterior por el efecto del bombeo o la sobreelevación.
- e) Controlar los cambios volumétricos ante condiciones severas de subrasantes con altos cambios volumétricos.
- f) Proporciona una plataforma de trabajo más estable durante la construcción del pavimento.

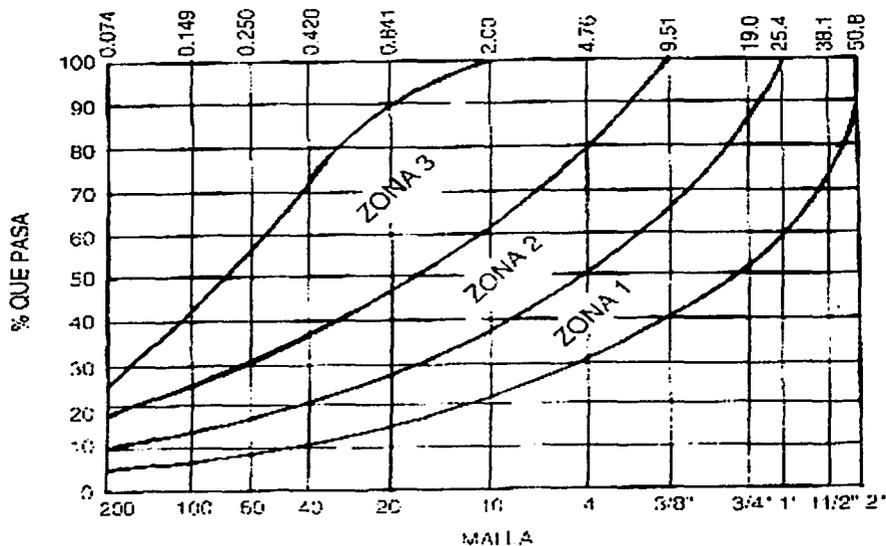
Las características de resistencia, plasticidad y valor cementante de los materiales que forman la sub-base se pueden observar en la figura 9, éstas especificaciones deben cumplirse de manera simultánea.

Aunque las normas señalan que la granulometría necesita ser similar a la que se marca en las fronteras de las zonas 1,2 y 3 de la figura 11, en realidad esto no es de mucha importancia si se cumplen las características marcadas en esos cuadros; sin embargo, si no se cumplen y se mejora la granulometría, por ejemplo

con estabilización mecánica, se aumenta la resistencia y la granulometría sirve como un índice para decidir la forma de realizar el mejoramiento.

Características	Zona granulométrica		
	1	2	3
Contracción lineal en porcentaje (máx)	6	4.5	3
Valor cementante, para materiales angulosos en kg/cm <sup>2</sup> (mín)	3.5	3	2.5
Valor cementante, para materiales redondeados y lisos en kg/cm <sup>2</sup> (mín)	5.5	4.5	3.5
Valor relativo de soporte estándar saturado, en porcentaje	50 mín.		
equivalente de arena, en porcentaje	20 mín. Tentativo		

(a)



(b)

Figura 11. (a) Características de calidad requeridos en los materiales que se utilizarán como sub-bases de pavimento. (b) Zonas granulométricas a las que se refieren las especificaciones de sub-bases.

## Sub-bases no tratadas

Se ha empleado con éxito una gran variedad de materiales y de granulometrías para construir sub-bases no tratadas, en las distintas organizaciones de carreteras. Se puede mencionar la piedra triturada, grava-arenas de bancos de préstamo, arenas, gravas estabilizadas con suelos y materiales locales como desperdicios de minas triturados, mezclas de arena con conchas y escoria de fundición.

El principal criterio consiste en limitar la cantidad de finos que pasan la malla No. 200. Se debe evitar el uso de agregados blandos porque se pueden producir finos por efectos de abrasión o trituración inducidos por el equipo de compactación y por el tráfico durante la construcción. Generalmente, los agregados con menos del 50 % de pérdida en la prueba Los Ángeles de abrasión resultan adecuados.

A manera de guía en la tabla 16 se muestran granulometrías típicas del material de sub-base.

Tamaño	Porcentaje que pasa en los diferentes tipos de malla					
	A	B	C	D	E	F
2 in	100.00	100.00				
1 in		75-95	100.00	100.00	100.00	100.00
3/8 in	30-65	40-75	50-85	60-100		
No. 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
No. 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
No. 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
No. 200	2-8	5-20	5-15	5-20	6-20	8-25

Tabla 16. Requisitos granulométricos para materiales formados por suelos y agregados.

## Sub-bases tratadas con asfalto y sub-bases de concreto pobre

El empleo de sub-bases tratadas con asfalto y en fechas más recientes de sub-bases de concreto pobre (econcreto) se ha vuelto práctica común en muchas áreas geográficas, esto se debe a las ventajas que representa con relación a las sub-bases no tratadas. Entre las muchas ventajas de su uso, una de las justificaciones más importantes es la creciente escasez de agregados que puedan satisfacer las especificaciones para construcción de pavimentos. Las sub-bases tratadas con cemento y con concreto pobre permiten un uso más eficiente de los materiales locales, de los agregados subestándar y de los materiales reciclados para pavimentación. Esto se traduce en la conservación de los agregados y en ahorros de material y transporte de los mismos.

Entre algunas otras ventajas que se pueden obtener a partir del uso de estas sub-bases tratadas están las siguientes:

1. Reducción de los esfuerzos y de las deflexiones en los pavimentos provocados por el tráfico de vehículos.
2. Se logra un apoyo firme para una pavimentadora de cimbra deslizante o para cimbres laterales.
3. Se logra una plataforma estable de trabajo para facilitar todas las operaciones constructivas y para permitir una producción grande diaria de pavimentos de concreto, con un mínimo de tiempos muertos por clima inclemente.
4. Prevención de la consolidación de la sub-base debida al tráfico.
5. Se logra una mejor transmisión de carga a las juntas del pavimento.
6. Se minimiza la intrusión de partículas granulares duras en el fondo de las juntas de pavimentos.
7. Se logra una superficie de la sub-base más resistente a la erosión.
8. Se construyen pavimentos más tersos debido a carriles más estables para las orugas de las pavimentadoras de cimbra deslizante.

Dentro de la familia de materiales aglutinados con cemento (sub-base tratada con cemento, concreto pobre, y concreto convencional) la sub-base tratada con cemento contiene la menor cantidad de cemento, generalmente del orden de 4 o 5% de cemento en peso. Otra diferencia es que las mezclas para sub-bases tratadas con cemento son, a diferencia de lo que sucede en sub-bases no tratadas, de una consistencia mucho más seca y, por lo tanto, se compactan con rodillos.

Los materiales tratados con cemento son los idóneos para las sub-bases debido a su resistencia a la erosión. Las sub-bases no tratadas tienden a erosionarse por debajo de las juntas del pavimento como resultado del tráfico. En situaciones de gran volumen de tráfico esto trae como resultado frecuentemente la falla de las juntas lo cual afecta negativamente las características de rodabilidad del pavimento. Esto resulta de particular importancia cuando se usan losas de concreto simple sin el empleo de pasajuntas.

Los altos valores de capacidad de carga de las sub-bases tratadas con cemento constituyen otra de las ventajas. Estos valores se miden a partir de pruebas de placa y se expresan en función del valor  $k$ , o sea el módulo de reacción de la capa de apoyo definida por Weestergard. El empleo de sub-bases tratadas con cemento proporciona una transferencia de carga más efectiva durante un período de tiempo más largo que con una sub-base no tratada. Como resultado, el uso de losas planas sin pasajuntas en un diseño de juntas muy cercanas entre sí, se puede a veces hacer extensivo a pavimentos que soporten un tráfico mayor que el límite sugerido actualmente.

Las mezclas para sub-base de concreto pobre, se preparan con una cantidad mayor de cemento y agua que las sub-bases tratadas con cemento, aunque contienen menos cemento que el concreto convencional. A pesar de que el concreto pobre tiene la misma apariencia y consistencia que el concreto convencional, el primero se consolida por medio de vibración. A esta mezcla se le

ha llamado econocreto, ya que se aprovechan los materiales locales como agregados.

El concreto pobre está diseñado para una aplicación muy particular y para un cierto medio ambiente y, en general, se hace a base de agregados que no necesariamente satisfacen las normas de calidad para el concreto convencional.

Algunos de los requisitos limitativos del concreto convencional, se refieren a las características de comportamiento del pavimento considerado como superficie expuesta en el que los menores contenidos de cemento y/o los agregados subestándar pueden dar lugar a un pavimento resbaloso. Esto se debe a la pérdida de textura superficial o al pulido del agregado, a la falta de resistencia a la abrasión, a empollamiento, a escamación superficial, o a otros efectos superficiales indeseables. Sin embargo se pueden aceptar algunos agregados subestándar cuando se usan en concreto pobre que funcione como capa inferior de una estructura de pavimento. Se recomienda usar material reciclado para pavimentos que sirva como agregado. Los límites de la calidad menor como agregado los deberá determinar el estado con base en experiencia local o por medio de pruebas en diseños de econocreto.

Los datos obtenidos de programas de pruebas de laboratorio y de proyectos de construcción con concreto pobre indican que se puede usar una amplia gama de agregados. Algunos de estos agregados son materiales no procesados que no alcanzan el grado de los agregados normales.

La mayoría contiene más material fino que pasa las mallas No. 100 y No. 200 que la cantidad aceptable para concreto normal, aunque esto no es necesariamente objetable para el concreto pobre porque los finos adicionales proporcionan la trabajabilidad que se necesita.

Los procedimientos normales y las pruebas para el diseño de mezclas de concreto también se siguen en el caso de las sub-bases de concreto pobre, con las siguientes excepciones: con frecuencia se usa un solo agregado en lugar de una combinación de agregados finos y gruesos que se apilan por separado; el contenido de cemento es menor que para el concreto normal y se proporciona sobre la base de obtener un nivel de resistencia y un requisito fundamental es que la sub-base de concreto pobre sea trabajable, capaz de consolidarse debidamente por medio de vibración, y lo suficientemente cohesiva como para resistir el revenimiento excesivo de los bordes cuando se coloca en una pavimentadora de cimbra deslizante. Otro requisito es que el concreto pobre endurecido tenga el grado de resistencia y durabilidad adecuado para condiciones de exposición a la intemperie.

La trabajabilidad se puede mejorar con la existencia de finos extra en el agregado; con cantidades mayores que las normales de aire atrapado; con la adición de ceniza volante, aditivos reductores de agua o agentes para mejorar la trabajabilidad; o con la combinación de algunos de éstos.

Sub-bases permeables

Recientemente se ha experimentado con sistemas drenables de pavimentos o se han especificado estos para pavimentos de trabajo pesado en los cuales la experiencia previa ha indicado la posibilidad de fallas en el pavimento o de efectos de bombeo de finos.

Estos sistemas están formados por capas de sub-base muy permeables y por drenes de orilla que se diseñan para desalojar rápidamente el agua. En la figura 12 se muestran secciones transversales típicas.

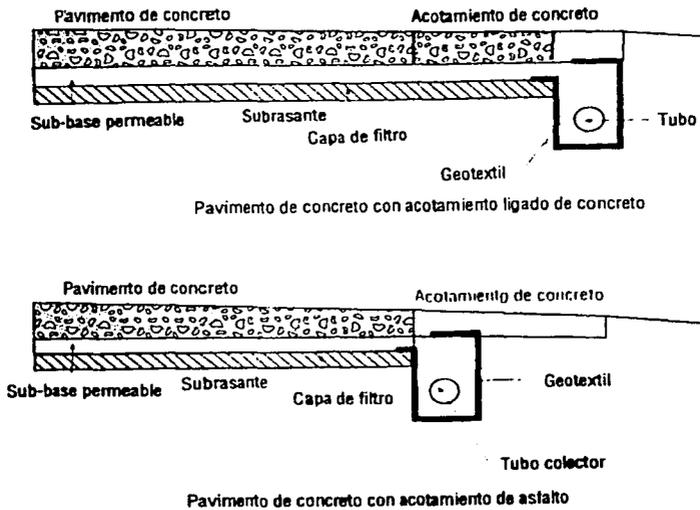


Figura 12. Secciones típicas permeables para sub-base.

**2.3.3 Métodos de diseño**

En la actualidad existen muchos métodos de diseño de pavimentos de concreto rígido, se pueden mencionar los siguientes:

- Método de fatiga de la asociación de Cemento Portland (PCA)
- Método de los productores de cemento Portland de EUA.
- Método de la Asociación de cemento Portland para calles y avenidas de las ciudades.

Aunque el objetivo de este trabajo no es el de ahondar en los métodos de diseño de los pavimentos explicaremos brevemente el primero.

**Método de fatiga de la Asociación de cemento Portland**

La mayoría de los nomogramas de cálculo de espesores de losa para pavimentos rígidos, se ha elaborado con base en la resistencia de trabajo del concreto hidráulico, aunque explícitamente también se ha ido tomando en cuenta la fatiga, pues se indica en ellos la vida útil que se puede esperar al aplicarlos.

El método que se explica a continuación se sustenta en la energía potencial de la losa que consume cada uno de los tipos de ejes de los vehículos y el número total de ejes que se espera transitarán durante la vida útil de la obra.

Para efectuar los cálculos necesarios se usa una forma (Figura 13) donde se anotan primero datos como: nombre del camino y tramo; módulo de reacción (k) a nivel de la volúmenes; y espesor y tipo de la sub-base (natural o tratada). volúmenes se obtiene el valor de la k combinada, de acuerdo con los datos de la base y con auxilio de curvas hechas para esto.

Para tomar en cuenta el impacto de los vehículos, se usa el factor de volúmenes por carga (FSC) (tabla 17), que se elige de acuerdo con la obra por construir y al considerar el siguiente criterio:

Tipo de obra	Factor de volúmenes por carga (FSC)	Espesor (cm)
Carreteras de primer orden, autopistas y otras vías con flujo interrumpido de tránsito y gran volumen de vehículos pesados	1.2	30-40
Carreteras y avenidas con volúmenes moderados de vehículos pesados	1.1	25-35
Carreteras y calles residenciales y otras con volúmenes pequeños de vehículos pesados.	1.0	20-30

Tabla 17

Cálculo del espesor de pavimentos de concreto

Obra: \_\_\_\_\_ Tramo: \_\_\_\_\_  
 K de la subrasante: \_\_\_\_\_ kg/cm<sup>3</sup>(pci), sub-base \_\_\_\_\_  
 K combinado: \_\_\_\_\_ kg/cm<sup>3</sup>(pci), Factor de seguridad por carga (FSC): \_\_\_\_\_  
 Espesor de losa propuesto: \_\_\_\_\_ Módulo de ruptura propuesto (MR): \_\_\_\_\_ kg/cm<sup>2</sup>

Procedimiento.

1. Llene las columnas 1, 2 y 6, poniendo las cargas en orden decreciente.
2. Analice el espesor de losa propuesto, completando las columnas 3, 4, 5 y 7.
3. Analice otros espesores de losa, variando el M. R., espesor y/o tipo de sub-base.

1 Cargas por eje (kips) Ton	2 Cargas por eje por FSC (Kips) Ton	3 Esfuerzos (pci) kg/cm <sup>2</sup>	4 Relaciones de esfuerzos	5 Repeticione s permisibles No.	6 Repeticione s esperadas No.	7 Resistencia a la fatiga consumida %
--------------------------------------	---	---	------------------------------------	---	--	---

Ejes sencillos


Ejes en tándem


Total

Interpretación del resultado

Figura 13. Forma para cálculo de espesores de losa de pavimento rígido, de acuerdo con el método de la Asociación de Cemento Portland (PCA).

En la columna número 1 de la hoja de cálculo, se anotan las cargas de los ejes que usarán la obra correspondiente y se separan los ejes sencillos de los tándem.

En la columna número dos, se anota el resultado de multiplicar las cargas de los ejes de la columna número uno por el factor de seguridad (FSC), con lo cual se agrega el impacto de los vehículos.

Para iniciar el cálculo se sugiere un espesor de losa adecuado al tipo de obra, como se señala en la tabla anterior, donde se recomiendan diversos grosores y se revisan por fatiga, conforme a los siguientes cálculos:

Con ayuda de nomogramas se encuentran los esfuerzos que cada eje provoca en la losa, y se anotan en la columna número tres.

Los datos de la columna número cuatro se obtienen al dividir los resultados de la columna tres (esfuerzos) entre el módulo de ruptura del concreto (MR); las cantidades se anotan en decimales redondeados a las centésimas. Con estas cifras, se entra en la tabla 18, que proporciona el número de pasadas que provocaría la falla de la losa para cada eje si nada más se utilizara uno de estos ejes en la obra. La cantidad de repeticiones permisibles en la columna número cinco, en el renglón del eje respectivo. Si la cantidad que aparece en la columna número cuatro es igual o menor que 0.5, en la columna número cinco se anota la palabra "indeterminado", para indicar que de ese eje podría pasar cualquier número sin que, en teoría, fallara la losa.

De esta manera en la columna número cinco está el número de pasadas de cada eje que consumiría el 100 % de energía potencial de la losa; sin embargo, en la columna número seis se tiene la posible cantidad de ejes que usarán la obra en la vida útil del camino, por lo que al dividir los datos de esta columna entre los de la columna número cinco y multiplicar el resultado por cien, se obtiene el porcentaje de energía o fatiga que consumiría cada eje. Este resultado se coloca en los renglones correspondientes de la columna número siete. La suma de esta columna, incluida la de los ejes sencillos como los de tándem, da la energía que gastarán todos estos.

Si esta suma es cercana a 100%, el espesor de la losa considerado es correcto; pero si el valor es bastante menor, habrá un pavimento sobrediseñado y entonces deberá realizarse otro u otros cálculos, disminuyendo el valor del módulo de ruptura, el espesor de la losa o la calidad de la sub-base hasta que la columna número siete esté entre el 80 y el 100%. En caso de que el pavimento este subdiseñado porque el porcentaje final sea mayor que el 100%, se aumentará el valor de las características señaladas para hacer los nuevos cálculos.

Relación de esfuerzos F/MR	Número de repeticiones admisibles	Relación de esfuerzos F/MR	Número de repeticiones admisibles
0.50	Infinitas	0.68	3 500
0.51	400 000	0.69	2 500
0.52	300 000	0.70	2 000
0.53	240 000	0.71	1 500
0.54	180 000	0.72	1 100
0.55	130 000	0.73	850
0.56	100 000	0.74	650
0.57	75 000	0.75	490
0.58	57 000	0.76	360
0.59	42 000	0.77	270
0.60	32 000	0.78	210
0.61	24 000	0.79	160
0.62	18 000	0.80	120
0.63	14 000	0.81	90
0.64	11 000	0.82	70
0.65	8 000	0.83	50
0.66	6 000	0.84	40
0.67	4 500	0.85	30

Tabla 18. Tabla que proporciona el número de pasadas de un eje en particular, que llevaría a que la losa fallara según la relación de esfuerzos (esfuerzo/MR)

## 2.4 OTROS TIPOS DE PAVIMENTOS.

### Pavimentos Con Bases Porosas.

La utilización de mezclas porosas o drenantes en la superficie de los pavimentos ha contribuido a mejorar la comodidad y seguridad de la circulación en tramos carreteros con precipitaciones continuas, ya que permite la entrada del agua a la carpeta porosa y la conduce hacia las zonas laterales, con lo que evitan la formación de una película de agua sobre la superficie del pavimento y el consecuente riesgo de acuaplaneo de los vehículos.

Estudios realizados por la Asociación Americana de Ensayos de Materiales (ASTM), han determinado que el fenómeno de acuaplaneo en una superficie mojada se produce, cuando un vehículo circula a 75 km/hr sobre un pavimento construido con mezcla densa, en contraste, cuando el pavimento tiene una superficie porosa, el acuaplaneo se presenta hasta los 115 km/hr.

Las carpetas porosas pueden definirse como mezclas asfálticas con un contenido de huecos suficientemente alto (16-25%) para permitir que el agua de lluvia se filtre a través de ella con una rapidez que pueda ser adecuada hacia los acotamientos, cunetas, u otros elementos de drenaje, evitando su permanencia en la superficie de la capa de rodadura incluso bajo precipitaciones intensas y prolongadas.

En las mezclas, escasez de agregado fino debido a la falta de mortero las hace mucho más vulnerables a los efectos de disgregación, lo que a de ser compensado con una película de asfalto de mayor espesor y mejor calidad al rededor de los agregados.

En general las mezclas porosas en carreteras tienen las siguientes ventajas:

- Proporciona una mayor resistencia al deslizamiento a altas velocidades.
- Ofrece una elevada resistencia al deslizamiento bajo lluvias y eliminan o reducen considerablemente la posibilidad de que se produzca el fenómeno de acuaplaneo.
- Reduce la cantidad de agua proyectada por el paso de vehículos.
- Mejoran la visibilidad del pavimento mojado.
- Tiene un adecuado comportamiento mecánico.
- Sus pavimentos generan una rodadura cómoda y silenciosa.

**Pavimentos Con Sección Invertida.**

La técnica representa una solución alterna para estructurar pavimentos, que consiste en colocar una sub-base de mayor rigidez que la base. Los resultados de la simulación con el elemento finito indica que es una solución viable, que puede dar una vida útil mayor que la que corresponde a una estructura tradicional de pavimento.

Al aumentar la rigidez en la sub-base, las deformaciones verticales en el pavimento y las deformaciones de tensión en la carpeta se disminuyen apreciablemente. Esto se debe al efecto de confinamiento que induce una sub-base más rígida en la base, lo cual se traduce en una disminución de deformaciones laterales.

Los pavimentos de sección invertida tienen las siguientes ventajas:

- Al rigidizar con cemento portland la base, se logra una verdadera zapata continua de cimentación que absorberá la mayor parte de las deformaciones y esfuerzos inducidos por el tránsito, transmitiendo menores presiones de contacto en la capa subrasante.
- La capa de sub-base rigidizada con cemento portland impide el ascenso de finos de la parte inferior y además ayudará a conducir al exterior el agua que pudiera provenir de la capa de base totalmente triturada construida sobre esta capa.
- La base de pavimento en este caso se constituye con materiales totalmente triturados, de textura abierta, que proporciona una gran capacidad de carga por el alto grado de trabazón y permeabilidad entre sus partículas, las cuales desarrollan una fricción alta a pesar de la humedad.
- La vida económica del proyecto se mantendrá con el mínimo de gastos de mantenimiento, solo se requerirán riegos de sello en la superficie del pavimento para dar la rugosidad que exige la seguridad del usuario.

### **Pavimentos De Concreto Compactado Con Rodillos (CCR).**

El concreto compactado con rodillos, es un concreto muy seco que se compacta en campo por medio de rodillos vibratorios de (10 ton), con el objeto de lograr una alta densidad para relaciones de agua-cemento muy bajas. En laboratorios se han reportado densidades hasta 2560 kg/cm<sup>3</sup>.

Las características elásticas del CCR corresponden a las de los concretos convencionales de muy alta resistencia y las propiedades de fatiga estudiadas en laboratorios bajo compactación señalan que el CCR puede proporcionar una vida más larga a la fatiga que la de concreto convencional (igual consumo de cemento), bajo los mismos niveles de esfuerzo.

Entre las ventajas que se tienen para el uso de esta alternativa se encuentran:

- Costos más bajos que el asfalto, a mediano y largo plazo.
- El CCR puede ser colocado con equipo convencional para pavimentación asfáltica.
- Vida útil de al menos 20 años, libre de mantenimiento.
- Mayor luminosidad que el pavimento de asfalto.
- Reduce el desgaste del automóvil y el consumo de combustible.

La técnica de construir pavimentos de CCR, cobró fuerza en los inicios de los setenta, a pesar de no existir la suficiente información teórica acerca del comportamiento de este material y mucho menos del diseño.

En nuestro país la experiencia constructiva de este pavimento aún es limitada, ya que sólo se practica en tramos experimentales.

## **CAPÍTULO III**

# **PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS**

### **CAPÍTULO III. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS**

Una etapa fundamental y de gran importancia dentro del ciclo de vida de un pavimento carretero es la de construcción, ya que si en este lapso se realiza lo que se solicita en el proyecto seguramente el tiempo de vida será el que se había determinado. A continuación se explican las actividades que hay que realizar en la construcción de un pavimento.

#### **3.1 PRELIMINARES**

Antes de la llegada del equipo al terreno se deberá de construir un camino de acceso al frente de trabajo, que sea paralelo al eje del camino por construir y que pueda soportar el tránsito de maquinaria pesada como son: camiones de volteo, motoescrapas, retroexcavadoras, compactadoras, etc.

También habrán de construirse instalaciones provisionales que sean fáciles de desmontar cuando dejen de utilizarse, para alojar en ellas oficinas de campo, laboratorios de control de calidad, talleres de mantenimiento de maquinaria, bodegas, etc.

##### **3.1.1 TRAZO**

El trazo es una de las primeras actividades que se realizan en la construcción de una carretera y consiste en marcar sobre el terreno el eje del camino por construir, basándose en los planos que resultaron de la etapa de diseño del proyecto. Es importante también marcar el derecho de vía para facilitar las labores que seguirán después del trazo, en esta etapa se definen físicamente los lugares en donde habrá entronques, pasos inferiores vehiculares, pasos superiores vehiculares, obras de drenaje, túneles, puentes, etc., de ahí la importancia de supervisar que se lleve a cabo correctamente esta tarea y evitar los posibles errores que pueden resultar muy costosos y afectar enormemente el presupuesto de la obra.

##### **3.1.2 DESMONTE**

El desmonte consiste en eliminar la vegetación existente en el derecho de vía, en las áreas de construcción y en las destinadas a bancos; esto se hace con el fin de impedir que la materia vegetal cause daños a la obra y de proporcionar una buena visibilidad, de acuerdo con lo establecido en el proyecto o con lo que ordene el representante. Esta operación involucra la ejecución de cualesquiera de las actividades siguientes:

- a) Tala o corte de los árboles y arbustos.
- b) Roza de la maleza, hierba, zacate y residuos de las siembras.
- c) Desenraice, o sea extraer los troncos o tocones con raíces, o cortándoles éstas.

- d) Limpia y quema, operación que consiste en retirar el producto del desmonte hacia el lugar que señale el representante, estibar dicho producto y quemar lo que a criterio del propio representante, no sea utilizable.

La tala, roza, quema y limpia se efectuarán en todo el derecho de vía o en parte de éste, así como en las áreas de construcción conforme lo disponga el proyecto o lo ordene el representante. Estas operaciones se deben realizar en el área limitada por las líneas que se hayan trazado a un metro, por lo menos, fuera de los ceros de los canales y contracunetas y de las zonas que delimitan los préstamos, bancos y otras superficies que el representante ordene desmontar. El contratista debe asegurarse de que toda la materia vegetal resultante del desmonte quede fuera de las zonas destinadas a la construcción.

El desenraice se efectuará en las superficies limitadas por líneas trazadas a un metro, por lo menos, fuera de los ceros, para: cortes, terraplenes con espesor menor a un metro, canales y contracunetas, zonas de préstamos, bancos y en otras superficies que señale el representante. El contratista debe asegurarse de que al realizar esta operación se elimine completamente la materia vegetal a fin de que no se mezcle con el material de construcción.

El desmonte podrá efectuarse a máquina o a mano. Si es a mano, el corte de los arboles deberá quedar a una altura de 75 cm como máximo, y el de los arbustos a 40 cm sobre el suelo, excepto en las áreas en donde deba efectuarse el desenraice. Para esta operación generalmente se utilizan sierras motrices o manuales. Todo el ramaje de los arboles situados fuera de las áreas desmontadas y que quede sobre la corona o cama de las terracerías, debe cortarse en la forma que indique el representante. Debe quemarse la materia vegetal no utilizable que resulte del desmonte, a menos que, a menos que el representante ordene lo contrario. En los sitios que señale el representante, debe estibarse el material aprovechable que resulte del desmonte. En todos los casos deben tomarse las medidas necesarias a fin de evitar incendios y otros daños. Si quemar el material no aprovechable representa un peligro para el bosque o para las propiedades vecinas deberá depositarse en los lugares que indique el representante, para que se queme cuando éste lo ordene.

Las condiciones del sitio deberán dictar el procedimiento a seguir. Los trabajos de desmonte deben estar terminados a una distancia mínima de un kilómetro, medida desde el frente de ataque de las terracerías hacia delante; asimismo, deberán estar terminados los trabajos que determine el representante en áreas de construcción.

Cuando deban respetarse los arboles o los arbustos, porque tal lo señala el proyecto o porque así lo señala el representante, el contratista cortará solamente las ramas que queden a menos de ocho metros arriba de la corona o cama de la terracería, pero tomando las medidas necesarias para no dañarlos y para conservar la simetría y la buena apariencia del conjunto de esos arboles. Usualmente para derribar arboles se utiliza la acción del empuje de tractores o en el caso de especies menores, su corte con equipos motorizados para poda.

Si del desmonte resulta material aprovechable, tal como árboles o arbustos, la Secretaría gestionará ante las autoridades competentes, para que dicho material quede a disposición del o de los propietarios afectados, los arboles o arbustos pasarán a poder de la Dependencia del ejecutivo que, según las disposiciones legales vigentes, le corresponda; pero si la propia Secretaría necesita el material para la obra, ella hará las gestiones que procedan. En este caso los troncos y raíces deberán extraerse empleando tractores (equipados con arado de requerirse).

### **3.1.3 DESPALME**

Se entenderá por despalme a la operación de corte, extracción y acarreo a otro sitio de la capa de suelo vegetal existente en la superficie.

Es indispensable eliminar, de las zonas por pavimentar o terraplenes compactados la presencia de componentes orgánicos que alteren las características del terreno impidiendo un adecuado procedimiento de consolidación.

Su profundidad la determinará el estudio geológico preliminar y deberá ser suficiente para descubrir la capa sana sobre la que se cimentará la estructura de los pavimentos.

Razones de economía han conducido, en la actualidad, a buscar el óptimo aprovechamiento de los movimientos de tierra. Por ello, el producto del corte en despalme no se desperdicia, se procura aprovecharlos en fajas de seguridad o en otros rellenos.

### **3.1.4 CORTES SUPERFICIALES**

La presencia de capas arcillosas delgadas, de alta compresibilidad bajo los pavimentos, puede provocar deformaciones; en su caso y, cuando el espesor no sea excesivo, será conveniente eliminarlas. Puesto que todo corte deberá, de ser así considerado rellenarse con material de mejor calidad, el análisis económico durante la etapa de planeación y el proyecto habrá definido esta eventualidad.

El producto de estos cortes, será también utilizado en rellenos convenientes tratando de evitar desperdicios de materiales.

### 3.2 TERRACERIAS

Las terracerías puede definirse como los volúmenes de materiales que se extraen o que sirven de relleno en la construcción de una vía terrestre.

La extracción puede hacerse a lo largo de la línea de la obra y si este material se usa en la construcción de los terraplenes o los rellenos, las terracerías son compensadas y el volumen del corte que no se usa se denomina desperdicio.

Si el volumen que se extrae en una línea no es suficiente para construir los terraplenes o los rellenos, se necesita extraer material fuera de ella, o sea en zonas de préstamos. Si en estas zonas se ubica cerca de la obra, de 10 a 100 metros a partir del centro de la línea, se llaman zonas de préstamos laterales, si se encuentra a más de 100 metros, son de préstamos de banco.

Las terracerías en terraplén se dividen en el cuerpo del terraplén, que es la parte inferior, y la capa subrasante, que se coloca sobre la anterior con un espesor mínimo de 30 centímetros. A su vez, cuando el tránsito que habrá de operar sobre el camino es mayor de 5000 vehículos diarios, se construyen en el cuerpo de terraplén los últimos 50 centímetros con material compactable y esta etapa se denomina subyacente.

### 3.2.1 REALIZACION DE CORTES

Los cortes son excavaciones o remociones de los materiales productos de las mismas realizados en el terreno natural, en ampliación o abatimiento de taludes, en derrumbes y en rebajes de terraplenes, con el objeto de formar la subrasante, los taludes, las cunetas y los desplantes de los terraplenes.

Los materiales de cortes, de acuerdo con la dificultad que presenten para su extracción y carga, se clasifican tomando como base los tres tipos:

El **material A** es el blando o suelto, que puede ser eficientemente excavado con motoescrepas de 90 a 110 caballos de potencia sin auxilio de arados o tractores empujadores. Además, se consideran como material A, los suelos poco o nada cementados, con partículas hasta de 7.6cm. Los materiales más comúnmente clasificables como material A, son los suelos agrícolas, los limos y las arenas.

**Material B** es el que, por la dificultad de extracción y carga, sólo puede ser excavado eficientemente por tractor de orugas con cuchilla de inclinación variable, de 140 a 160 caballos de potencia, sin el uso de arado o explosivos. Se consideran como material B, las piedras sueltas menores de 75cm y mayores de 7.6cm. Los materiales más comúnmente clasificables como material B, son las rocas muy alteradas, conglomerados medianamente cementados, areniscas blandas y tepetates.

**Material C** es el que, por su dificultad de extracción, sólo puede ser excavado mediante el empleo de explosivos; además, se puede considerar material C, las piedras sueltas con una dimensión mayor de 75cm. Entre los materiales clasificables como material C, se encuentran las rocas basálticas y conglomerados fuertemente cementados, calizas, riolitas, granitos y andesitas sanas.

### EJECUCION

Se despalmará el sitio de los cortes y el área de desplante de los terraplenes desalojando la capa superficial del terreno natural para eliminar el material que se considere inadecuado para la construcción de terracerías.

Las excavaciones en los cortes se ejecutarán de manera que permita el drenaje natural del corte, las cunetas se construirán con la oportunidad necesaria y en tal forma que su desagüe no cauce perjuicios a los cortes ni a los terraplenes, las contracunetas, deberán hacerse simultáneamente con los cortes.

Al hacer los cortes, particularmente cuando se empleen explosivos, se evitará hasta donde sea posible aflojar el material en los taludes más allá de la superficie teórica fijada en el proyecto. En caso de no ser así o que exista defectos de construcción, todo el material que se derrumbe o se encuentre inestable en los taludes será removido.

En los cortes en Material C y los que se realicen en Material A o B, la excavación de los cortes se hará hasta una profundidad de 30 cm debajo de la subrasante de proyecto, para formar la cama, no debiendo que dar salientes de roca de más de 15 cm, en casos especiales, podrá aumentar o disminuir la profundidad de la sobreexcavación.

En las laderas cuya pendiente transversal sea igual o mayor de 25%, para obtener una buena liga entre los terraplenes y el terreno natural y con el fin de evitar deslizamientos, se construirán escalones dentro del área donde se apoyen los terraplenes. Los escalones tendrán una plantilla de 2.5 m cuando se excave en Materiales A o B, cuando se excaven en Material C, se indicarán las dimensiones de la plantilla.

Los materiales obtenidos de los cortes se emplearán en la formación de los terraplenes y en caso de no cumplir con las características necesarias se desperdiciarán.

Para dar por terminado un corte, se verificarán el alineamiento, el perfil y la sección en su forma, anchura y acabado de acuerdo con lo fijado en el proyecto, dentro de las tolerancias que se indican a continuación:

Niveles de la subrasante	+3 cm
Ancho de la excavación, al nivel de la capa subrasante, del centro de la línea a la orilla.	+10 cm
Salientes aisladas, con respecto a la superficie teórica del talud:	
1) Material A o B	10 cm
2) Material C	50 cm

### **3.2.2 COMPACTACION DEL TERRENO NATURAL**

La compactación es un proceso mecánico por medio del cual se reduce el volumen de los materiales en un tiempo relativamente corto, con el fin de que resistan las cargas y tengan una relación esfuerzo-deformación, conveniente durante la vida útil de la obra.

Cuando el terreno natural tiene una compactación baja, y está suelto, sin estructuración, conviene compactarlo para darle la resistencia adecuada en un espesor mínimo de 30 centímetros; sin embargo, cuando el terreno tiene cierta estructura, se debe hacer estudios con el fin de ver si es necesario compactarlo, pues en ocasiones, al efectuar este tratamiento, se rompe su estructura y el resultado es contraproducente.

En la compactación, el volumen del suelo se reduce utilizando maquinaria especializada. Este cambio se reduce principalmente por la reducción de volumen de aire que contiene el material, al darle cierto número de pasadas con el equipo adecuado.

#### **Equipo De Compactación:**

Para compactar los materiales, se tiene diferentes tipos de máquinas que tienen su aplicación dependiendo de las características de aquellos. Principalmente se pueden dividir en dos tipos: de presión y vibratorios.

Las máquinas compactadoras de tipo de presión, a su vez, se dividen en máquinas sin y con saliente.

Los compactadores sin salientes son los rodillos lisos, que tiene diferentes anchos y diámetros, se combinan de diferente manera, para tener mayor eficiencia.

Los rodillos con salientes son metálicos con pico, vástagos o pernos de 15 a 25 cm, de diferentes formas como son: tronco cónica y tronco piramidal o en forma paralelepípedos, que para compactar introducen las salientes en el material y lo compactan de abajo hacia arriba, evitando el encarpamiento que produce los rodillos sin salientes, es por eso que su mayor eficiencia se obtiene en los materiales finos plásticos.

Los principales exponentes de este tipo son los rodillos pata de cabra, los rodillos tipo tamper y los rodillos segmentados, de los cuales el primero se utiliza en los materiales más finos y el último para materiales finos con gruesos.

### **3.2.3 FORMACION DE TERRAPLENES**

Los terraplenes son estructuras ejecutadas con material adecuado producto de los cortes o de préstamos.

La finalidad de esta parte de la estructura de una vía terrestre es dar la altura necesaria para satisfacer principalmente las especificaciones geométricas.

#### **Funciones Del Cuerpo De Terraplén**

- Recibir y resistir las cargas del tránsito que le son transmitidas por las capas superiores.
- Distribuir los esfuerzos a través de su espesor, para transmitirlos, en forma adecuada, al terreno natural de acuerdo a su resistencia.

#### **Materiales Para El Cuerpo De Terraplén**

Los materiales que se emplean en la construcción de terraplenes serán aquellos que provengan de cortes o de préstamos y que sean adecuados.

Para fines de formación de terraplenes. Los materiales que se empleen en la construcción de los mismos se clasificarán de la siguiente manera:

##### ***Materiales compactables:***

Se dice que un material compactable, es cuando después del disgregado tiene menos del 20% de retenido en la malla de 7.5 cm, pero menos de 5% de retenido en la malla de 15 cm.

##### ***Materiales no compactables:***

Son los fragmentos de rocas provenientes de mantos sanos, tales como: basaltos, conglomerados fuertemente cementados, calizas, riolitas, granitos, andesita y los que excedan los requisitos de porcentaje y tamaño de material retenido.

**Construcción Del Cuerpo De Terraplén**

Antes de iniciar la construcción de los terraplenes, se rellenarán los huecos motivados por el desenraice, se escarificará y se compactará el terreno natural o el despalmado, en el área de desplante y en el espesor ordenado, hasta alcanzar el grado de compactación fijado.

Siempre que la topografía del terreno lo permita, los terraplenes se construirán por capas sensiblemente horizontales en todo el ancho de la sección y de un espesor aproximadamente uniforme.

Cuando los materiales son compactables, se les dará un tratamiento con el equipo que corresponde según su calidad. En general el grado de compactación de estos materiales en el cuerpo de terraplén es del 90% y el espesor de las capas responde al equipo de construcción.

Si los materiales no son compactables, se forma una capa con espesor casi igual al tamaño de los fragmentos de roca, no menor de 15 cm. Un tractor de orugas se pasa tres veces por cada punto de la superficie de esta capa, con movimientos de zigzag. Para mejorar el acomodo es conveniente proporcionar agua en una cantidad de 100 litros por cada metro cúbico de material.

Para dar por terminada la construcción de un terraplén, incluyendo su afinamiento, se verificará el alineamiento, el perfil y la sección en su forma, anchura y acabado, de acuerdo con lo fijado y dentro de las tolerancias que se indican a continuación:

Niveles en subrasante:	+ 3cm
Ancho de la corona, al nivel de la subrasante:	+ 10cm
En los taludes o el ancho:	
Material A o B	+30cm
Material C	+75cm

### 3.2.4 CAPA SUBRASANTE

Para construir la capa subrasante se utilizan comúnmente materiales de bancos con las características adecuadas para cumplir las funciones que tendrán en la estructura vial. Si el material que se extrae de los cortes tiene estas características, puede emplearse en ellos y en los terraplenes contiguos para construir esta capa subrasante.

La parte superior de la capa subrasante coincide con la subrasante o línea subrasante del proyecto geométrico, lo cual debe cumplir con las especificaciones de pendiente longitudinal para la obra. Esta línea marca la altura de las terracerías y por tanto su espesor que la mayoría de las veces es mayor que el necesario en la estructura.

En el proyecto geométrico de la subrasante es preciso tomar en cuenta:

- Las especificaciones de la pendiente longitudinal de la obra.
- Que la subrasante tenga la altura suficiente para dar cabida a las obras de drenaje.
- La altura conveniente para la subrasante, a fin de que el agua capilar no afecte el pavimento.

En los procedimientos de construcción, los materiales se deben compactar con el equipo más adecuado, de acuerdo con sus características, la capa subrasante consta de dos capas de 15cm de espesor mínimo.

Cuando los materiales encontrados en las zonas cercanas a la obra no cumplen con las características marcadas en las normas, se requiere estabilizarlas mecánicamente o químicamente.

A veces, el material de los cortes es adecuado para la capa subrasante y por lo mismo no debe de acarrear material de préstamo de banco, sino utilizarse el que ya existe para no tener salientes en la cama de los cortes y que la compactación sea constante. Para esto se escarifican 15cm del material, se humedecen en forma homogénea, se extienden dando el bombeo o sobre elevación de proyecto y se compactan a 95% de su PVSM.

**3.2.5 CONTROL DE CALIDAD**

Para que un producto sea elaborado en forma correcta es necesario que sus características geométricas y la calidad de los materiales estén de acuerdo con los planos y las normas correspondientes.

En la construcción de carreteras, se tiene la necesidad de llevar a cabo diferentes controles, a fin de que se obtengan las obras de calidad necesaria en el tiempo programado y con los costos presupuestados.

El control de calidad de caminos, interviene en todas las etapas de la obra, es decir, desde su proyecto y construcción hasta la operación y mantenimiento.

En la etapa de proyecto se deben hacer los estudios necesarios para saber con qué materiales se cuenta e indicar los tratamientos a los que debe estar sujeto para poder utilizarse en las diferentes partes de la estructura. Cuando la obra esté en construcción se debe verificar que los materiales lleguen a los diferentes frentes sean los adecuados, que se tengan los tratamientos y que se utilicen los procedimientos de construcción marcados en el proyecto, también se deberá revisar la geometría horizontal, transversal y vertical, así como los espesores y posición de las capas.

Para conocer la calidad de los materiales, verificar la calidad de la obra y estructurar la sección transversal de una carretera, es necesario la utilización de laboratorios de materiales, en donde se ejecuten las pruebas adecuadas

Para la formación de terracerías la calidad de los materiales es verificada por pruebas de clasificación que son aquellas que permiten identificar los materiales y decidir si pueden utilizarse o no en algunas de las capas estructurales y las de control que son las que permiten verificar si la obra cumple con los requisitos del proyecto y de control que se realizan a los materiales pétreos y suelos, el cual consiste en hacer pruebas de granulometría, plasticidad, resistencia, expansión, dureza y pruebas de compactación en campo y laboratorio.

### **3.3 BANCOS DE PRÉSTAMO PARA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS**

Cuando el material proveniente de la excavación realizada dentro de los límites del derecho de vía no es suficiente para la formación de las capas del pavimento, se toma por lo general material adecuado de un banco de préstamo. El organismo que contrata puede indicar y suministrar al contratista bancos de préstamo apropiados, o bien, el contratista puede obtener los materiales especificados e idóneos seleccionando bancos por su cuenta.

La apertura y explotación de los bancos de préstamo son con frecuencia una operación en gran escala, que necesita de los mejores métodos de producción masiva de movimiento de tierras

La materia prima (material en greña) para la producción de los agregados pétreos que se utilizan en la construcción de pavimentos se obtiene de bancos de roca o de yacimientos de agregados naturales de río o de depósitos de aluvión, conglomerados, etc., fundamentalmente.

Para la extracción y preparación de los agregados, son los factores de dureza y de grado de abrasividad, los que importan principalmente para la selección del equipo.

La extracción de las rocas a cielo abierto, tiene dos series de operaciones:

- a) Trabajos preparatorios
- b) Extracción propiamente dicha.

En efecto, antes de proceder a la extracción de material, es necesario retirar los terrenos constituidos de tierra vegetal, tepetate, limos y arcillas, etc., realizando las operaciones de despalle y desenraice con maquinaria o a mano, hasta dejar abierta a la pedrera con su frente de ataque en uno o varios pisos, con las terrazas respectivas para permitir la evolución de las máquinas de perforación, del equipo de carga y del equipo de evacuación del material extraído. En los bancos de roca es muy común utilizar explosivos con los cuales se dislocan los cuerpos de este material y se obtienen fragmentos de tamaño tal que se permite su manejo con los medios de carga y de transporte disponibles, así como su entrada a la boca de los equipos de trituración.

La preparación de los agregados tiene por objeto transformar el material en greña proveniente del banco de agregados naturales, compuesto de elementos de todas dimensiones, desde bloques grandes hasta elementos finos e impurezas de arcilla y limo, en materiales limpios, clasificado en las categorías granulométricas requeridas.

### **3.3.1 CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS.**

El control de calidad durante la construcción de una obra de este tipo, es el conjunto de actividades que permiten evaluar las propiedades inherentes a un concepto de obra y sus acabados, así como a los materiales y equipos de instalación permanente que se utilicen en su ejecución, comparándolas con las especificadas en el proyecto, para decidir la aceptación, rechazo o corrección del concepto y determinar oportunamente si el proceso de producción o el procedimiento de construcción se está realizando correctamente o debe ser corregido. Dichas actividades comprenden principalmente el muestreo, las pruebas de campo y laboratorio, así como los análisis estadísticos de sus resultados, entre otras.

El control de calidad es una herramienta invaluable y en el se consideran cuatro aspectos:

- Establecimiento de normas de calidad.
- Estimación de la concordancia con las normas.
- Información oportuna y clara.
- Acción cuando no se coincide con las normas.

La responsabilidad de la calidad recae tanto en el consumidor como en el productor. El industrial es el responsable de la producción, por lo que debe tener elementos para realizar su control durante este proceso. Junto con el empresario, también es responsable todo el personal que interviene en realizar los productos, como jefes de departamento de producción u obra, operarios, obreros, etcétera.

El usuario o consumidor también tiene responsabilidad en el control de calidad, si acepta un producto sin exigir lo que de él solicitó a la empresa productora. De la magnitud y el costo del producto, dependerá el grado de control que se tenga. Si se trata de un edificio de varios pisos, el contratante podría auxiliarse de un laboratorio particular, para verificar la calidad que le están entregando, si es un producto pequeño, de uso doméstico por ejemplo, entonces el consumidor salva su responsabilidad al rechazar las marcas de mala calidad. De todas maneras, el productor tiene que mejorar la calidad de su producción, al observar la reacción del público.

Para construir las vías terrestres es necesario llevar a cabo diferentes controles, a fin de obtener obras con la calidad necesaria en el tiempo programado y con los costos presupuestados.

Para conocer la calidad de los materiales, verificar la calidad de la obra y estructurar la sección transversal de una vía terrestre, es necesario apoyarse en laboratorios de materiales, en donde se ejecuten las pruebas adecuadas al caso.

Una prueba es el conjunto de medidas sistematizadas, efectuadas a un espécimen elaborado ex profeso.

Las pruebas deben cumplir estos requisitos:

- Y Estar dirigidas a características esenciales.
- Y Basarse en amplios estudios locales.
- Y Estar rigurosamente estandarizadas.
- Y Realizarse con rapidez y sencillez.
- Y Interpretarse con facilidad.
- Y Ser confiables.
- Y Que requieran equipos económicos y de fácil calibración y reparación (en la medida de lo posible).

Las principales pruebas que se aplican a los materiales de construcción de vías terrestres se clasifican como se indica en la figura 14:

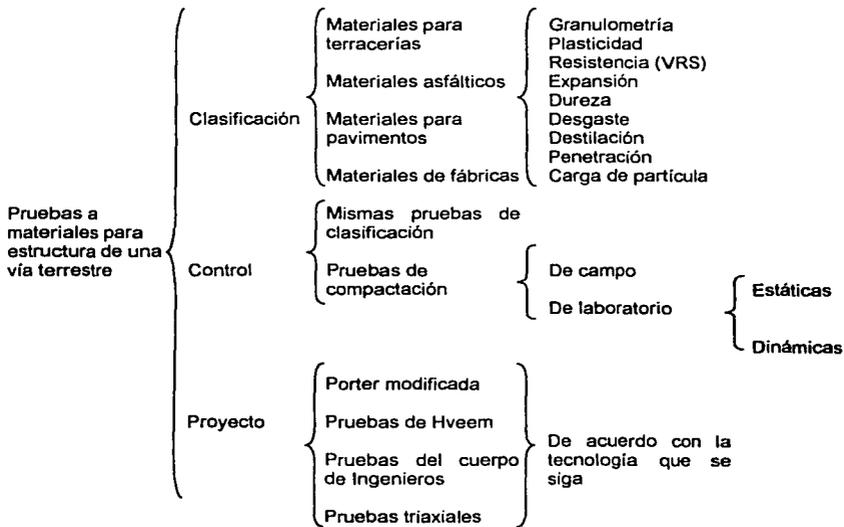


Figura 14. Principales pruebas aplicables a materiales utilizados en la construcción de vías terrestres.

### **3.3.2 SUB BASE**

El tamaño del material que constituya la sub base no deberá exceder de 51 mm (2") la relación del porcentaje en peso, que pase la malla No. 200 al que pase la malla No. 400 no deberá ser mayor de 0.65, el equivalente de arena del material será de 20 como mínimo, su valor relativo de soporte será como mínimo de 50 % en condición saturada y el grado de compactación se exige de 95 %.

### **3.3.3 BASE HIDRÁULICA**

Los materiales utilizados para la formación de las bases son agregados pétreos o fragmentos rocosos sometidos a procesos de fabricación, tal como la trituración, que produce efectos favorables en la resistencia y deformabilidad, pues da lugar a partículas de aristas vivas entre los que es importante el efecto de acomodo estructural, que es una de las fuentes de resistencia. El cribado de estos materiales es otro proceso de fabricación y a través del cual se logra satisfacer un requisito granulométrico que permita alcanzar una mayor compacidad mediante la compactación, beneficiando su resistencia. Los suelos finos son siempre indeseables en una base, ya que aumentan desfavorablemente la resistencia, aumentan la deformabilidad y perjudican notablemente su función drenante, por tal motivo en muchas ocasiones se especifica en los proyectos el proceso de lavado en los materiales provenientes de bancos con los que se construirá la base.

El tamaño máximo del agregado pétreo a utilizar para la conformación de esta capa será de 51 mm en materiales naturales que no requieran tratamiento y de 38 mm en aquellos que ha de triturarse o cribarse, la relación de porcentaje, en peso, que pase la malla No. 200 al que pase la malla No. 40 no deberá ser mayor de 0.65, el límite líquido no será mayor a 30 %, el equivalente de arena como mínimo será de 50 en carreteras con un tránsito más intenso al de 1000 vehículos pesados por día, el valor relativo de soporte se fija en 100 % para este tipo de carreteras y por último el grado de compactación será de 95 %, aunque normalmente se lleva la compactación hasta el 100 %.

### **3.3.4 EQUIPO UTILIZADO**

Para la extracción de los materiales en el banco es necesario en la mayoría de los casos el uso de explosivos, y para su transportación de palas mecánicas, etc. Para el triturado y cribado del material se requiere de una trituradora de quijadas, una o dos de cono o de rodillos, criba y bandas, en esta etapa se hace necesario el almacenamiento de diferentes tipos de tamaños.

El equipo que se utilice para la construcción de sub bases y bases, será el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto, en cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa de ejecución

detallado por concepto y ubicación, conforme al programa de utilización de maquinaria.

### **Planta de mezclado**

La planta de mezclado será del tipo amasado o pugmill, de tambor rotatorio o bien de mezclado continuo, capaz de producir una mezcla homogénea. Estará equipada con tolvas para almacenar el material por mezclar; silos o tanques que permitan almacenar el agua, protegidos por polvo; dispositivo para dosificar, por masa o por volumen, los materiales y el agua, con aditamentos que permitan un fácil ajuste de la dosificación de la mezcla en cualquier momento; cámara de mezclado provista de rotor con aspas y con espreas para añadir el agua, con compuerta de descarga al equipo de transporte.

### **Motoconformadoras**

Las motoconformadoras que se utilicen para el extendido y conformación de las subbases y bases, serán autopropulsadas, con cuchilla cuya longitud sea mayor de 3.65 metros, y con una distancia entre ejes mayor de 5.18 metros.

### **Extendedoras**

Las extendedoras serán autopropulsadas, capaces de esparcir y precompactar las capas de subbase y base con el ancho, sección y espesor establecidos en el proyecto, incluyendo los acotamientos y zonas similares. Estarán equipadas con los dispositivos necesarios para un adecuado tendido de la capa, como son: un enrasador o aditamento similar que pueda ajustarse automáticamente en el sentido transversal y proporcionar una textura lisa y uniforme, sin protuberancias o canalizaciones, una tolva receptora del material con capacidad para asegurar un tendido homogéneo, equipada con un sistema de distribución mediante el cual se reparta el material uniformemente frente al enrasador; y sensores de control automático de niveles.

### **Compactadores**

Deberán ser autopropulsados, reversibles y provistos de petos limpiadores para evitar que el material se adhiera a los rodillos; en el caso de compactadores vibratorios estos estarán equipados con controles para modificar la amplitud y frecuencia de la vibración.

### **3.4 RIEGOS Y BASES**

Los riegos y bases sirven para tener una mejor adherencia entre capas y restablecer o mejorar las características de resistencia de los materiales que se utilicen en los pavimentos.

#### **3.4.1 RIEGO DE IMPREGNACION**

Consiste en la aplicación de un material asfáltico, sobre una capa de material pétreo como la base del pavimento, con el objeto de impermeabilizarla y favorecer la adherencia entre ella y la capa asfáltica. El material asfáltico que se utiliza normalmente es una emulsión, ya sea de rompimiento lento o especial para impregnación.

La aplicación del riego de impregnación puede omitirse si la capa por construir encima es una carpeta asfáltica con espesor mayor o igual que 10 centímetros.

Una vez recibida la base e inmediatamente antes de riego, deberá barrerse perfectamente con barredoras mecánicas que se utilizan para la limpieza de las superficies, dejándola libre de impurezas y material suelto.

Posteriormente, se aplicará un riego del producto asfáltico o emulsiones asfálticas mediante una petrolizadora, que serán capaces de establecer a temperatura constante, un flujo uniforme de material asfáltico sobre la superficie por cubrir, en anchos variables y en dosificaciones controladas; estar equipadas con medidores de presión, dispositivos adecuados para la medición de volumen aplicado y termómetro para medir la temperatura del material asfáltico dentro del tanque.

#### **Aplicación Del Material Asfáltico**

El material asfáltico, del tipo y con la dosificación establecida, debe ser aplicado uniformemente sobre la superficie por cubrir, tomando en cuenta lo siguiente:

- La aplicación del material asfáltico en una franja contigua a otra previamente regada, se hará de tal manera que el nuevo riego se traslape con el anterior.
- La penetración del riego de impregnación debe ser mayor o igual a cuatro milímetros.

- No se iniciará la construcción de la siguiente capa sino hasta que haya pasado el tiempo suficiente para que el material aplicado en el riego de impregnación penetre y el agua o solvente se haya eliminado.
- La superficie impregnada permanecerá cerrada a cualquier tipo de tránsito hasta que la penetración establecida se haya producido.

**3.4.2 BASE MEJORADA**

Las base sobre las que se construye una carpeta de concreto asfáltico deben de tener un módulo de elasticidad semejante al de esta carpeta, por lo que conviene estabilizarlas mezclándoles cal hidratada o cemento Portland con el procedimiento de mejoramiento de suelos; de lo contrario, la carpeta se puede agrietar, de manera prematura, con pequeñas deformaciones de la base. También es factible construir bases asfálticas con tamaño máximo de 5cm.

Si se usa cemento Portland para aumentar el módulo de elasticidad de los materiales de base, es posible utilizar los procedimientos de suelo mejorado o de suelo cementado. Con el segundo método se alcanza una resistencia mayor, sin embargo, es factible que aparezcan agrietamientos semejantes a los del concreto hidráulico, formándose cuadros de 5 a 7 m por lado que se reflejan en el concreto asfáltico, lo cual no es en sí una falla.

En este caso, el riego de sello se da después del agrietamiento, con lo que se obtiene un buen calafateo, además de las características propias de este tratamiento, como proporcionar suficiente adherencia a las llantas de los vehículos y servir como superficie de desgaste.

Cuando se utiliza el procedimiento de suelo mejorado hay menos problemas aunque la resistencia de la base es menor que en el caso anterior, lo cual debe tomarse en cuenta en la estructura del pavimento si los espesores de proyecto se corrigen en la relación con la calidad de los materiales que se usen.

Con la finalidad de tener una base con características semejantes a las del concreto asfáltico, es posible construir bases negras o asfálticas en planta en frío o en caliente que es menos común y recomendable. En estas bases se usan materiales pétreos hasta de 4 o 5 cm de tamaño máximo y con 40% menos asfalto que el utilizado en carpetas.

### **3.4.3 BASE ESTABILIZADA**

La construcción de capas estabilizadas, es la estabilización mediante un tratamiento químico o mecánico de los materiales, el tendido de los mismos y su compactación. Para la estabilización química se incorpora un producto estabilizador que modifica alguna de las características físicas del material, mejorando su comportamiento mecánico o hidráulico. Los productos para estabilización más comúnmente utilizados son materiales asfálticos, cemento Portland, cal hidratada y materiales puzolánicos.

El material por estabilizar, el producto estabilizador y, en su caso, el agua, se mezclarán, para producir un material homogéneo, mediante uno de los siguientes procedimientos:

#### **Mezclado en Planta:**

- En plantas de tipo pugmill o de tambor rotatorio, la dosificación de los materiales se hace por masa.
- En mezcla de tipo continuo, la dosificación de los materiales puede hacerse por masa o volumen.
- Una vez que se le hayan incorporado todos los componentes, la mezcla se transportará al sitio de colocación, de forma que no se altere, para que pueda ser extendida y compactada.

#### **Mezclado en el Lugar:**

- El material por estabilizar se tenderá en el lugar de la obra. En caso de mezclas de dos o más materiales pétreos, se tenderán una vez mezclados y homogeneizados, con las proporciones necesarias para obtener un material por estabilizar con las características establecidas.
- Se mezclará el material tendido con la estabilizadora, incorporando y distribuyendo el producto estabilizador hasta obtener una mezcla uniforme.
- La estabilizadora será capaz de tratar todo el material tendido, en caso necesario, el material, el producto estabilizador y, en su caso, el aguase mezclarán y extenderán en capas sucesivas.

Antes de iniciar la construcción de una capa estabilizada, la superficie sobre la que se colocará estará debidamente terminada dentro de líneas y niveles, sin irregularidades y reparados satisfactoriamente los baches que hubieran existido.

### **Tendido Y Formación**

Si el mezclado se hace en el lugar con estabilizadora, capaces de mezclar uniformemente los materiales con el producto estabilizador y el agua que en su caso se requiera, la mezcla quedará tendida y lista para ser compactada.

En cuanto a la mezcla elaborada en planta, se extenderá en todo el ancho de la corona empleando una extendedora, capaces de esparcir y precompactar la capa que se tienda, con el ancho, sección y espesor establecidos.

Las capas estabilizadas no se pueden construir cuando exista amenazas de lluvia, esté lloviendo y cuando la temperatura ambiente sea inferior a 5° Celsius. Los trabajos se suspenderán en el momento que se presente situaciones climáticas adversas y no se reanudarán mientras estas no sean adecuadas.

### **Compactación**

La capa extendida se compactará hasta alcanzar el grado adecuado. Los compactadores serán autopulsados, reversibles y provistos de petos limpiadores para evitar que el material se adhiera a los rodillos; pueden ser tres rodillos metálicos en dos ejes, o de dos rodillos con tres ejes.

La compactación se hará longitudinalmente, de las orillas hacia el centro de las tangentes y del interior al exterior, en las curvas, con un traslape de cuando menos la mitad del ancho del compactador en cada pasada.

Una vez concluida la compactación de la capa estabilizada, es recomendable que ésta se proteja para evitar el tránsito durante su curado o, cuando se usen materiales asfálticos, hasta que estos rompan o fragüen.

### 3.4.4 RIEGO DE LIGA

Consiste en la aplicación de material asfáltico sobre una capa de pavimento, con el objeto de lograr una buena adherencia con otra capa de mezcla asfáltica que se construya encima. Normalmente se utiliza una emulsión asfáltica de rompimiento rápido. La aplicación del riego de liga puede omitirse si la carpeta asfáltica que se construirá encima tiene un espesor mayor o igual que diez centímetros.

Inmediatamente antes de la aplicación del riego de liga, toda la superficie por cubrir deberá estar debidamente preparada, exenta de materias extrañas, polvo, grasa o encharcamientos, sin irregularidades y reparados los baches que hubieran existido.

El riego de liga normalmente se aplica a la base o sub-bases impregnadas antes del tendido de base negra o carpetas asfálticas. El material asfáltico del tipo y con la dosificación adecuada, debe ser aplicado uniformemente sobre la superficie por cubrir, tomando en cuenta lo siguiente:

- Se ajustará la altura de la barra petrolizadora para aplicar el material asfáltico uniformemente.
- La aplicación del material asfáltico en una franja contigua a otra previamente regada, se hará de tal manera que el nuevo riego se trasape con el anterior.
- En su caso, el exceso del material asfáltico que se hubiera aplicado debe ser removido, las deficiencias que por estas cause deben ser corregidas.

Los trabajos serán suspendidos en el momento que se presenten situaciones climáticas adversas y no se reanudarán mientras éstas no sean las adecuadas, considerando que no se aplicarán riegos de liga en las siguientes condiciones:

- Sobre superficies con agua libre o encharcadas.
- Cuando exista amenazas de lluvia o esté lloviendo.
- Cuando la velocidad del viento impida que la aplicación del material asfáltico sea uniforme.
- Cuando la temperatura de la superficie sobre la cual serán aplicados esté por debajo de los 15° Celsius.

### **3.5 CARPETAS ASFÁLTICAS**

Las carpetas asfálticas deben ofrecer suficiente resistencia bajo condiciones de presión normal exterior nula, que priva en la frontera superior del pavimento; en otras palabras, se requiere ahora un material que posea cohesión, siendo el producto asfáltico que liga los agregados pétreos el que la proporcione, en el caso de las carpetas bituminosas.

#### **3.5.1 TRATAMIENTOS SUPERFICIALES**

Los tratamientos superficiales consisten en la construcción de carpetas 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, con el objeto de hacer resistente al derrapamiento 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. Las carpetas de un riego o la última capa de las carpetas de dos o tres riegos, pueden ser premezcladas o no.

El equipo que se utilice para la construcción de carpetas por el sistema de riegos, será el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto, en cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa de ejecución. En la selección del equipo se deberá tener en cuenta lo siguiente:

Los aspersores serán capaces de establecer a una temperatura constante, un flujo uniforme del material asfáltico sobre la superficie por regar, en anchos variables y en dosificaciones controladas. Estarán adosados a barras de circulación que puedan ajustarse vertical y lateralmente, y equipados con medidores de presión, dispositivos adecuados para la medición del volumen aplicado, termómetro para medir la temperatura del material asfáltico dentro del tanque y bomba. El vehículo en que se monten, ya sea una petrolizadora u otro equipo autopropulsable contará con un odómetro para medir la longitud del tramo que se riegue.

Se debe de contar con un número considerable de esparcidores para cubrir de inmediato con los materiales pétreos, todo el riego del material asfáltico. Pueden ser mecánicos autopropulsados, remolcados con camión o bien del tipo de compuerta colocada en la tapa de la caja de los camiones de volteo, que garanticen la aplicación uniforme y en la cantidad adecuada de los materiales pétreos. Estos esparcidores serán calibrados y operados de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

Los compactadores que se usen serán ligeros, autopropulsados, reversibles y provistos de petos limpiadores para evitar que el material pétreo se adhiera a los rodillos.

Las barredoras mecánicas que se utilicen para la limpieza de las superficies tendrán una escoba rotatoria autopropulsada.

Inmediatamente antes de la construcción de la carpeta por el sistema de riegos, la superficie sobre la que se colocará deberá estar debidamente preparada, exenta de materias extrañas, polvo, grasa o encharcamientos de material asfáltico, sin irregularidades y reparados los baches que hubieran existido. Debe protegerse el riego de impregnación en el lapso entre su aplicación y el inicio de la construcción de la carpeta.

#### 3.5.1.1 UN RIEGO

Sobre la base de pavimento ya conformada, compactada, impregnada y seca se da un riego de producto asfáltico tipo FR-3 a razón de 1.5 a 2 l/m<sup>2</sup>, inmediatamente se cubre con material pétreo clasificado entre las mallas 3/8" a #8 a razón de 6 a 8 l/m<sup>2</sup>; se rastrea para uniformizar la superficie y se plancha con equipo de 5 a 8 ton, para finalizar se deberá barrer el material pétreo sobrante a fin de que no se formen ondulaciones de la carpeta. Se recomienda esta solución para caminos con 200 vehículos por día.

En zonas no accesibles para los esparcidores mecánicos se hará el tendido manualmente. Enseguida se pasará una rastra ligera con cepillo para tener una mejor distribución del material y dejar la superficie exenta de ondulaciones, bordos y depresiones.

#### 3.5.1.2 DOS RIEGOS

Sobre la base de pavimento ya conformada, impregnada y seca, se dará primeramente un riego de producto asfáltico FR-3 a razón de 2 l/m<sup>2</sup> e inmediatamente se cubre con material pétreo clasificado entre las mallas 1/2" y 3/4", a razón de 12 a 14 l/m<sup>2</sup>, se rastrea y se plancha con aplanadora liviana de 5 a 8 ton, dos o tres días después se barre y se aplica nuevamente el producto asfáltico FR-3 a una razón de 1.5 l/m<sup>2</sup>, se agrega material pétreo clasificado entre las mallas 3/4" y #8, a razón de 2 l/m<sup>2</sup>, se rastrea y se plancha con equipo similar al ya empleado. Tres días después puede abrirse el tránsito. En cada una de estas soluciones se deberá barrer el material pétreo sobrante; esta solución en particular se recomienda para tránsito inferior a 600 vehículos por día o para 200 en zonas de alta precipitación pluvial.

#### 3.5.1.3 TRES RIEGOS

Sigue un procedimiento constructivo similar al ya mencionado en los dos anteriores, pero con una secuencia particular. Esta secuencia inicia con la colocación de una capa de riego con material asfáltico FR-3 a una razón de 1.5 l/m<sup>2</sup> sobre la cual se aplica material pétreo clasificado entre las mallas 1" a 1/2" a razón de 20 a 22 l/m<sup>2</sup>, se rastrea y se plancha. Dos o tres días después se barre el material sobrante y se coloca una carpeta de dos riegos sobre la primera. Esta solución soporta sin problemas 1000 vehículos por día.

### **3.5.2 MACADAM ASFÁLTICO**

El macadam asfáltico o de penetración es una carpeta asfáltica que consiste de capas sucesivas de piedras progresivamente más pequeñas de abajo hacia arriba, limpias y angulosas. Cada capa se extiende y se acuña mediante compactación por vibración después de lo cual se baña con producto asfáltico.

Es necesario contar con una buena base ya que siendo esta solución un producto con muchos vacíos, principalmente en la parte inferior de la capa, si la base se reblandece, el paso constante de los vehículos obligara a que la base se incruste en la carpeta provocándose una deformación perjudicial.

### **3.5.3 MEZCLA EN EL LUGAR**

La mezcla asfáltica en el lugar o en el camino se lleva a cabo revolviendo los agregados pétreos con el producto asfáltico mediante el uso de motoconformadoras o empleando mezcladoras ambulantes.

#### **3.5.3.1 ELABORADA CON MEZCLADORA MÓVIL**

Generalmente se trata de un tambor rotatorio en el cual se vierten los componentes con las proporciones indicadas en el proyecto (agregados pétreos, aditivos y cemento asfáltico) y al girar éste se realiza la mezcla asfáltica, siendo depositada inmediatamente en el lugar del tendido, una vez que se ha homogeneizado, esta mezcladora debe de contar con lo siguiente:

- Tolva para recibir materiales pétreos directamente de los camiones
- Depósitos para el material fino (filler), el material asfáltico, los aditivos y el agua
- Dispositivos para la dosificación de los materiales
- Cámara mezcladora
- Barra rociadora
- Distribuidor de flujo

#### **3.5.3.2 ELABORADA CON MOTOCONFORMADORA**

Se elabora colocando sobre el suelo los componentes de la mezcla y revolviéndolos utilizando una motoconformadora, adicionando los aditivos además del cemento asfáltico que se requiera. Este tipo de mezcla no es muy recomendable ya que no se asegura que se realice de forma homogénea

### **3.5.4 MEZCLA EN PLANTA (DOSIFICADA POR VOLUMEN)**

Se llevan a cabo generalmente calentando el asfalto y muchas veces calentando también el agregado pétreo. Como la dosificación de los agregados se hace por volumen, no resulta una mezcla de alta calidad a no ser que el control sea

extremadamente riguroso. Debido a la incertidumbre en la dosificación, estas mezclas resultan casi iguales a las elaboradas en el camino con mezcladoras ambulantes.

### 3.5.5 CONCRETO ASFÁLTICO (DOSIFICADO POR PESO)

Los concretos asfálticos son mezclas elaboradas por peso en plantas estacionarias, calentando los agregados y empleando en su elaboración cementos asfálticos. Los concretos asfálticos, debido a la precisión de su dosificación resultan de alta calidad. El agregado pétreo para mezclas es secado y calentado entre 133°C y 177°C en la planta antes de entrar en la mezcladora. Después de calentado, el agregado se cribará en los tamaños especificados, que se depositarán en compartimentos, listos para ser mezclados con el cemento asfáltico. Una vez calentados y separados los diversos tamaños de agregado, se procederá a pesarlos exactamente, proporcionando sus cantidades de acuerdo con lo anteriormente explicado, de manera que la mezcla resultante se ajuste a la granulometría especificada. El material pétreo dosificado se introduce en la mezcladora y a continuación se añade el cemento asfáltico para proceder al mezclado. El cemento asfáltico se calienta en pailas o tanques apropiados que produzcan el calentamiento uniforme. No deberá calentarse a más de 177°C. La cantidad de cemento asfáltico la fija el laboratorio.

La temperatura de la mezcla al salir de la mezcladora estará comprendida entre 135°C y 177°C. El tiempo de mezclado se cuenta desde el momento en que se termine de introducir el cemento asfáltico hasta que la mezcla salga de la mezcladora. En el caso de plantas de mezclado continuo, el tiempo de mezclado, en segundos, vendrá dado por la siguiente expresión:

$$T = \frac{\text{Capacidad total de la planta en kilos}}{\text{kilos por segundo que salen de la planta}}$$

### 3.5.6 STONE MASTIC ASPHALT

Es una técnica de pavimentación empleada con mucho éxito en Europa, desarrollada en Alemania, en donde durante la época de nevadas los pavimentos anteriores sufrían grandes desgastes a causa de las llantas con clavos. Para contrarrestar este efecto se desarrollan el SMA resultando ser una mezcla óptima de agregado grueso con una pasta tipo "mastic" formada por un filler, arena, cemento asfáltico y fibras de celulosa.

El Stone Mastic Asphalt requiere de un agregado grueso (70-80% retenido en la malla No.8) y de un contenido de cemento asfáltico entre 6 y 7% así como de fibras celulósicas como aditivo para estabilizar y reforzar la mezcla.

Con el alto contenido de agregados gruesos, se crea una estructura de esqueleto cerrado e interconectado que transfiere la carga "grano a grano" y ayuda a disipar el impacto al subsuelo. El tamaño de los agregados gruesos permite además una estructura de textura abierta y gracias a las fibras celulósicas de Viatop, una impermeabilidad de la capa de pavimento, esto ya que se tiene un mayor contenido de aglutinantes asfáltico.

### **Colocación**

Antes de colocar la *carpeta* de SMA, es importante examinar las condiciones de la superficie sobre la cual se colocara y llevara a cabo cualquier tratamiento o reparación necesarias. Aunque el SMA puede ser tendido sobre superficies desgastadas por el tráfico debido a su baja comprensibilidad, los baches grandes deberán repararse previamente. La superficie deberá compactarse y estar limpia y seca. Deberá rociarse una capa de emulsión asfáltica rebajada ó aplicar un riego sobre el pavimento viejo para asegurar una buena adhesión. Para la colocación se utiliza una máquina normal de tendido de asfalto en caliente.

Es necesario tener en mente como se hace cuando se coloca cualquier asfalto, que la máquina pavimentadora deberá ser manejada a velocidad constante y evitar paradas. El trabajo de pavimentación no deberá realizarse bajo condiciones de lluvia y por supuesto todas las variables deberán monitorearse constantemente. Aunque las especificaciones indican que la temperatura de tendido debería de ser mayor a los 140°C, la experiencia muestra que los resultados son mejores cuando la temperatura esta cerca de los 150°C. No se deberá colocar un asfalto SMA cuando el aire cae debajo de los 3°C. La compactación del pavimento depende de la temperatura de los rodillos así como de los patrones del recorrido de los mismo, el número de pasadas de la aplanadora y espesor al que debe compactarse.

Se debe iniciar el aplanado inmediatamente después de la maquina pavimentadora con una aplanadora de 8 a 10 toneladas, estática t con rodillos de acero y deberá permanecer lo más cercana posible de la pavimentadora, en algunos casos hasta 30 cm de separación, ya que la mezcla tiene a enfriarse rápidamente. Con este sistema no se recomienda utilizar compactadores con ruedas de hules ya que el alto contenido de cemento asfáltico tiende a pegarse en las ruedas de hule y causa efectos indeseables en el mastic. Los compactadores con vibración se deberán utilizar únicamente en la segunda y tercera pasadas. El aplanado final puede continuar mientras la temperatura esta todavía de 90°C a 100°C, pero se deberá tener cuidado de no sobrecompactar ya que puede causar que el asfalto migre a la superficie.

### **3.5.7 CONTROL DE CALIDAD**

Se debe de considerar que la estabilidad de la carpeta de granulometría densa, determinada en corazones extraídos al azar mediante un procedimiento basado en tablas de números aleatorios cumpla lo establecido en el proyecto, considerando que:

- El numero de corazones por extraer será el que resulte de dividir la longitud de carpeta construida en un día de trabajo entre 50.
- Los corazones se extraerán sin dañar la parte contigua de los mismos.
- Tan pronto se concluya la extracción de los corazones, se rellenarán los huecos con el mismo tipo de mezcla utilizada en la carpeta, compactándola y enrasando su superficie con la original de la carpeta.
- Todas las estabilidades que se determinen en los corazones, deberán ser iguales o mayores que la establecida en el proyecto.

### **3.6 CARPETAS DE CONCRETO HIDRÁULICO**

Las carpetas de concreto hidráulico, son las que se construyen mediante la colocación de una mezcla de agregados pétreos, cemento Portland y agua, para proporcionar al usuario una superficie de rodamiento uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura. Tiene además la función estructural de soportar y de distribuir la carga de los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento.

Las carpetas de concreto hidráulico pueden construirse a base de:

- Losas de concreto hidráulico con juntas
- Losas de concreto hidráulico con refuerzo
- Losas de concreto hidráulico presforzado

El equipo que se utilice para la construcción de carpetas de concreto hidráulico, será el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto, en la cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación.

A continuación se mencionará algunos de los equipos utilizados en la construcción de carpetas de concreto hidráulico:

#### ***Planta de Mezclado:***

El concreto hidráulico se elaborará en plantas mezcladoras que cuenten como mínimo:

- Tolvas y silos para almacenar los agregados pétreos y el cemento Portland, protegidos de la lluvia y el polvo, con capacidad suficiente para asegurar la operación continua de la planta.
- Dispositivos que permitan dosificar los agregados, el cemento Portland y el agua.
- Cámara mezcladora equipada con un dispositivo para el control del tiempo mezclado.

#### ***Extendedora de Concreto:***

Para la construcción de carpetas de concreto hidráulico, se utilizarán extendedoras autopropulsadas con la suficiente potencia y tracción para esparcir uniformemente en espesor y pendiente el concreto hidráulico sin desplazarlo, ya sea mediante una cuchilla oscilante o bien un transportador de banda o tornillo.

***Pavimentadora:***

El concreto hidráulico será colocado con una pavimentadora autopropulsada de cimbra deslizante, diseñada para extender, vibrar, enrasar y terminar el concreto hidráulico colocado en una sola pasada, sin la necesidad de acabado manual, de tal manera que se obtenga una losa de concreto hidráulico uniforme que cumpla con las especificaciones requeridas.

***Vibradores:***

Se pueden utilizar dos tipos de vibradores, los de inmersión fijos y los vibradores de inmersión manuales, los primeros tiene el objeto de proporcionar una consolidación uniforme en el ancho y espesor total de la losa de concreto. El segundo se utiliza en zona de juntas o de difícil acceso para los vibradores fijos, estos vibradores serán suficientemente rígidos para asegurar el control de la disposición de operación de la cabeza de vibrado.

***Rastra de Texturizado:***

Para llevar a cabo el texturizado longitudinal, se utilizará una rastra que produzca una superficie uniforme de textura abrasiva, a todo el ancho del pavimento, hecha con una tela de yute o de algodón, humedecida, sin costuras y de dos capas.

***Texturizadora:***

La texturizadora, que será operada de manera independiente a la pavimentadora y el equipo de curado, contará con un dispositivo mecánico equipado con dientes de acero de 100 a 150 milímetros de longitud, espaciados nominalmente a 25 mm centro a centro, con una sección transversal de 1 por 2mm aproximadamente, y ajustable de tal forma que se formen pequeños surcos de 3mm de profundidad, como mínimo, transversales al eje de la carretera.

***Equipo De Curado:***

El equipo para la aplicación de la membrana de curado de la carpeta de concreto, estará diseñado para asegurar una aplicación uniforme y contará con un tanque de almacenamiento dotado de un dispositivo interior de agitación, para mantener el producto de curado completamente mezclado durante el proceso. La aplicación de la membrana de curado se realizará mediante el uso de rociadores mecánicamente operados a presión.

### **Construcción De La Carpeta De Concreto Hidráulico.**

Antes de la construcción de la carpeta de concreto hidráulico, la superficie sobre la que se colocará estará debidamente terminada dentro de las líneas y niveles, exenta de materias extrañas, polvo, grasa o encharcamientos, sin irregularidades y reparados satisfactoriamente los baches que hubieran existido.

Las pasajuntas que se utilicen en las juntas transversales de contracción, serán barras lisas, se colocarán antes del colado del concreto hidráulico, mediante siletas o canastas metálicas de sujeción que las asegure en la posición correcta durante el colado y el vibrado del concreto, sin impedir sus movimientos longitudinales.

#### **Colado Del Concreto Hidráulico.**

Después de elaborado el concreto hidráulico, será colado extendiéndolo y consolidándolo con una pavimentadora autopropulsada, de tal manera que obtenga una capa de material de espesor uniforme.

El colado se hará en una forma continua, utilizando un procedimiento que minimice las paradas y arranques de la pavimentadora. No se permitirá el colado de concreto hidráulico si existe segregación.

Al final de cada jornada y con frecuencia necesaria, se limpiará perfectamente todas aquellas partes de la pavimentadora que presenten residuos de concreto hidráulico.

#### **Vibrado.**

Inmediatamente después del colado el concreto hidráulico, se consolidará mediante vibrado.

El vibrado se hará uniformemente en todo el volumen de la carpeta, utilizando vibradores mecánicos, cuidando que no entren en contacto con la cimbra.

Para el caso de áreas no accesibles a los vibradores de las pavimentadoras, se emplearán vibradores operados manualmente.

***Texturizado.***

El acabado de la carpeta de concreto hidráulico, se hará pasando sobre la superficie la rastra de texturizado y la texturizadora, o bien, mediante el método de denudado químico, que consiste en rociar un retardante de fraguado sobre la superficie de concreto fresco y, después de que la masa de concreto ha endurecido, aplicar un cepillo energético con un dispositivo de cerdas metálicas para eliminar el mortero de la superficie.

***Curado.***

Después de terminado el texturizado, cuando el concreto empiece a perder su brillo superficial, con el equipo de curado se aplicará el material que se indique para formar la membrana de curado de la superficie de la carpeta.

### **3.6.1 LOSAS DE CONCRETO SIMPLE Y REFORZADO**

Las losas de concreto hidráulico para pavimentos son las que se construyen de concreto hidráulico, con o sin acero, cuya función es soportar y transmitir las cargas que actúan sobre de ellas.

#### ***Losas De Concreto Simple:***

Se dice que una losa de concreto simple es cuando no se usa dentro de la masa ninguna cantidad de acero; para asegurar que las grietas no se abran más de 3 mm, se debe tener una relación de largo de ancho de la losa menor a 1.25, siendo muy usual el valor de 1.15. Es común que las losas no sean mayores, en este caso son de 4.5m.

#### ***Losas De Concreto Reforzado:***

Las losas de concreto hidráulico con refuerzo, son aquellas que se construyen mediante el colado de concreto sin juntas transversales y con acero de refuerzo colocado longitudinalmente con el objeto de resistir los esfuerzos a tensión y a asegurar que las grietas que se produzcan queden totalmente cerradas.

En caso que la relación ancho-largo sea mayor de 1.4 o sea, que las losas sean mayores de 6.5m, entonces se debe utilizar el llamado concreto hidráulico con armado, para lo cual se puede utilizar mallas prefabricadas o armadas en el lugar, debiendo quedar en el centro del espesor. La cantidad usual de acero colocado longitudinalmente es de 0.6% del área transversal de la losa.

El acero de refuerzo en el pavimento de concreto hidráulico evita la ampliación de grietas producidas por la flexión y mantiene las caras fracturadas en íntimo contacto. En esta forma, el cierre de agregados es conservado y la introducción de suciedad o de agua es evitada. Se debe tomar en cuenta el refuerzo para resistir los esfuerzos de flexión producidos por las cargas o el alabeo.

El refuerzo continuo se puede hacer con varillas de acero o de mallas prefabricadas electrosoldadas, colocadas a la altura y con los traslapes que indique el proyecto, utilizando los dispositivos adecuados para asegurar la cantidad de refuerzo. En algunos casos, las varillas se pueden colocar y alinear con un equipo especial ubicado frente a la pavimentadora, el cual guía y posiciona las varillas con el espaciamiento y la elevación de proyecto, mientras se coloca el concreto.

**3.6.2 TIPO DE JUNTAS**

Las juntas tiene como finalidad evitar fisuras debidas a las dilataciones y contracciones que sufre el concreto al variar la temperatura y se deben colocar en forma transversal y axial.

En la práctica es conveniente establecer juntas con una separación máxima de 4.5m sobre cualquier superficie construido por concreto.

Las juntas pueden ser de los siguientes tipos:

***Juntas De Contracción.***

Las juntas de contracción permiten el movimiento en el mismo plano de la losa e inducen el agrietamiento de contracción causado por el secado y los cambios de temperatura en los sitios preseleccionados. Las juntas de contracción deberán ser construidas para permitir la transferencia de cargas perpendiculares al plano de la losa. Si no se utilizan juntas de contracción o si quedan espaciadas demasiado lejanas en las losas sobre el terreno, ocurrirán agrietamientos cuando la contracción por secado y la contracción por temperatura produzcan esfuerzos de tensión mayores que la resistencia a la tensión del concreto.

Las juntas de contracción consisten en formar ranuras cuya profundidad sea de una tercera parte del espesor de la losa, las cuales se harán por medio de cortadoras especiales de abrasivo o diamante industrial de 6 a 3 milímetros.

Las pasajuntas que se utilicen en las juntas transversales de contracción, serán barras lisas con las características indicadas en el proyecto con sus extremos libres de rebabas cortantes. Se colocarán antes del colado del concreto hidráulico, mediante silletas o canastas metálicas de sujeción que las aseguren en la posición correcta durante el colado y el vibrado del concreto. Una vez colocadas, la superficie expuesta de las pasajuntas se someterán a un tratamiento antiadherente, con grasa, una funda de plástico u otro procedimiento aprobado, para garantizar el libre movimiento longitudinal de las losas en la junta.

Las juntas irán espaciadas de 5 a 6 metros y el tiempo que debe transcurrir entre el colado y el corte será de 48 a 72 horas. Las ranuras se limpiarán perfectamente y se rellenarán con un material elástico resistente al efecto de los solventes, el calor de los motores y al intemperismo. Debe ser adherente a las paredes y permitir las dilataciones y contracciones sin agrietarse. Este material se llenará las dos terceras partes de la ranura.

***Juntas De Dilatación o Aislamiento.***

Las juntas de dilatación o de aislamiento separan a una losa de otro elemento de una estructura y le permiten tanto movimientos horizontales como verticales, la separación entre éstas juntas deberá ser a cada 48 metros.

Las juntas consistirán de varillas pasajuntas lisas para transmitir la carga de una losa a otra, en uno de los extremos se colocará el casquillo de expansión. Las dimensiones de las pasajuntas son de 50 a 60 centímetros de longitud, una pulgada de diámetro y separadas de 30 a 45 centímetros. Las juntas deberán sellarse con un material compresible e impermeable para evitar que penetre sustancias extrañas y a la vez absorber los movimientos de las losas.

***Juntas De Construcción.***

Las juntas de construcción se colocan en los lugares donde se ha concluido la jornada de trabajo; separa áreas de concreto colado en distintos momentos. En losas para pavimentos, las juntas de construcción comúnmente se alinean con las juntas de control o de separación.

Las juntas de construcción son lugares de paro durante el proceso de construcción. Una verdadera junta de construcción debe unir al concreto nuevo con el concreto existente y no deben permitir ningún movimiento.

En el sitio establecido para terminar el colado del día y coincidiendo siempre con la ubicación de una junta transversal de contracción, se formará una junta de construcción, hincando el concreto fresco una frontera metálica o cimbra que garantice la perpendicularidad del plano de la junta con el plano de la superficie de la losa y se removerá el concreto fresco excedente. Esta frontera o cimbra contará con orificios que permitan la instalación de pasajuntas en todo lo ancho de la losa, con el alineamiento y espaciamiento que indique el proyecto. Para garantizar la consolidación correcta del concreto en las esquinas y bordes de la junta, se utilizará vibradores de inmersión manuales.

Las pasajuntas que se pongan en las juntas transversales de construcción, de expansión y de emergencia, serán iguales a las que se utilicen en las juntas de contracción y se colocarán con los mismos alineamiento y espaciamiento.

### **3.7 EJEMPLO DE APLICACIÓN**

**Carretera: Pachuca – Tuxpan**  
**Tramo: Libramiento Tulancingo**

#### **I. ANTECEDENTES.**

En este tramo el proyecto contempla la construcción de un cuerpo nuevo el cual contará con 12.0 m de corona. La sección estará conformada por dos carriles de circulación de 3.5 m de ancho cada uno, acotamientos laterales de 2.50 m y bombeo del 2.0 % hacia ambos acotamientos, como se puede observar en la figura 15

La estructura del pavimento a considerar será del tipo rígido de concreto hidráulico con pasajuntas de 0.26 m de espesor, siendo la longitud total del libramiento de 21.197 km.

#### **TERRACERÍAS**

Los trabajos de desmonte, despalme y limpieza general del área por construir, se realizaron en todo el derecho de vía que se requirió para este proyecto, para tal efecto se requirió de maquinaria pesada como son tractores, cargadores frontales y motoconformadoras, eliminando la vegetación, arbustos y árboles existentes en el derecho de vía que interferían con el trazo del proyecto.

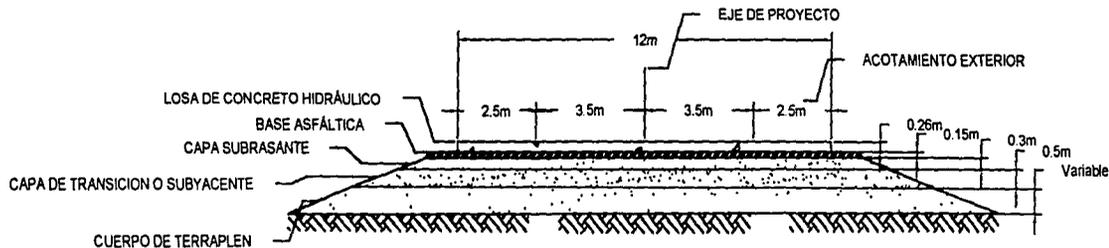
Una vez realizado esto, se continuó con la construcción de los terraplenes que según el proyecto fueran necesarios, en esta actividad el acomodo de los materiales se realiza de tres maneras diferentes:

1.- Cuando los materiales son compactables, se les debe dar este tratamiento con el equipo correspondiente según su calidad; en general el grado de compactación de esos materiales en el cuerpo del terraplén será del 90% del PVM; el espesor de las capas será de acuerdo al equipo de construcción.

2.- Si los materiales no son compactables, se forma una capa cuyo espesor sea casi igual al del tamaño de los fragmentos de roca, pero no menos de 15 cm; sobre esta capa debe pasar un tractor de orugas, tres veces por cada punto de la superficie con movimientos en zigzag; es conveniente que para mejorar el acomodo, se proporcione agua en una cantidad de 100-1 por m<sup>3</sup> de material.

3.- Si se requiere realizar rellenos en barrancas angostas y profundas, en donde no sea fácil el acceso del equipo de acomodo o compactación, se permite que el material se coloque a volteo, hasta una altura en que ya se pueda operar el equipo.

Figura 15 Sección tipo estructural



Para la capa subrasante la compactación se realiza utilizando el equipo más adecuado de acuerdo a sus características (foto 1). En forma general, se construye mediante 2 capas de 15 cm de espesor mínimo.

A veces se tiene que el material de los cortes es adecuado para utilizarse en la capa subrasante, por lo que este no tiene que acarrear de préstamos de bancos, sino que se utiliza el mismo material, y para que no se tengan salientes en la cama de corte y que la compactación sea constante se escarifican 15 cm del material, se humedece en forma homogénea, se extienden dando el bombeo de proyecto y se compacta a 95 % de su PVS.M.

El procedimiento constructivo para bases y subbases, incluyendo las etapas de muestreo y pruebas preliminares son en el siguiente orden:

- Exploración: Se requiere una exploración completa de la zona en que se pretende construir la obra vial, para la determinación de posibles bancos para pavimentación, para esto se hace uso de la fotografía aérea y de reconocimientos terrestres.
- Muestreo, pruebas de laboratorio: Una vez localizados los posibles bancos de materiales será necesario realizar sondeos preliminares, para tener una idea de la calidad de los materiales, y si los resultados son positivos, se realizarán sondeos definitivos en mayor número que en los anteriores. Con estos sondeos se conocerá la extensión del banco.
- Extracción y acarreo de materiales: para realizar la extracción de los materiales, se debe tomar en cuenta, que aquellos que se encuentran en forma masiva se deben de obtener con tamaños accesibles, que en obras viales son del orden de 75 cm como máximo. Para ello primeramente se barrena la roca (para esta actividad se utiliza equipo neumático como el que se observa en la foto 2), se coloca dinamita y algún otro producto de nitrógeno que disminuya el costo, se colocan los estopines y se lleva a cabo la explosión. Además será necesario la posterior extracción de los fragmentos con equipo de acuerdo con la dificultad que se presenta por el tamaño. Generalmente antes de su transportación a la obra los materiales reciben un tratamiento especial, que van desde el cribado, trituración o bien estabilización con algún producto químico. El acarreo de los materiales tratados se realiza con el equipo acorde al tamaño de la obra, distancia de acarreo, condiciones topográficas y de acceso a la obra y tamaño de los materiales, una vez en la obra los materiales se acamellonan con el uso de motoconformadoras.
- Tratamientos en la obra: los tratamientos pueden ser estabilizaciones mecánicas o químicas, para ello una vez acamellonado y medido el material, se forma una capa en parte de la corona de la obra y sobre ella se coloca el material que se va a mezclar en forma acordonada, si es necesario se disgrega para luego mezclarlos con motoconformadoras hasta luego homogeneizarlos, también se puede hacer uso de mezcladoras mecánicas para esta labor.



Foto 1. Maquinaria utilizada en la construcción de terraplenes

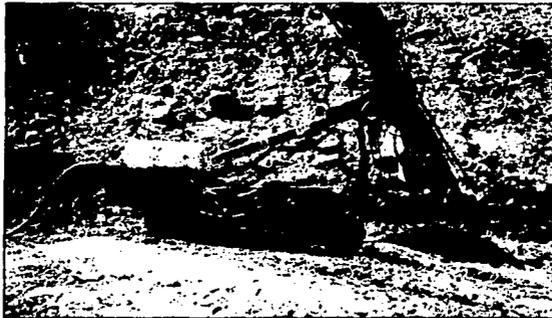


Foto 2. Equipo de perforación utilizado en la obra.

- Compactación: Enseguida se realiza la compactación del material, para lo cual se requiere humedecerlo con una cantidad de agua cercana a la óptima, el agua no se riega de una sola vez, sino que se distribuye en varias pasadas del camión cisterna. La humedad se homogeneiza en todo el material por medio de motoconformadoras, una vez realizado esto se extiende el material, se compacta hasta alcanzar el grado requerido por el proyecto, para aumentar la resistencia de estas capas se puede agregar cemento Pórtland o bien cal, la compactación se realiza con máquinas compactadoras de rodillos salientes, con pesos de 15 a 20 toneladas y con o sin unidad vibratoria (foto 3).

### **Riego de Impregnación**

Sobre la Capa Subrasante debidamente terminada, superficialmente seca y barrida, se aplicará en todo el ancho de la corona, un riego de impregnación con emulsión asfáltica catiónica a razón de 1.0 l/m<sup>2</sup> aproximadamente.

### **Base Asfáltica**

Sobre la capa subrasante debidamente terminada, se construirá una capa de Base Asfáltica de 0.15 m en dos capas de 7.5 cm de espesor cada una en todo lo ancho de la sección, la mezcla mencionada será elaborada en planta y en caliente, utilizando material procedente de un banco de préstamo y cemento asfáltico **AC-20** con una dosificación aproximada de 130 kg/m<sup>3</sup> de material pétreo seco y suelto.

El material que forme esta capa deberá compactarse al 95% de su PV determinado en la prueba Marshall.

Dado que se utilizará cemento asfáltico **AC-20**, la mezcla deberá realizarse a una temperatura de entre 140°C y 165°C. La mezcla al momento de colocarla en la pavimentadora, deberá tener una temperatura no menor a 135°C. La temperatura se medirá en el camión antes de descargar en la pavimentadora. La compactación se efectuará inmediatamente después tendida la mezcla y antes de que su temperatura baje a menos de 130°C. El equipo utilizado en esta operación se observa en la foto 4.

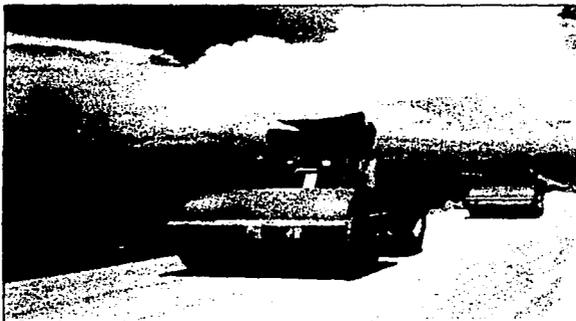


Foto 3. Compactación del material mediante el uso de compactadores vibratorios

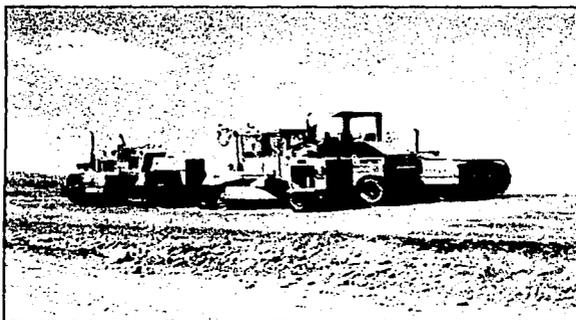


Foto 4. Equipo utilizado en la construcción de la base hidráulica negra.

## **CONSTRUCCION DE LA LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO.**

Previamente en la construcción de los pavimentos de concreto, se deberá realizar un tramo de prueba, de 200 metros de longitud y 12 metros de ancho, fuera del derecho de vía de la autopista, sea en una plataforma especial, en el área de la planta de producción de la mezcla o en el sitio que apruebe la Secretaría. Este tramo tendrá el propósito de verificar la calidad de todos los materiales, el equipo a emplear y los procedimientos de ejecución.

### ***Elaboración De La Mezcla.***

El manejo de agregados deberá garantizar que no produzca segregaciones o contaminaciones con materiales ajenos al concreto y/o sustancias perjudiciales. Antes de ser mezclados, los agregados deberán ser separados por lo menos en dos tamaños, para ser pesados (foto 6).

La elaboración de la mezcla deberá realizarse en una planta central (foto 5). En todo caso, el tiempo de mezclado, que termina en el momento de la descarga de la mezcla, no deberá ser menor a 40 ni mayor de 100 segundos.

### ***Colado.***

La superficie sobre la que se colocará el concreto fresco deberá estar perfectamente limpia, ligeramente humedecida y libre de sustancias ajenas al concreto, terminada dentro de los niveles y tolerancias que más adelante se indican (foto 7).

La colocación y compactación del concreto se hará dentro de 30 minutos siguientes a su elaboración.

El concreto se aplicará por los medios apropiados para evitar la segregación de los materiales, esparciéndolos con extendedoras o pavimentadoras autopropulsables (foto 8), con cimbras deslizantes del tipo SLIP FORM PAVER o similar.

La pavimentadora a emplear deberá estar diseñada para el propósito de esparcir, consolidar y dar forma al concreto fresco en una sola pasada del equipo de modo que se requiera de un mínimo de terminado manual para proporcionar un pavimento denso y homogéneo con los requisitos de rasante, tolerancias y sección transversal de acuerdo a las especificaciones de proyecto (foto 9). Este equipo deberá tener el peso y potencia suficiente para construir el ancho y espesor máximos requerido por el proyecto con la velocidad adecuada, sin presentar inestabilidad transversal, longitudinal o vertical y sin deslizamientos.

La pavimentadora deberá contar con sensores de nivel y la orilla de la losa (foto 10), y deberá formar un ángulo de 90° grados con respecto a la superficie.

Cuando se especifique el uso de pasajuntas, el concreto deberá colocarse directamente encima de las canastillas para prevenir que se muevan cuando la pavimentadora pase sobre ella (foto 11). Las cimbras laterales y la enrasadora deberán ser ajustables para cumplir con las tolerancias en los bordes y en la superficie.

### **Acabado Superficial.**

El acabado superficial longitudinal del concreto recién colado podrá proporcionarse mediante llanas mecánicas, y a continuación, mediante arrastre de tela de yute o bandas de cuero (foto 12 y 13). Posteriormente con un equipo de texturizado del tipo CMI-TC-250 o similar, se procederá a realizar el texturizado transversal mediante una rastra de alambre en forma de peine, con una separación de 20 milímetros y con una profundidad de penetración máxima de 6 milímetros y mínima de 3 milímetros a todo lo ancho de la superficie pavimentada. Estas operaciones se realizarán cuando el concreto esté lo suficientemente plástico para permitir el texturizado, pero lo suficientemente seco para evitar que el concreto fluya hacia los surcos formados por esta operación.

El acabado final deberá proporcionar una superficie de rodamiento con las características mínimas de seguridad y comodidad.

### **Curado.**

El curado deberá hacerse inmediatamente después del acabado final, cuando el concreto empiece a perder el brillo superficial. Esta operación se efectuará aplicando en la superficie una membrana de curado a razón de un litro por metro cuadrado, para obtener un espesor uniforme de un milímetro, que deje una membrana impermeable y consistente de color claro y que impida la evaporación del agua que contiene la mezcla del concreto fresco. Su aplicación debe de realizarse preferentemente con irrigadores mecánicos a presión. La membrana de curado no deberá aplicarse durante el periodo de lluvias.

Las caras expuestas de las juntas aserradas deberán ser recubiertas con membrana de curado inmediatamente después de que se concluya el corte.

Después del curado de las losas se procederá al corte de las juntas transversales y longitudinales con discos abrasivos si se realizan los cortes en seco, o con discos de diamante en caso que se realicen con agua. El corte de las juntas deberá comenzar por las transversales de contracción, e inmediatamente después continuar con las longitudinales. Este corte deberá realizar cuando el

concreto presente las condiciones de endurecimiento propicias para su ejecución y antes de que se produzcan agrietamientos no controlados.

**Juntas.**

Las juntas deberán ajustarse al alineamiento, dimensiones y características consignadas en el proyecto (foto 15).

En la construcción de las juntas deberá considerarse la siguiente clasificación.

- Longitudinales de contracción aserradas con barras de amarre.
- Transversales de contracción aserradas con pasajuntas.
- Longitudinales de construcción con barras de amarre.
- Transversales de construcción cibradas con pasajuntas.

Las pasajuntas que se utilicen en las juntas transversales de construcción, serán barras lisas con las características indicadas en el proyecto y con sus extremos libres de rebabas cortantes. Se colocarán antes del colado del concreto hidráulico, mediante siletas o canastillas metálicas de sujeción que las aseguren en la posición correcta durante el colado y el vibrado del concreto (foto 16 y 17).

Cuando por causas de fuerza mayor sea suspendido el colado por más de 30 minutos, se procederá a construir una junta transversal de emergencia con la que se suspenderá el colado hasta que sea posible reiniciarlo. La configuración de las juntas transversales de emergencia será exactamente igual que de las juntas transversales de construcción.

Las juntas transversales de construcción y las juntas transversales de emergencia deberán formarse hincando en el concreto fresco una frontera metálica que garantice la perpendicularidad del plano de la junta con el plano de la superficie de la losa. Esta frontera o cimbra deberá de contar con orificios que permitan la instalación de pasajuntas en todo lo ancho de la losa con el alineamiento y espaciamiento correctos. Estas juntas serán vibradas con vibradores de inmersión para garantizar la consolidación correcta del concreto en las esquinas y los borde de la junta.

**TOLERANCIAS.**

Para dar por terminada la construcción de la losa de concreto hidráulico se verificará el alineamiento, la sección en su forma, espesor, anchura y acabado, de acuerdo con lo fijado en el proyecto con las siguientes tolerancias:

Pendiente transversal con respecto a la del proyecto	± 0.5%
Anchura de la superficie, del eje a la orilla	± 1cm
Espesor de la losa con respecto al de proyecto, para cada tramo de 500m de longitud	-0.5cm
Resistencia al rozamiento	0.7 mínimo
Índice de perfil por cada tramo de 200m de longitud	16.0 cm/km máximo
Profundidad de las depresiones observadas con una regla de 3m en cualquier dirección.	0.5cm mínimo

**Espesor Total Del Pavimento**

Para la aceptación final de la losa de concreto, deberá verificarse que los espesores promedio realmente obtenidos en toda la estructura del pavimento, son iguales que los correspondientes de proyecto, con las tolerancias en menos que se indican en la siguiente tabla:

ESPESOR PROMEDIO	TOLERANCIA
Base	-1.0 cm
Estructura total del pavimento (base + losa)	-1.0 cm

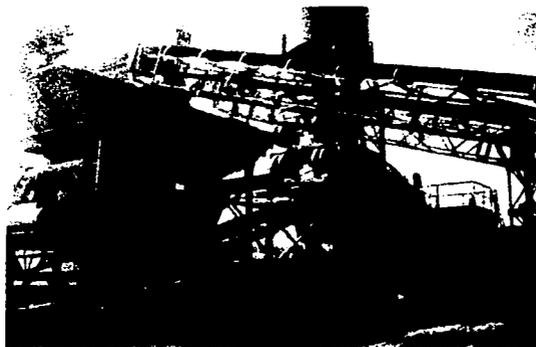


Foto 5.- Planta mezcladora de Concreto Hidráulico



Foto 6.- Manejo de agregados.



Foto 7.- Superficie libre donde se colocará el Concreto fresco



Foto 8.- Colado del Concreto Hidráulico por medio de una pavimentadora.

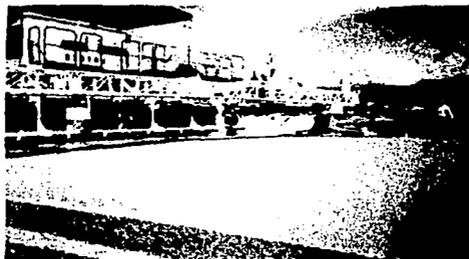


Foto 9.- La pavimentadora está diseñada para extender, vibrar, enrasar y terminar el Concreto Hidráulico colado de una sola pasada.



Foto 10.- La Pavimentadora estará equipada con sensores de control.



Foto 11.- El concreto deberá colarse encima de las pasajuntas.



Foto 12.- Acabado Superficial Longitudinal del Concreto recién colado.

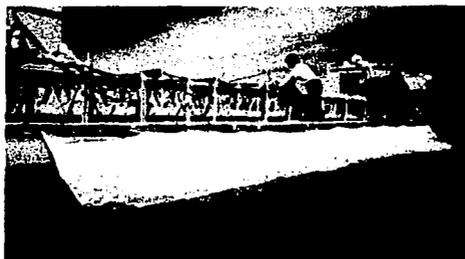


Foto 13.- Acabado mediante el arrastre de yute

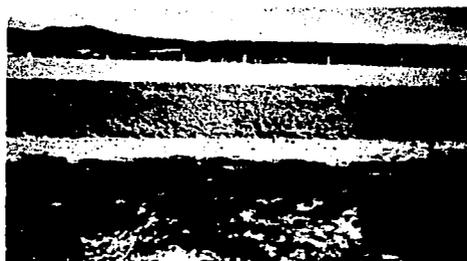


Foto 14.- Espesor de la Carpeta de Concreto Hidráulico.



Foto 15.- Pasajuntas Transversales de Construcción.

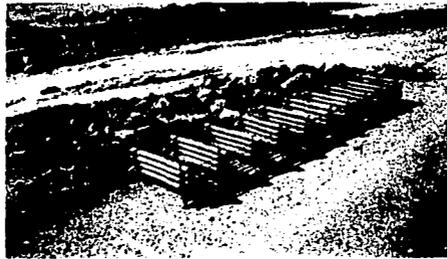


Foto 16.- Las juntas se colocarán en canastillas o silletas.



Foto 17.- Las pasajuntas se colocarán antes del colado.

## **CAPÍTULO IV**

# **CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS CARRETEROS**

## **CAPÍTULO IV. CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS CARRETEROS**

La conservación y rehabilitación de pavimentos engloban las operaciones que se ejecutan para mantener la calidad original de estos; las acciones que la práctica diaria señala como necesario o conveniente efectuar, y las que en ocasiones, se realizan con el propósito de mejorar la calidad original de las obras cuando se detectan fallas atribuibles al proyecto o a la construcción original de las carreteras. Cabe mencionar que por conservación se entiende mantener los elementos o instalaciones de que consta una carretera en condiciones tan parecidas como se pueda, a las de su estado original cuando fue construida o mejorada, bajo condiciones normales de tránsito y de medio ambiente, prolongando la vida de la misma, estas acciones deberán de ser de carácter preventivo y correctivo, mientras que en la rehabilitación se emprenden acciones de mayor costo que comprenden el mejoramiento de la calidad de rodamiento, incluyendo su seguridad y adecuar la capacidad estructural con las condiciones de tránsito futuro, con la rehabilitación se empieza un nuevo ciclo dentro de la vida de una carretera.

### **4.1 Indicadores del estado de un pavimento y su determinación**

Los principales indicadores del estado de un pavimento son los siguientes:

- Capacidad estructural
- Rugosidad
- Deterioros superficiales
- Fricción
- Costo de mantenimiento
- Costos de operación

Cada uno de estos indicadores varía con el tiempo hasta llegar a un nivel de rechazo fijado con anterioridad, en este momento se termina el ciclo de vida de un pavimento.

Esto puede solucionarse mediante acciones de rehabilitación, con las cuales es posible iniciar un nuevo ciclo en la vida del pavimento. Durante la vida de diseño de un pavimento los indicadores pueden alcanzar niveles de rechazo, requiriéndose acciones de rehabilitación para que el pavimento pueda seguir prestando un servicio adecuado.

Los indicadores de la capacidad estructural, comodidad de rodamiento, deterioros superficiales y fricción están ligados a problemas de capacidad estructural, comodidad y seguridad, mientras que el costo de conservación y costo de operación, son indicadores de orden económico que también pueden utilizarse para definir cuando ha concluido la vida útil de un pavimento.

Los costos de conservación corresponden a todos los trabajos realizados para conservar el pavimento, cuyo monto se incrementa año tras año, a medida que se incrementan los deterioros superficiales en el pavimento y disminuye la comodidad de rodamiento.

Los costos de operación son efectuados por el usuario y corresponden a insumos de combustible, llantas, refacciones, etc, mantenimiento del vehículo y su depreciación, tiempo de recorrido, accidentes, etc, los cuales están ligados con el estado del pavimento. A medida que el pavimento se deteriora en mayor grado con el transcurso del tiempo, se reduce la velocidad de operación del vehículo , y el recorrido se torna incómodo e inseguro, además de que aumentan las interferencias con los trabajos de conservación, que cada vez deben de ser realizados con mayor frecuencia, lo que se traduce en congestionamientos , accidentes y en mayor costo para los usuarios.

Para la determinación del daño de un pavimento carretero, es necesario llevar a cabo una evaluación de las condiciones funcionales y estructurales que presenta el mismo, a fin de posteriormente seleccionar la reparación apropiada.

El deterioro funcional se define como cualquier condición que afecte adversamente al usuario de carreteras.

El deterioro estructural de un pavimento se define como cualquier condición que reduce la capacidad para soportar cargas. La capacidad estructural declina con el tiempo y con el tráfico.

La evaluación de los pavimentos, consiste en la medición de la evolución de los indicadores mencionados en forma periódica. El proceso de evaluación requiere la medición periódica o monitoreo de un pavimento. A continuación se presentan en forma resumida las variables que se deben conocer:

- Estructurales

- a) Procedimientos destructivos. Se refieren a la destrucción del pavimento y resistencia de los materiales que lo constituyen. Puede determinarse mediante la ejecución de pruebas destructivas que requieren de calas, pozos y trincheras, de las cuales pueda obtenerse en forma directa el número de capas y su espesor individual, así como el muestreo de los materiales que la constituyen, para determinar las características mediante pruebas de campo o laboratorio.

Las pruebas que comúnmente se realizan en los materiales de capa subrasante y pavimento son las siguientes:

- Valor relativo de soporte. Esta prueba puede llevarse a cabo tanto en campo como en laboratorio y su aplicación es sumamente amplia a pesar de que se le consideran bases empíricas.
- Pruebas de placa. Se aplican en campo y su uso también es amplio.

- Módulo dinámico complejo. Esta prueba y las cuatro siguientes permiten determinar en el laboratorio, las propiedades elásticas, gracias a la deformación de esfuerzos repetidos.
  - Módulo de resiliencia.
  - Rigidez a la flexión
  - Tensión indirecta estática o dinámica
  - Módulo de rigidez
  - Deformación viscoelástica. Se utiliza para determinar el comportamiento viscoelástico de los materiales, introduciendo en su ejecución la influencia del tiempo en la magnitud y desarrollo de las deformaciones ocurridas ; se considera además la influencia de la temperatura en el comportamiento de los materiales.
- b) Procedimientos no destructivos. Es muy recomendable investigar la capacidad estructural de un pavimento existente sin destruir o alterar sus elementos componentes, para lo cual se han desarrollado pruebas que se realicen en la superficie del pavimento, cuyos resultados se relacionan de alguna manera con las propiedades estructurales del pavimento, y que se denominan pruebas no destructivas, debido a que no se altera la estructura del pavimento. Estas pruebas se clasifican en las dos categorías siguientes:
- mediciones de respuesta a una carga estática o a una sola aplicación de una carga que se mueve lentamente,
  - Respuesta a una carga dinámica o repetida.

La respuesta del pavimento a la acción de una carga estática o que se mueve lentamente se obtiene por lo general midiendo la deflexión producida por la carga en el pavimento, siendo los dispositivos más usados los siguientes:

- Viga Benkelman. Tiene una amplia difusión gracias a su facilidad de manejo, bajo costo y fácil interpretación, sin embargo es complicado en su uso cuando interviene en carreteras de alto volumen de tránsito, debido a su lentitud.
- Deflectómetro viajero. Opera bajo el mismo principio que el anterior aunque de forma automatizada y utilizando dispositivos electrónicos, es capaz de realizar 1500 a 2000 mediciones por jornada de trabajo viajando a una velocidad del orden de 1 km/hr.
- Deflectómetro Lacroix. Se desplaza a una velocidad tres veces mayor que el Deflectómetro viajero y puede proporcionar del orden de 2000 mediciones diarias.

En cuanto a la respuesta a cargas dinámicas, se han desarrollado pruebas vibratorias que consisten en aplicar fuerzas sinusoidales de varias frecuencias y analizar posteriormente las características de propagación de las ondas producidas y captadas en geófonos y de esta manera, pueden determinarse

módulos dinámicos de las diferentes capas que constituyen el pavimento, pudiendo valuarse además las deflexiones producidas en el pavimento.

Los dispositivos más frecuentemente utilizados dentro de esta categoría son los siguientes:

- Dynaflect.
- Vibrador Shell
- Road rater
- WES

Para operar estos equipos es importante verificar que se encuentran muy bien calibrados, de que la fuerza aplicada al pavimento sea la registrada y que existe una correcta correlación de las deflexiones registradas. A este respecto, normalmente se emplean las deflexiones con Viga Benkelman.

- Estado superficial del pavimento

En este aspecto está involucrado un estudio de la historia de la calidad de rodamiento del pavimento durante un período de tiempo y del tránsito acumulado en el mismo lapso, lo que puede ser determinado mediante mediciones periódicas de dicha calidad de rodamiento. Este concepto está ligado con nivel de servicio, que describe las condiciones de operación desde el punto de vista del usuario.

El nivel de servicio de un pavimento es en gran parte una función de su rugosidad. La rugosidad en un pavimento debe entenderse como un fenómeno manifestado en la superficie del pavimento y experimentado por el usuario cuando viaja sobre una carretera. La rugosidad es una función del perfil longitudinal de la superficie del pavimento, de las características del vehículo, incluyendo llantas, suspensión carrocería, asientos, etc., y de la sensibilidad del usuario ante la velocidad y la aceleración; en otras palabras, depende del perfil real de la superficie del pavimento, de los aspectos dinámicos del vehículo y de la respuesta humana. Por los tanto para medir el nivel de servicio, se puede emplear el llamado Índice Internacional de Rugosidad o bien Índice de Servicio.

El Índice Internacional de Rugosidad (IIR). Es una medida cuantitativa que mide la regularidad de la superficie de rodadura. Se define generalmente como la distorsión de gran longitud de onda de la superficie, incluyendo levantamientos y expansiones, estas pueden ser provocadas por grietas transversales deterioradas, grietas longitudinales, baches, aspereza por desmoronamiento en los bordes de la carpeta, aspereza por el astillamiento y los desperfectos de juntas transversales y longitudinales y grietas. El Índice Internacional de Rugosidad se mide en m/km y los valores que se utilizan para su calificación varían entre el cero y el doce.

El Índice de Servicio (IS) se utiliza para medir la calidad del flujo vehicular; es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción por los conductores y/o pasajeros. Estas condiciones se describen en términos de factores tales como velocidad y el tiempo de recorrido, libertad de maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial.

De los factores que afectan el nivel de servicio se distinguen los internos y los externos. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones de velocidad en el volumen, en la composición del tránsito, en el porcentaje de movimientos de entrecruzamientos o direccionales, etc. Entre los externos están las características físicas, tales como la anchura de los carriles, la distancia libre lateral, la anchura de acotamiento, las pendientes, los deterioros, etc.

Los niveles de servicio se miden por medio de letras o bien de números, como se explica a continuación:

- Nivel de servicio 5 o A. Representa una circulación a flujo libre, los usuarios considerados en forma individual están virtualmente exentos de la presencia de otros en la circulación. El nivel general de comodidad y conveniencia proporcionado por la circulación al conductor, pasajero o peatón es excelente.
- Nivel de servicio 4 o B. Se encuentra dentro del rango de flujo estable aunque se empiezan a observar vehículos integrantes de la circulación. La libertad de selección de las velocidades deseadas sigue relativamente inafectada, aunque disminuye un poco la libertad de maniobrar en relación con la de nivel de servicio A. El nivel de comodidad y conveniencia es algo inferior al del nivel A, porque la presencia de otros comienza a influir en el comportamiento de cada individuo.
- Nivel de servicio 3 o C. Pertenece al rango de flujo estable pero marca el comienzo del dominio en el que la operación de los usuarios individuales se ve afectada en forma significativa por las interacciones con los otros usuarios. La selección de la velocidad se ve afectada por la presencia de otros, y la libertad de maniobrar comienza a ser restringida. El nivel de comodidad y conveniencia desciende notablemente.
- Nivel de servicio 2 o D. Representa una circulación de densidad elevada, aunque estable. La velocidad y libertad de maniobra quedan seriamente restringidas y el conductor o peatón experimenta un nivel general de comodidad y conveniencia bajo. Los pequeños incrementos del flujo generalmente ocasionan problemas de funcionamiento.
- Nivel de servicio 1 o E. El funcionamiento está en el, o cerca del, límite de su capacidad. La velocidad de todos se ve reducida a un valor bajo, bastante uniforme. La libertad de maniobra para circulación es extremadamente difícil, y se consigue forzando a un vehículo o peatón a ceder el paso. Los niveles de comodidad y de

conveniencia son muy bajos, siendo también grande la frustración de los conductores o peatones. La circulación es normalmente inestable, debido a que los pequeños incrementos del flujo o ligeras perturbaciones del tránsito producen colapsos.

- Nivel de servicio 0 o F. Representa condiciones de flujo forzado. esta situación se produce cuando la cantidad de tránsito se acerca a un punto que excede la cantidad que puede pasar por él. En estos lugares se forman colas , donde la operación se caracteriza por la existencia de ondas de parada y arranque , extremadamente inestables.

- Seguridad

Se analizan varios factores que afectan la velocidad con que el usuario circula sobre un pavimento carretero. Uno de los factores principales lo constituye la resistencia al deslizamiento, sin embargo no deben despreciarse otros factores tales como los surcos, roderas y depresiones, en los que el agua de lluvia puede acumularse y producirse el fenómeno de acuaplaneo. Asimismo son importantes el color, las propiedades reflejantes y el señalamiento de la carretera.

El grado de seguridad de una carretera, puede medirse con el llamado Índice de Seguridad.

El Índice de Seguridad es una medida cualitativa que describe las condiciones de seguridad en una carretera. Se basa en estadísticas cuantitativas sobre los accidentes en uno o varios puntos de la carretera en cuestión.

El Índice de seguridad se mide de manera similar al Índice de Servicio , en este caso se usan números 5,4,3,2,1 y 0 que van del mayor al menor índice de seguridad.

Es importante señalar que el Índice de Seguridad puede incrementarse por medio de una conservación adecuada, lo que implica un cierto costo, que no es comparable con las pérdidas humanas.

Por último se enlistan algunos parámetros que corresponden a una vía en buen estado, la cual proporciona un nivel de seguridad elevado:

- Índice de Rugosidad Internacional (Mide la regularidad de la superficie de rodadura) menor que 3m/km en pavimento asfáltico.
- Baches reparados antes de 24 horas.
- Sin depresiones o protuberancias superiores a 12 mm
- Grietas selladas
- Hombros o bermas bien conformados
- Sistema de drenaje expedito para el escurrimiento de las aguas
- Vegetación de menos de 15 cm en el entorno
- Señalización completa y visible.

## 4.2 FACTORES QUE ACELERAN EL DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS

Los factores que aceleran el deterioro se deben, al comportamiento de los materiales, sujetos al tránsito de los vehículos, bajo la acción del medio ambiente como la lluvia, el cambio del nivel de aguas freáticas, la acción del intemperismo por los cambios del clima, propician la variación de las características de resistencia y deformación.

### 4.2.1 CONDICIONES CLIMATICAS

En los pavimentos carreteros tendremos condiciones climáticas que afectan la vida de los mismos a través del tiempo, estas condiciones son:

#### Temperatura:

La temperatura afecta desde el diseño y selección del tipo de pavimento, hasta todos aquellos aspectos futuros de conservación y mantenimiento.

Los extremos de temperatura están representados por temperaturas muy altas y temperaturas de congelamiento. Las temperaturas altas, pueden afectar la estabilidad de las carpetas asfálticas, pues cuando la estabilidad no es suficiente, la superficie de rodamiento sufre deformaciones por el arriñonamiento o corrimiento de las carpetas, este defecto se puede evitar, utilizando carpetas de mayor dureza que son menos sensibles a los cambios de temperatura.

En cuanto a las temperaturas de congelamiento, éstas afectan a la estructura de las vías terrestres al congelarse el agua que hay entre las partículas, lo que provoca que se pierda la compactación que tenían los materiales, al presentarse ese fenómeno, el volumen del agua aumenta y el problema se agudiza en primera cuando se presenta el deshielo, ya que los suelos con menos compactación absorben el agua y baja considerablemente su capacidad de carga. En las zonas que se presenta este fenómeno de congelamiento, se debe evitar que en las capas superiores de la estructura de una carretera se pueda tener agua capilar, para lo cual es necesario que en la profundidad que afecta este fenómeno se tenga una capa rompedora de capilaridad, es decir, material granular sin finos.

#### Lluvia:

La lluvia es una de las causas de deterioros más importante, y que afectará más en lluvias extraordinarias que en lluvias de menor intensidad y de mayor frecuencia. Para analizar este aspecto, en primer lugar debemos ver el comportamiento general de un terraplén, cuando vertemos tierra en un lugar, esta tiende a asentarse poco a poco por la acción de su propio peso. A este fenómeno natural, que suele ser muy lento en el tiempo, lo llamamos consolidación. Como los asentamientos pueden ser en algunos casos considerables, nos interesa reducir este proceso al mínimo. Lo que se hace es provocar una consolidación acelerada por medios mecánicos, a lo que denominamos compactación. Este procedimiento que tiene por objeto reducir los vacíos entre los

granos del suelo de forma que alcance una densidad máxima, tiene un grave inconveniente, es muy sensible a la humedad que exista en el terreno. Un exceso o una insuficiencia de agua puede hacer que el proceso de compactación no sea el adecuado, con lo que se producirán inevitablemente asentamientos con el paso del tiempo, es decir, el consiguiente ondulado e incluso rotura de la carretera que vaya por encima del terraplén. Este hecho, que puede verse muy acelerado por la presencia de agua.

**VIENTOS:**

En lo que se refiere a vientos, y su importancia dentro del deterioro de los pavimentos carreteros, estos afectan de manera particular generando erosión tanto en la estructura del pavimento como en el terreno circundante, y este a su vez hacia el pavimento, este fenómeno en nuestro país se presenta en diversas regiones con mayor o menor intensidad.

Los vientos se clasifican de la siguiente manera:

- **Vientos alisios:** son regulares, templados y húmedos, vienen del oriente y van de un trópico a otro. Durante el verano son formadores de lluvia.
- **Vientos contra alisios:** son regulares, calientes y húmedos, se dirigen al sudeste por vientos por encima del los alisios. Se sienten en las costas del Pacífico y el noroeste del de México.
- **Vientos monzónicos:** son periódicos, calientes y húmedos, soplando en el Golfo de México hacia las costas del norte, producen lluvias.
- **Vientos ciclónicos del norte:** son irregulares, fríos y húmedos, soplan del norte de México hacia el sudeste, produciendo lo que se conoce como nortes.
- **Ciclones tropicales:** son vientos huracanados ocasionales, producen lluvias abundantes locales, que se localizan durante el verano y el otoño.
- **Vientos locales:** se conocen así a los vientos y brisas que soplan de la tierra al mar o viceversa, estos vientos son normales en las costas.

#### **4.2.2 CALIDAD DE LOS MATERIALES Y SU COLOCACION**

Las deficiencias en los materiales para la construcción de pavimentos carreteros, se deben principalmente a tres motivos:

- Propiedades intrínsecas inadecuadas.
- Desconocimiento de su comportamiento.
- Deficiencias en su procesamiento, manejo, tratamiento y colocación.

Para combatir estas deficiencias, es necesario evaluar las especificaciones inherentes a un concepto de obra y sus acabados, así mismo a los materiales y equipos de instalación permanente que se utilicen en su ejecución, comparándolas con las especificadas en el proyecto, para decidir la aceptación, rechazo o corrección del concepto y determinar oportunamente si es el proceso de producción o el procedimiento de construcción se está realizando correctamente. Dichas actividades comprenden principalmente el muestreo, las pruebas de campo y laboratorio, así como el análisis estadístico de sus resultados.

Las principales pruebas de clasificación que se realizan a los materiales pétreos y suelos que se utilizan en una carretera son: granulometría, plasticidad, resistencia, expansión, valor cementante, densidad, adherencia con el asfalto, dureza y forma de la partícula.

Las pruebas que más se utilizan a los productos asfálticos son: destilación, penetración, viscosidad, punto de encendido, asentamiento en cinco días, de miscibilidad con cemento Portland, carga de la partícula y acidez.

**4.2.3 CARACTERISTICAS DEL TRANSITO**

Las deficiencias en cuanto al diseño por tránsito, se debe principalmente a dos motivos que son:

- Evaluación incorrecta del tránsito inicial
- Cambios e incrementos futuros

De esta manera para un adecuado diseño por tránsito, se tiene que tomar en cuenta las siguientes características:

**Tipos de vehículo:**

Para poder hacer una clasificación de los mismos, se hará uso del concepto de Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), que es el número de vehículos que pasan por un lugar durante un año, dividido entre el número de días del año.

Para definir el tipo de vehículo que circula por una vía terrestre se usa la siguiente clasificación:

- Atendiendo a su clase:

CLASE	NOMENCLATURA
Automóvil	A
Autobús	B
Camión Unitario	C
Camión Remolque	CR
Tractocamión Articulado	TS
Tractocamión Doblemente Articulado	TSR y TSS

Tabla 19.- Tipos de vehículos.

- Atendiendo su clase, nomenclatura, número de ejes y llantas:

AUTOBUS		
NOMENCLATURA	NUMERO DE EJES	NUMERO DE LLANTAS
B2	2	6
B3	3	8-10
B4	4	10
CAMION UNITARIO		
NOMENCLATURA	NUMERO DE EJES	NUMERO DE LLANTAS
C2	2	6
C3	3	8-10

<b>CAMION RÉMOLQUE</b>		
<b>NOMENCLATURA</b>	<b>NUMERO DE EJES</b>	<b>NUMERO DE LLANTAS</b>
C2-R2	4	14
C3-R2	5	18
C3-R3	5	22
C2-R3	5	18
<b>TRACTOCAMION ARTICULADO</b>		
<b>NOMENCLATURA</b>	<b>NUMERO DE EJES</b>	<b>NUMERO DE LLANTAS</b>
T2-S1	3	10
T2-S2	4	14
T3-S2	5	18
T3-S3	6	22
<b>TRACTOCAMION DOBLEMENTE ARTICULADO</b>		
<b>NOMENCLATURA</b>	<b>NUMERO DE EJES</b>	<b>NUMERO DE LLANTAS</b>
T2-S1-R2	5	18
T3-S1-R2	6	22
T3-S2-R2	7	26
T3-S2-R4	9	34
T3-S2-R3	8	30
T3-S3-S2	8	30

**Tabla 20.- Tipos de vehículos atendiendo su nomenclatura, número de ejes y llantas.**

Al observar los datos de vialidad a nivel nacional, se puede afirmar que es más del 50% de los vehículos que pasan por el lugar corresponden al tipo A, es decir más del 50% son automóviles hasta de 3 toneladas. Y cada día la cantidad de automóviles que circulan por la carretera es mayor.

Esto repercute en la sección estructural ya que la capacidad del tránsito, al aumentar el número de automóviles, tiende a saturar la sección, obligando a construir carriles adicionales, por otro lado el número de repeticiones de carga aunque ligeras, también incrementa un envejecimiento acelerado del pavimento.

Una alternativa adecuada para la solución de este problema, es proporcionar el transporte masivo, teniendo en cuenta, que este sea cómodo, seguro y económico para el usuario, lo que tendría las siguientes consecuencias favorables para la red carretera.

- Descongestionaría la sección estructural
- Incrementaría la vida útil de la sección

**Disposición de las llantas y cargas correspondientes:**

La disposición autorizada para los diferentes tipos de vehículos es la siguiente:

- Eje sencillo con llantas sencillas
- Eje sencillo con llantas dobles o cuatro llantas o ejes sencillo dual
- Motriz sencillo con llantas dobles o cuatro llantas
- Motriz doble o tandem, seis llantas
- Eje doble con llantas dobles ú ocho llantas, eje doble dual en tandem
- Motriz doble o tandem, ocho llantas
- Eje triple con 12 llantas o eje triple dual

CONFIGURACIÓN DE EJES	TIPO DE CAMINO			
	A	B	C	D
Eje sencillo, dos llantas	6.5	6.5	5.5	5.0
Eje sencillo, cuatro llantas	10.0	10.0	9.0	8.0
Eje motriz sencillo, cuatro llantas	11.0	11.0	10.0	9.0
Eje motriz doble o tandem, seis llantas	15.5	15.5	14.0	12.5
Eje doble o tandem, ocho llantas	18.0	18.0	16.0	14.0
Eje motriz doble o tandem, ocho llantas	19.5	19.5	17.5	15.5
Eje triple o tridem, doce llantas	22.5	22.5	20.0	18.0

**Tabla 21 Pesos máximos autorizados por tipo de eje y camino (en toneladas)**

El daño o fatiga que cause un eje sencillo, al pasar por una sección, no será el mismo que el de un eje dual en tandem o el de un eje triple dual.

Por otro lado, la influencia en la distribución de esfuerzos con la profundidad será mayor en los ejes triple o doble que en el sencillo.

**Número de repeticiones de carga por cada punto de la superficie:**

Además del peso por eje, se ha observado que en carreteras con más de 3000 vehículos pesados por día, la fatiga por los efectos de la repetición de carga dadas por el tránsito deteriora la sección estructural, entendiéndose por fatiga, la falla de la estructura bajo la continua repetición de un esfuerzo.

Un esfuerzo pequeño propiciado por las cargas de los vehículos en compactación con aquel que hace fallar a la estructura con una sola aplicación, puede aplicarse muchas veces sin daño, pero uno mayor causaría la ruptura con un número menor de aplicaciones; lo cual indica que una carpeta flexible o rígida sujeta a una gran repetición de carga podrá compactarse mejor y deteriorarse menos si tiene la flexibilidad necesaria para absorber las deformaciones sucesivas que produzcan las cargas rodantes o una gran resistencia de manera que el esfuerzo propiciado por la repetición de carga resulta pequeño comparado con el esfuerzo que tiene la sección estructural.

**Velocidad permisible del tránsito:**

La experiencia ha demostrado que las cargas de los vehículos con velocidad pequeña o estática producen más deterioros que dichas cargas a mayor velocidad, lo cual se comprueba en los pavimentos pues se deterioran más los carriles de ascenso que los de descenso, así como los pavimentos de aeropuertos que sirven como calles de rodaje, cabecera y/o plataformas.

Una cosa semejante sucede al cruzar un puente, la reacción natural del conductor al acercarse al puente o un paso a desnivel es frenar y por tanto produce mayor tracción y con ello mayor deterioro en dicha estructura de pavimento.

### **4.3 Tipos de fallas en los pavimentos**

La definición de falla de un pavimento afecta tanto al espesor de este como al mantenimiento y reparación del mismo.

Para poder definir una falla hay que comprender como funciona un pavimento y cuáles de los problemas que se pueden presentar son progresivos y pueden hacer fallar al pavimento y cuales son no progresivos. En el caso de que un pavimento falle, es muy importante determinar en que componente del pavimento se presentó la falla para poder tomar las medidas de mantenimiento o reparación adecuadas a dicha componente.

Las fallas en los pavimentos pueden ser de dos clases falla funcional y falla estructural.

#### **4.3.1 Fallas funcionales**

Las fallas funcionales pueden presentarse acompañadas o no de una falla estructural, pero en cualquier caso el pavimento no puede cumplir con su función sin causar molestias a los viajeros y / o causar grandes esfuerzos a los vehículos que circulan por su superficie, esta es cualquier condición que afecte adversamente al usuario de carreteras, debido sobre todo a su rugosidad.

#### **4.3.2 Fallas estructurales**

Este tipo de falla representa el colapso de la estructura del pavimento o la ruptura de una o más de las componentes estructurales de éste, la ruptura es de tal magnitud que impide al pavimento soportar las cargas que actúan sobre él y por tanto no puede circular ningún tipo de tráfico. La capacidad estructural declina con el tiempo y con el tráfico.

Es obvio que el grado del desperfecto en ambas categorías es progresivo y como la severidad de los desperfectos depende de la opinión de la persona que observa los pavimentos, se requiere que dichas evaluaciones sean realizadas por brigadas de personal técnico calificado que en conjunto presenten un mejor dictamen.

#### **4.3.3 Catálogo de fallas en los pavimentos.**

Cualquiera que sea el tipo de falla en un pavimento, ya sea funcional o estructural se reconoce por ciertas características distintivas, a continuación se hace una descripción de los tipos de fallas más comunes que se presentan en los pavimentos flexibles y rígidos.

PAVIMENTOS FLEXIBLES		
FALLA	DEFINICIÓN	CAUSA PROBABLE
BACHES	Oquedades de varios tamaños en la capa de rodamiento por desprendimiento o desintegración inicial.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Falta de resistencia de la carpeta</li> <li>Escasez de contenido de asfalto</li> <li>Espesor deficiente</li> <li>Drenaje deficiente</li> <li>Desintegración localizada por tránsito.</li> </ul>
IDENTACIÓN	Encajamiento de objetos duros en la superficie de rodamiento, produciendo indentación o desgaste localizado en la superficie.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Huellas de maquinaria pesada</li> <li>Ponchadura de llantas de equipo pesado</li> <li>Accidentes de tránsito</li> </ul>
LEVANTAMIENTO POR CONGELACIÓN	Desplazamiento diferencial hacia arriba que produce desintegración parcial o total de capas del pavimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Acción de heladas</li> <li>Ciclos de congelamiento y descongelamiento</li> <li>Expansión de capas inferiores</li> </ul>
DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS	Separación de agregados gruesos de la carpeta asfáltica que genera pequeñas depresiones en forma de cráter	<ul style="list-style-type: none"> <li>Falta de afinidad con el asfalto</li> <li>Escasez de asfalto</li> <li>Expansión del agregado grueso</li> </ul>
EROSIÓN TOTAL	Desintegración de una o varias capas subyacentes a la carpeta asfáltica, produciendo falta total de apoyo interior	<ul style="list-style-type: none"> <li>Falta de drenaje superficial</li> <li>Falta de subdrenaje</li> <li>Falta de lavaderos</li> <li>Acción de crecidas de aguas adyacentes al cuerpo del terraplén</li> <li>Mala compactación de capas inferiores</li> <li>Falta de armado o arropo en taludes de terraplenes</li> </ul>
PULIDO DE SUPERFICIE	Desgaste acelerado en la superficie de la capa de rodamiento producido por áreas lisas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tránsito intenso</li> <li>Agregado grueso de la carpeta con baja resistencia al desgaste</li> <li>Excesiva compactación</li> <li>Exceso de asfalto</li> <li>Hundimiento del agregado grueso en el cuerpo de la carpeta</li> </ul>
DESINTEGRACIÓN	Deterioro grave de la carpeta asfáltica en pequeños fragmentos con pérdida progresiva de materiales que la constituyen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fin de la vida útil de la carpeta</li> <li>Acción de tránsito intenso y pesado</li> <li>Contenido pobre de asfalto</li> <li>Sección estructural deficiente y escasa.</li> </ul>

<p><b>DESPRENDIMIENTO DE SELLO</b></p>	<p>Desintegración parcial o zonificada de la superficie de rodamiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dosificación inadecuada del ligante</li> <li>• Calidad deficiente del material ligante</li> <li>• Espesores insuficientes</li> <li>• Ejecución de trabajos en malas condiciones de climas</li> </ul>
<p><b>EROSIÓN LONGITUDINAL DE LA CARPETA</b></p>	<p>Desintegración parcial de la carpeta asfáltica principalmente en la frontera de la superficie de rodamiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de soporte de la carpeta en los hombros o acotamientos</li> <li>• Erosión natural del agua y viento</li> <li>• Sobrecargas de pesos en acotamientos</li> </ul>
<p><b>BURBUJA</b></p>	<p>Ampollas de tamaño variable localizadas en la superficie de rodamiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presiones de vapor de aire en zonas de la capa de rodamiento</li> <li>• Debilidad en espesor o consistencia</li> <li>• Liberación de cal en bases estabilizadas</li> </ul>
<p><b>RODERAS</b></p>	<p>Asentamientos permanentes de la carpeta asfáltica en el sentido longitudinal debajo de las huellas o rodadas de los vehículos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja estabilidad de la carpeta</li> <li>• Carpeta mal compactada</li> <li>• Consolidación de una o varias de las carpetas subyacentes</li> </ul>
<p><b>ONDULACIONES TRANSVERSALES</b></p>	<p>Ondulaciones de la carpeta asfáltica en el sentido perpendicular al eje del camino que contienen en forma regular crestas y valles alternados, regularmente con separación menor a 60 cm entre ellas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unión deficiente entre las capas asfálticas y/o base</li> <li>• Estabilidad de la mezcla deficiente</li> <li>• Acción de tránsito intenso</li> <li>• Fuerzas tangenciales producto de aceleraciones y frenado de vehículos</li> <li>• Deformaciones diferenciales de suelos que se reflejan en capas superiores</li> </ul>
<p><b>PROTUBERANCIAS</b></p>	<p>Desplazamiento de parte del cuerpo de la carpeta asfáltica hacia la superficie, formando un montículo de considerables dimensiones</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acción de tránsito intenso</li> <li>• Liga deficiente entre capas</li> <li>• Compactación inadecuada</li> <li>• Deformaciones plásticas de los materiales</li> </ul>

<p><b>ASENTAMIENTO TRANSVERSAL</b></p>	<p>Áreas de pavimento localizadas en elevaciones más bajas que las áreas adyacentes o elevaciones de diseño, en el sentido transversal al eje del camino.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deformación diferencial vertical del suelo de cimentación o de las capas que forman la estructura del pavimento</li> <li>• Peso propio de la sección del pavimento</li> <li>• Cargas excesivas o superiores a las de diseño</li> <li>• Compactación inadecuada</li> <li>• Desplome de cavidades subterráneas</li> </ul>
<p><b>ASENTAMIENTOS LONGITUDINALES</b></p>	<p>Áreas de pavimento localizadas en elevaciones más bajas que las áreas adyacentes o elevaciones de diseño, en el sentido longitudinal al eje del camino</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deformación diferencial vertical del suelo de cimentación o de las capas que forman la estructura del pavimento</li> <li>• Peso propio de la sección del pavimento</li> <li>• Cargas excesivas o superiores a las de diseño</li> <li>• Canalización del tránsito</li> </ul>
<p><b>GRIETAS DE REFLEXIÓN</b></p>	<p>Grietas longitudinales y transversales que reflejan exactamente el patrón de agrietamiento o de juntas de un pavimento existente, cuando es reencarpetao con concreto asfáltico</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Movimiento del pavimento suyacente</li> <li>• Liga inadecuada entre capas</li> <li>• Posibles contracciones de capa subyacente</li> </ul>
<p><b>AGRIETAMIENTO PARABÓLICO</b></p>	<p>Grietas con forma de parábola o de media luna que se forman en la carpeta asfáltica en la dirección del tránsito</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carpeta de rodamiento débil</li> <li>• Zonas de frenaje de las ruedas</li> <li>• Mezcla inestable</li> <li>• Efecto en el arranque de las ruedas</li> </ul>
<p><b>GRIETA ERRÁTICA</b></p>	<p>Agrietamiento en desorden de la carpeta asfáltica, siguiendo patrones longitudinales en forma errática</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acción del hielo</li> <li>• Cambios extremos de temperatura</li> <li>• Base defectuosa</li> <li>• Terraplenes con taludes inestables</li> </ul>
<p><b>GRIETAS FINAS</b></p>	<p>Pequeñas fisuras superficiales muy próximas la una con la otra, ya que no conforman un patrón regular y se extienden a cierta profundidad, pero no al espesor total de la carpeta</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Envejecimiento de la carpeta asfáltica</li> <li>• Oxidación del asfalto</li> <li>• Mala dosificación del asfalto</li> <li>• Exceso de finos en carpeta asfáltica</li> </ul>

<p><b>AGRIETAMIENTO PIEL DE COCODRILO</b></p>	<p>Fisuras en la superficie de la carpeta asfáltica, formando un patrón regular con polígonos hasta de 20 cm que semejan la piel de un cocodrilo</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soporte inadecuado de la base</li> <li>• Debilidad de la estructura del pavimento</li> <li>• Fuertes solicitaciones del tránsito</li> <li>• Envejecimiento</li> <li>• Espesor insuficiente de la carpeta</li> </ul>
<p><b>AGRIETAMIENTO TIPO MAPA</b></p>	<p>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 los 20 cm</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calidad deficiente de algunas de las capas de la sección estructural</li> <li>• Debilidad de la estructura del pavimento</li> <li>• Fuertes solicitaciones del tránsito</li> <li>• Espesor insuficiente de la carpeta</li> </ul>
<p><b>AGRIETAMIENTO TRANSVERSAL</b></p>	<p>Agrietamiento de la carpeta que sigue un patrón transversal al eje del camino</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acción del tránsito</li> <li>• Reflejamiento de grietas en capas subyacentes</li> <li>• Deficiencia en juntas transversales de construcción</li> </ul>
<p><b>AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL</b></p>	<p>Fisura o grieta paralela al eje del camino o en muchos casos sobre el eje del camino</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deficiencias y la junta de construcción longitudinal</li> <li>• Reflejo de grietas en capa de base</li> </ul>
<p><b>LLORADO DE ASFALTO</b></p>	<p>Flujo de liberación del asfalto hacia la superficie de una carpeta asfáltica, formando una película o capa peligrosa de asfalto a través de grietas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exceso de asfalto</li> <li>• Excesiva compactación de mezclas ricas</li> <li>• Temperatura de compactación muy elevada</li> <li>• Sobredosificación de riego de liga</li> </ul>
<p><b>MARCADO DE HUELLA</b></p>	<p>Impresión en relieve localizada en la superficie de rodamiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Superficies de rodamiento débiles o suaves</li> <li>• Exceso en el contenido de asfalto</li> <li>• Altas temperaturas ambientales</li> <li>• Estacionamiento prolongado de vehículos pesados</li> <li>• Huellas por tránsito compactador de neumáticos</li> </ul>

PAVIMENTOS RÍGIDOS		
FALLA	DEFINICIÓN	CAUSA PROBABLE
EYECCIÓN DE LA JUNTA	Material que sale por la junta de dilatación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espacio demasiado estrecho cuando las losas se dilatan</li> <li>• Junta derretida por una temperatura muy elevada y esparcida fuera de las losas por el paso de vehículos</li> </ul>
ESCAMADO	Desintegración superficial del concreto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosión del concreto por los productos anticongelantes</li> </ul>
LEVANTAMIENTO DE LA LOSA	Considerable desnivel transversal en la junta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dilatación demasiado grande de la losa para las dimensiones de la junta</li> </ul>
GRIETA LONGITUDINAL	Agrietamiento longitudinal de la losa de concreto a todo el espesor que la separa en dos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asentamiento del suelo de cimentación</li> <li>• Sobrefatiga de la losa</li> </ul>
GRIETA TRANSVERSAL	Agrietamiento transversal de la losa de concreto a todo el espesor, que la separa en dos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asentamiento del suelo de cimentación</li> <li>• Suelo de cimentación deformado</li> </ul>
FRACTURA EN ESQUINA	Descascarado en las esquinas de las losas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de partículas duras que se han introducido en las juntas por insuficiente calafateo y que producen esfuerzos concentrados muy grandes</li> </ul>
GRIETA EN DIAGONAL	Agrietamiento de la losa de concreto que la separa en dos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insuficiente espesor de la losa</li> <li>• Asentamiento de la cimentación de la losa</li> </ul>
RESQUEBRAJAMIENTO	Desmoronamiento del borde de la losa al nivel de la junta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fragilidad del borde de la losa en función de cargas pesadas repetidas</li> </ul>
PIEL DE COCODRILO	Agrietamiento en forma reticular	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fatiga externa de las losas de concreto debido a un tránsito intenso</li> </ul>
EFEECTO DE BOMBEO	Cavidad que se forma bajo las losas, que se llena de agua y de lodo, y que brota por el paso de los vehículos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infiltración de agua bajo las losas, dando origen a lodo que sale a la superficie por el paso de los vehículos</li> </ul>

Tabla 22. Fuente: Catálogo de deterioros en pavimentos carreteros SCT

#### **4.4 PRACTICA COMUN DE CONSERVACION Y REHABILITACION DE PAVIMENTOS.**

La conservación significa mantener los elementos e instalaciones de que consta una carretera en condiciones tan parecidas como sea posible, a las de su estado original cuando fue construida o mejorada, bajo condiciones normales de tránsito y del medio ambiente.

Con el tiempo se incrementará el número e importancia de los deterioros que se manifiesten en la superficie de la estructura, se volverá incomodo e inclusive peligroso su rodamiento y los costos de conservación se incrementarán, alcanzando niveles excesivos, por lo que deberá emprenderse otro tipo de acciones, de mayor importancia y de costo superior, que se denomina rehabilitación.

A continuación se presenta algunas practicas y técnicas de conservación y rehabilitación de pavimentos flexibles y rígidos.

#### **PAVIMENTOS FLEXIBLES.**

##### **Mantenimiento Preventivo:**

El mantenimiento preventivo se proporciona en aquellos tramos que no presentan deformaciones, ni agrietamientos fuertes. Se lleva a cabo por medio de riegos de sello, los cuales en promedio deben durar tres años.

Dentro de este tipo de conservación rutinaria o normal, también se encuentran:

- Todos aquellos trabajos de bacheo
- Calafateo de grietas
- Y renivelaciones ligeras.

Las técnicas más usadas en la actualidad son:

##### **Bacheo:**

Esta es una de las técnicas más comunes en los caminos de cualquier país, consiste básicamente en el taponamiento de los baches que van surgiendo durante la vida útil del pavimento, para ello se suele remover una cierta cantidad de material de la carpeta o también de la base, según el grado de deterioro, mayor al del bache, para con ello evitar el daño se extienda. Una vez realizado esto y de que se ha limpiado correctamente el bache, se procede a taponar el hueco con una mezcla asfáltica, preferentemente en caliente, se compacta con un pistón de mano o con pequeños equipos de compactación.

**Calafateo de grietas:**

Por calafateo de grietas se entiende a la acción de sellar, rellenar o de taponear aquellas grietas que surgen en el pavimento asfáltico. Para ello se hace uso de mezclas asfálticas, con contenidos aglutinantes asfálticos.

El calafateo se realiza primeramente limpiando la grieta lo mejor posible para permitir una mayor adherencia del material de taponamiento con el que la carpeta existente, se rellena la grieta con el material, se produce posteriormente la compactación del material procurando que este llene los huecos que se puedan presentar en la grietas y finalmente se abre el tráfico.

**Renivelación de la carpeta:**

Consiste en la remoción de un espesor determinado de pavimento, eliminando sus defectos y logrando un nuevo nivel y pendiente para la colocación posterior de otra superficie de rodamiento.

El perfilado se utiliza para restaurar pavimentos que han sufrido deterioro en su porción más superficial, teniéndose una parte de la carpeta, la base y sub-base en buen estado.

En muchas carreteras de nuestro país al presentarse la necesidad por primera vez de rehabilitarse, se procedió al tendido de una nueva capa de asfalto directamente sobre la que se encontraba dañada, sin rehabilitar las capas inferiores. Los mantenimientos posteriores consistieron en el mismo procedimiento.

**Mantenimiento Mayor:**

Actualmente las técnicas de mantenimiento mayor están orientadas a mejorar y optimizar la utilización de los materiales regionalmente disponibles. El desarrollo de estas técnicas se enfocan en ligar la maquinaria y equipo de construcción con el tratamiento de materiales mediante un determinado proceso constructivo.

Las técnicas más usadas en México para el mantenimiento de los pavimentos carreteros son los siguientes:

- Tratamientos superficiales
- Método de reciclado de carpetas asfálticas en frío en sitio
- Recuperación de profundidad total
- Método de reciclado de capas asfálticas en caliente

**Tratamiento superficial:**

Las carpetas asfálticas de mezcla en el lugar y las de concreto asfáltico, deben de recibir un riego de sello, para impermeabilizar o para vitalizar su superficie reseca y desgastada. En muchos casos los riegos de sello sirven de superficie de desgaste en los pavimentos o como solución de pequeñas fallas superficiales del pavimento.

Los riegos pueden ser de dos clases:

- De tratamiento superficial
- De mortero asfáltico

Los riegos por sello por tratamiento superficial consisten en aplicar emulsiones asfálticas y cubrirlo con agregados, de composición granulométrica determinada, con el objeto de restablecer o mejorar las características de resistencia al derrapamiento y la seguridad de la superficie de rodamiento. La emulsión asfáltica se aplica en frío. El defecto de este riego de sello es la gran cantidad de agregados que no se liga con el asfalto, provocando mucho polvo.

Los riegos de sello con mortero asfáltico, son muy adecuados para pavimentos de calles y de aeropuertos, y consiste en mezclar un agregado (arena), emulsión asfáltica, cemento Portland o cal y agua, haciendo un lodo asfáltico, el cual se coloca en frío sobre las carpetas.

**Método de reciclado de capas asfálticas en frío en sitio:**

El reciclado en frío en sitio es una tecnología que reutiliza la estructura existente de un pavimento y en algunos casos la capa inferior de base no tratada. Todo el trabajo tiene lugar en la carretera existente y no requiere de transportación de material. Un aspecto muy importante en el reciclado es la reutilización de los recursos naturales, agregados y productos petrolíferos.

El reciclado en frío en sitio no es un método nuevo para rehabilitar carreteras deterioradas. Hoy en día, se han hecho notables avances en el proceso de reciclado en frío en el sitio. El equipo que ha mejorado la calidad y la economía del proceso es la perfiladora en sitio.

La perfiladora en frío pulveriza el material existente hasta un tamaño cercano al especificado mientras corta hasta una profundidad determinada. El perfilado en frío es altamente productivo resultando un método efectivo para rehabilitar una carretera desgastada.

***Recuperación de profundidad total:***

La recuperación de profundidad total es una tecnología de recuperación de caminos en la que la totalidad del pavimento flexible y una porción de los materiales son triturados uniformemente, pulverizados y mezclados, resultando una base estabilizada

La recuperación de profundidad total consta de pulverización, introduciendo aditivos o materiales adicionales, nivelación y compactación, y finalmente la aplicación de una superficie de desgaste de rodamiento.

La pulverización y mezclado es un proceso mecánico que físicamente rompe el material del pavimento hasta una granulometría utilizable, mientras se le incorpora una cantidad específica del material existente en la base.

Después de completarse el mezclado, el material de base está listo para nivelarse y compactarse. Puede ser necesario aplicar después un riego de liga para asegurar una buena adherencia entre la nueva base y la capa de desgaste.

***Método de reciclado de capas asfálticas en caliente:***

El proceso de reciclado en caliente es una técnica de remezclado que contempla la eliminación de degradaciones mediante un reciclado del pavimento.

La capa existente es procesada y mejorada de tal manera, que esta debe satisfacer de nuevo los severos requisitos que debe cumplir las carpetas nuevas. Este proceso es económico, rápido y reduce los costos de acarreo.

El proceso técnico de reciclado en caliente consiste en calentar la capa asfáltica degradada a una temperatura comprendida de 120° y 150° centígrados mediante un aparato de precalentamiento y la mezcladora.

El escarificado de la superficie asfáltica es producido por arboles de mullido rotativos con dientes o puntas, escarificadoras posicionales en forma de espiral, estas muelen la capa de la carpeta asfáltica hasta una profundidad deseada. En conjunto con las cuchillas de nivelación la capa es rascada o escarificada exactamente y el material es transferido al mezclador.

**PAVIMENTOS RIGIDOS:**

**Mantenimiento Preventivo:**

Las técnicas de mantenimiento preventivo que se utilizan en los pavimentos rígidos son:

***Limpieza de juntas:***

Debido a que los productos que se utilizan para sellar las juntas longitudinales y transversales, con el tiempo se endurecen y se agrietan, es necesario que cuando menos cada tres años se limpien extrayendo de ellos tanto el sello anterior como cualquier material extraño que se encuentre; en seguida, se vuelve a sellar la junta con material fresco.

***Calafateo de grietas:***

Debido al fenómeno de bombeo o cualquier otro se haya presentado, es necesario que se calafateen para evitar la introducción de materias extrañas o que no penetre el agua.

**Mantenimiento Mayor:**

Cuando se tenga indicios de que se presente el fenómeno de bombeo o de plano, debido a que la losa se fracturó al quedar sin apoyo al salir hacia el exterior el material que la sustentaba, es necesario efectuar inyecciones de mortero fluido que ocupe los huecos que se tienen, si la losa está fracturada es convenientemente renivelar la zona antes de la inyección.

Cuando el pavimento rígido presente un fuerte descarnado de la superficie de rodamiento, se puede provocar la desintegración de la losa, por lo que es necesario en este caso la construcción de una carpeta asfáltica del orden de los 3 a 5 cm de espesor, para evitar que el concreto se siga deteriorando.

Si el pavimento rígido se ha comportado adecuadamente, pero se prevé que en los años siguientes el tránsito va a ser más intenso de lo previsto o se requiere aumentar la vida útil, se puede construir una sobre losa, por lo que es necesario asegurar la unión entre el concreto antiguo y el nuevo, por lo que en el primer lugar se hace una corrugación de la actual superficie de rodamiento, y antes del colocado se esparcirá un aditivo especial que selle las dos losas.

## **CONCLUSIONES**

## **CONCLUSIONES**

Con la realización de este trabajo hemos observado que las vías terrestres son concebidas y construidas para que estén en funcionamiento cierto tiempo como mínimo, cumpliendo con los estándares de calidad y servicio requeridos por la SCT y los organismos encargados de este sector, después de este lapso pueden implementarse estrategias de conservación y rehabilitación para alargar su ciclo de vida en condiciones de funcionamiento óptimas.

Debido a la apertura económica con países vecinos, la red carretera nacional resultó prácticamente insuficiente para soportar el transporte tanto de personas como de mercancías. Es importante reconocer que México se ha rezagado ante otros países con los que tiene relaciones comerciales, que utilizan tecnologías de punta en la construcción y conservación de carreteras y que ponen en desventaja a nuestra nación, por lo tanto las carreteras existentes deberán modificarse para adaptarse a las demandas actuales de transporte.

Después de haber examinado las principales características de los pavimentos que comúnmente se construyen en México observamos que los pavimentos rígidos presentan más ventajas que los flexibles, por ejemplo la vida útil es mayor, por lo que se puede romper con la inercia que se traía de años anteriores de construir más estos últimos para utilizar productos derivados del petróleo, decisión que no ha resultado muy costeaible con el transcurso del tiempo.

Es importante regular el tipo de vehículos que transitan por las carreteras, ya que aunque en el diseño de éstas se toman en cuenta dichos datos, en la práctica no hay observancia de la aplicación de estas especificaciones y circulan vehículos con características que producen solicitudes mayores que las consideradas en el proyecto, ocasionando deterioros a edades tempranas en la vida del pavimento que finalmente se traducen a costos de rehabilitación.

Consideramos que el monitoreo del comportamiento de los pavimentos a lo largo de su vida es útil para conocer su reacción ante los factores que los afectan, con esta información se pueden formular estrategias para la conservación y rehabilitación de pavimentos, además de que es importante dominar las técnicas y utilizar las nuevas tecnologías desarrolladas para este fin, y poder así satisfacer las demandas de nuestra red carretera nacional.

La conservación de las carreteras y en especial de los pavimentos se vuelve un factor muy importante debido a que con técnicas correctas y distribuidas a intervalos de tiempo adecuados se puede alargar su ciclo de vida, además de que se conserva un índice de servicio aceptable, con lo que las inversiones por rehabilitaciones se ven disminuidas y existe un mayor beneficio.

## BIBLIOGRAFÍA

**Bibliografía**

- Evaluación de proyectos  
Gabriel Baca Urbina  
McGraw Hill  
3ra Edición
- Manual de tecnología del concreto  
C.F.E.  
Sección 1  
Editorial Limusa
- Pavimentos de concreto, diseño y construcción, Juntas, Sobrecarpetas,  
Apertura rápida al tráfico.  
IMCYC.
- Normas de construcción y conservación de carreteras  
SCT  
1981
- Mecánica de suelos  
Tomo I y II  
Juárez Badillo, Eulalio  
Rico Rodríguez, Alfonso
- Estructuración de vías terrestres  
Olivera Bustamante, Fernando  
CECSA  
1996
- Curso de pavimentos  
Facultad de Ingeniería
- Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos  
Salazar Rodríguez, Aurelio  
IMCYC  
1998
- La ingeniería de suelos en las vías terrestres  
Vol. 2  
Rico Rodríguez, Alfonso  
1982

- **NOM-C-122-1982**  
Norma Oficial Mexicana  
Industria de la Construcción  
Agua para Concreto
- **Página WEB de la SCT**  
[www,SCT.gob.mx](http://www.SCT.gob.mx)
- **Diseño estructural de carreteras con pavimentos flexibles**  
Santiago Corro  
Guillermo Prado  
UNAM
- **Catálogo de fallas en pavimentos**  
SCT  
1985