

43

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**



**CONSTRUCCION, CONSERVACION Y  
RECUPERACION DE PAVIMENTOS EN LA  
CIUDAD DE MEXICO**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**I N G E N I E R O C I V I L**

P R E S E N T A :

**DIEGO FLORES SANCHEZ**



289006

DIRECTOR ING. GUILLERMO ESQUIVEL CASTAÑEDA

MEXICO, D. F.

2001.



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  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/038/99

Señor  
**DIEGO FLORES SANCHEZ**  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. GUILLERMO ESQUIVEL CASTANEDA, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"CONSTRUCCION, CONSERVACION Y RECUPERACION DE  
PAVIMENTOS EN LA CIUDAD DE MEXICO"**

**INTRODUCCION**

- I. ANTECEDENTES Y ASPECTOS GENERALES
  - II. ELEMENTOS A CONSIDERAR PARA PROYECTO DE PAVIMENTOS URBANOS
  - III. ASPECTOS TEORICOS Y FUNDAMENTALES EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS
  - IV. EVALUACION DE LAS CARACTERISTICAS FUNCIONALES Y ESTRUCTURALES DE LOS PAVIMENTOS
  - V. CONSTRUCCION, CONSERVACION Y REHABILITACION DE PAVIMENTOS URBANOS
  - VI. ADMINISTRACION DE LOS PAVIMENTOS
- 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/9 de marzo de 1999.  
EL DIRECTOR

ING. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GFB/GMP/mstg.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/038/99

ING. GUILLERMO ESQUIVEL CASTAÑEDA  
Presente.

El señor **DIEGO FLORES SANCHEZ** de la carrera de **INGENIERO CIVIL**, me ha solicitado designar al profesor que le señale Tema de Tesis para su Examen Profesional.

En atención a esa solicitud ruego a usted se sirva formular el Tema solicitado y enviarlo a esta Dirección para comunicarlo oficialmente al interesado.

Doy a usted de antemano las más cumplidas gracias por su atención y le reitero las seguridades de mi consideración más distinguida.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria a 5 de marzo de 1999  
EL DIRECTOR

ING. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB/GMP\*mstg

*Agradecimiento a la máxima casa de estudios la Universidad Nacional Autónoma de México, así como a la Facultad de Ingeniería por la contribución que ha tenido en mi formación académica y desarrollo profesional.*

*A todos mis profesores y amigos que han intervenido en mi formación académica durante toda mi vida, además de brindarme su amistad, pero sobre todo a los de la Facultad de Ingeniería, muchas gracias.*

*Agradecimiento especial al Ing. Guillermo Esquivel Castañeda  
Por todo su tiempo y apoyo en la realización de este trabajo.*

*Agradezco a los profesores que ayudaron a la culminación de esta obra:*

*Ing. Carlos M. Chavarri Maldonado*

*Ing. Carlos Olagaray Palacios*

*Ing. Roberto Carrajal Rodríguez*

*Ing. Miguel A. González López*

*A todas aquellas personas que de alguna manera hicieron posible este trabajo, muchas gracias por su ayuda.*

## *A. G. R. A. D. E. C. I. M. E. N. T. O. P.*

### *Gracias a Dios*

*Por permitirme el alcanzar y concluir una etapa mas de mi vida, así como el darme aliento para seguir adelante y conseguir cada una de las metas que me he propuesto.*

*A mis padres Rosa Sánchez Pandoral y Enrique Flores Sánchez  
Por darme la vida y estar presentes en los momentos tanto difíciles como buenos para ayudarme en mi formación ya que gracias a su apoyo, esfuerzo y cariño fue posible la culminación de esta obra la cual les dedico ya que sin ustedes nunca lo habría logrado.*

*A mis hermanos Enrique, Gabriela y especialmente a Hugo  
Por estar conmigo y formar parte de mi vida durante todos estos años apoyándome incondicionalmente, lo cual nunca podré pagarles y de cuyo ejemplo me siento orgulloso, muchas gracias.*

### *A Zaira*

*Por alentarme a seguir adelante, el estar en esos momentos especiales y con cuyo amor me ha ayudado a terminar una etapa mas de mi vida.*

### *A Enrique Agredano y Paulo C. Gutiérrez*

*Por su ayuda durante todos estos años de conocerlos y su amistad incondicional estando en todo momento que los he necesitado y saber las palabras justas para alentarme a seguir adelante.*

# CONSTRUCCIÓN, CONSERVACIÓN Y RECUPERACIÓN DE PAVIMENTOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>I. ANTECEDENTES Y ASPECTOS GENERALES.</b> .....	6
1.1 Pavimentos Urbanos. ....	6
1.2 Características de los Pavimentos. ....	9
1.3 Aspectos Conceptuales. ....	12
1.4 Descripción y Funciones de los Pavimentos. ....	13
<b>II. ELEMENTOS A CONSIDERAR PARA PROYECTO DE PAVIMENTOS URBANOS.</b> .....	14
2.1 Diferencias Conceptuales entre Pavimentos Flexibles y Pavimentos Rígidos. ....	15
2.2 Efectos del Tránsito.....	16
2.3 Efectos del Clima. ....	22
2.4 Materiales Empleados en los Pavimentos. ....	23
2.5 Drenaje y Subdrenaje. ....	40
2.6 Análisis Teórico de las Propiedades Mecánicas en relación con la Distribución de Esfuerzos y Deformaciones en los Pavimentos Urbanos. ....	44
2.7 Factores Económicos. ....	53
2.8 Otros Factores.....	54
<b>III. ASPECTOS TEÓRICOS Y FUNDAMENTALES EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS.</b> .....	56
3.1 Generalidades y Conceptos de Diseño. ....	56
3.2 Métodos de Diseño. ....	57
3.3 Costos de los Pavimentos. ....	91
<b>IV. EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES Y ESTRUCTURALES DE LOS PAVIMENTOS.</b> .....	108
4.1 Alcances. ....	108
4.2 Evaluación Superficial y Estructural. ....	108
4.3 Criterios de Evaluación Estructural para Pavimentos. ....	116
4.4 Métodos de Evaluación para Pavimentos Urbanos. ....	118
4.5 Tipos de Fallas y Causas. ....	120

<b>V. CONSTRUCCIÓN, CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS URBANOS.</b> .....	132
5.1 Proceso Constructivo de Pavimentos. ....	132
5.2 Consideraciones sobre la Conservación de Vialidades Urbanas. ....	150
5.3 Análisis de Procedimientos y Técnicas de Conservación. ....	151
5.4 Análisis de Procedimientos y Técnicas para Rehabilitado de Pavimentos Urbanos. ....	172
5.5 Control de Calidad en los Pavimentos. ....	195
<b>VI. ADMINISTRACIÓN DE LOS PAVIMENTOS.</b> .....	198
6.1 Sistemas de Administración de los Pavimentos. ....	198
<b>CONCLUSIONES.</b> .....	224

# INTRODUCCIÓN

A través del tiempo el hombre en su constante evolución, se ha preocupado por el mejorar su calidad de vida, desarrollando actividades cada vez más complejas, para transformar su entorno y cubrir sus necesidades, destinando para ello diversos recursos.

Una de sus principales necesidades desde la antigüedad ha sido el resolver la problemática del desplazamiento de bienes y personas por medios terrestres, lo cual condujo a tomar medidas para adecuar superficies de rodamiento por las cuales circulen diversos medios de transporte, es así como la historia de los caminos en México se remonta a las culturas Prehispánicas.

Podemos mencionar entre estas a:

- Los Mayas, en el Sur de México y Norte de Centro América.
- Los Olmecas que se establecieron en el sureste de México, del año 1500 A.C., al 88 D.C.
- Los Teotihuacanos que florecieron del siglo IV A.C., al año 650 D.C.
- Los Toltecas que se establecieron en la meseta central o altiplano de la República Mexicana por el año de 750 D.C.
- El Imperio Azteca que fundo Tenochtitlán en 1325 hoy Ciudad de México.
- La cultura Inca en el Perú que se remonta al 1100 A.C.

Todas estas civilizaciones dejaron huella de una avanzada técnica de construcción de caminos.

Dichas culturas formaban sus vialidades a base de terraplenes de uno y dos metros de elevación, cubiertos con una superficie de piedra caliza cuyos vestigios existen actualmente en Yucatán México.

El imperio Azteca pudo extenderse desde el Golfo de México hasta la zona costera del Pacífico, gracias a rutas trazadas por los indígenas. Las crónicas españolas de la conquista (año 1521), mencionan que la capital Azteca estaba situada en una isla al centro de un lago y que grandes calzadas comunicaban con tierra firme, cabe mencionar que estas calzadas incluían puentes elevadizos por la gran cantidad de barcas que cruzaban de un lado a otro.

Para hacer patente que desde la gran Tenochtitlán eran importantes las comunicaciones, se muestra en la Figura 0.1 una reconstrucción esquemática de las comunicaciones que tenía la ciudad de Tenochtitlán en donde aparecen las calzadas o calles de terracerías que se tenían en esa época.

Posteriormente en el siglo XVI los conquistadores españoles inician la construcción de los caminos de América como medio para extender la colonización y la explotación de recursos en la Nueva España.

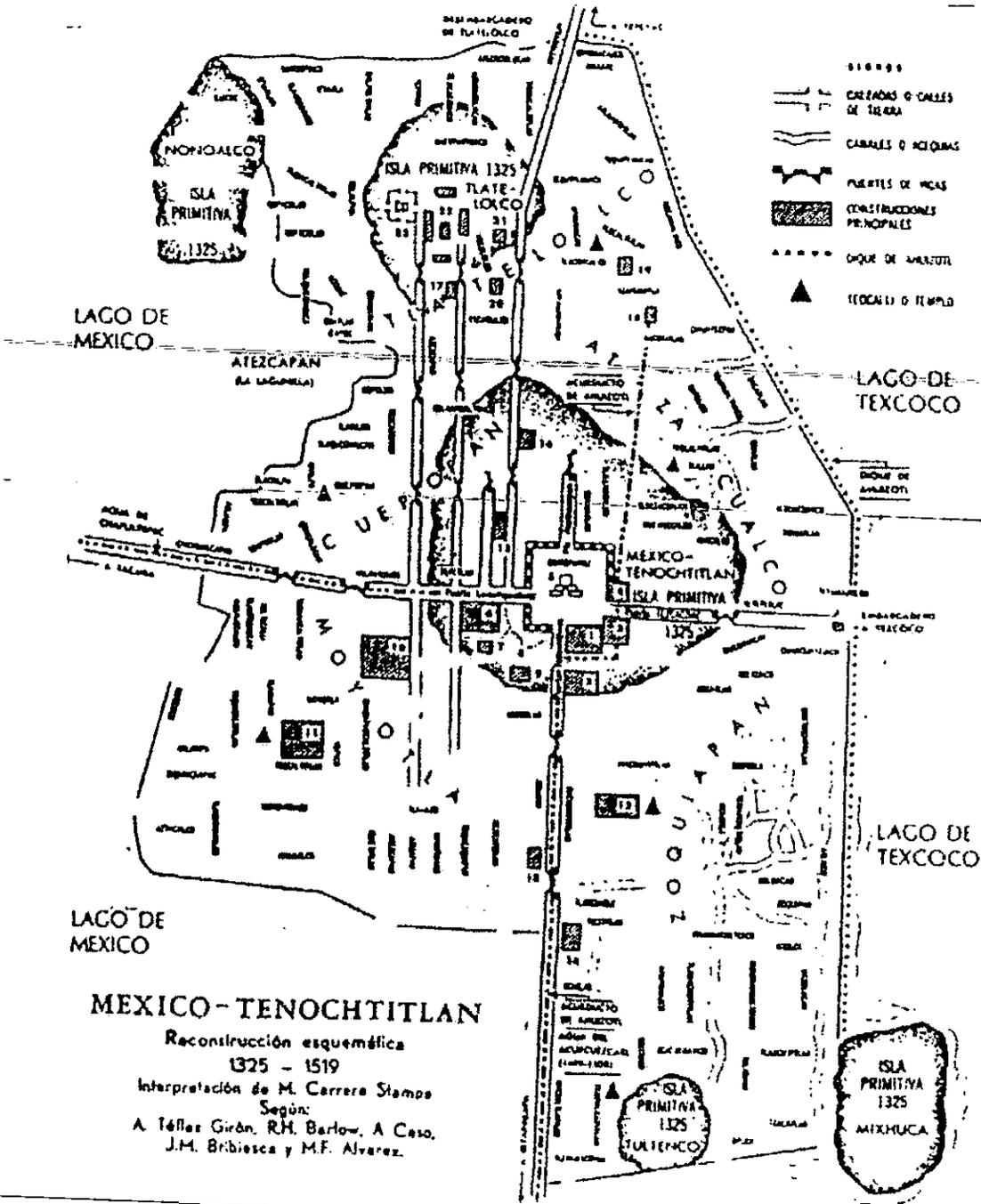


Figura 0.1 Reconstrucción esquemática de las comunicaciones de la Ciudad de Tenochtitlán.

Durante este siglo el español Sebastián de Aparicio, construye la primera carretera del Nuevo Mundo entre México y Veracruz aproximadamente entre los años 1540 y 1550, más tarde se construyen los caminos México-Zacatecas, México-Laredo y México-Guadalajara.

En el siglo XVIII el tránsito se incrementa y con grandes esfuerzos debido al mal estado de los caminos se puede satisfacer la demanda. El gran desarrollo contribuye enormemente a la introducción y conservación de los mismos. En el siglo XIX se empieza a experimentar con vehículos de autopropulsión utilizando la fuerza del vapor.

De 1837 a 1876 el ferrocarril progresa, se desarrolla y se coloca a la vanguardia de los medios de transporte, haciendo que los caminos queden relegados a un segundo término.

En las últimas décadas del siglo XIX se da la aparición del automóvil con motor de gasolina y renace el deseo de conservar en buen estado los caminos que habían sido abandonados y continuar con la red vial de carreteras.

En el año de 1898 entra a México el primer automóvil, un auto de origen francés, mas tarde en 1925, se inicia la industria de armado de automóviles en México, con la instalación Ford Motor Company de los U.S.A., es decir, ya se veía en México a un mercado potencial para el uso de automóviles y/o camiones. Durante los últimos 70 años, el vehículo a influido de manera muy importante en la economía del transporte y a partir de 1940 los ingenieros mexicanos han construido obras viales asegurando que el parque vehicular tenga un mejor movimiento.

En conclusión con el desenvolvimiento que tuvieron las vías de comunicación a principios de siglo con los ferrocarriles y con la aparición del automóvil, el país sufre un cambio radical en sus sistemas de transporte, desde las superficies de rodamiento hechas de terracerías por las que circulaban caballos y carretas hasta las mas modernas elaboradas con pavimentos, por la cuales, circulan vehiculos desarrollados con alta tecnología.

El desarrollo más importante de la infraestructura vial de la ciudad de México comenzó en el año de 1952 con la construcción del Viaducto Miguel Alemán en el tramo de Minería a Cuauhtémoc, en 1955 de Cuauhtémoc a Tlalpan, en 1956 se construye el Viaducto Río Becerra, en 1957 de Minería a Revolución, de Revolución a Periférico en 1961 y finalmente de Tlalpan a Circuito Interior en 1962 que constituyen un total de 11.5 km.

En el año de 1959 también se inicia la construcción de el Viaducto Tlalpan en el tramo de Fray Servando Teresa de Mier a Viaducto Miguel Alemán, en 1960 se construye de Viaducto Miguel Alemán a Ermita Iztapalapa, en 1964 de Ermita Iztapalapa a la Av. Río Churubusco, en 1968 de Río Churubusco a Taxqueña y en el mismo año se construye de Emiliano Zapata a la carretera de Cuernavaca sumando una longitud de 12.03 km.

De 1972 a 1976 se construye el Circuito Interior en el tramo de la Raza a Juan Escutia formando un total de 8.9 km.

Por lo correspondiente a las radiales como lo son Lázaro Cárdenas en el tramo de la glorieta de Tacuba a Tezozomoc y la radial de Río San Joaquín de Circuito Interior al limite con el Estado de México se construyeron de 1972 a 1976.

Como consecuencia del crecimiento poblacional que existe en el país surge la necesidad de la transformación continua de su infraestructura vial, teniendo que acrecentar las vías de comunicación para adecuarse las exigencias que este crecimiento origina.

Así pues, hasta la fecha la Ciudad de México cuenta con un esquema vial que tiene políticas y estrategias encaminadas al movimiento de transito vehicular de nuestra ciudad, referidas e integralmente diseñadas a fin de lograr una red vial, la cual es jerarquizada de la siguiente manera:

## INTRODUCCIÓN

---

- a) Vías de acceso controlado para satisfacer la demanda de grandes volúmenes de tránsito de vehículos, conectadas a las principales carreteras de penetración.
- b) Vías primarias que crucen la ciudad de extremo a extremo, a las cuales se les da prioridad en cuanto a su circulación.
- c) Vías secundarias que conecten las diferentes áreas urbanas.
- d) Vías locales para tener acceso a las propiedades.

La ciudad cuenta con "El Plan Rector de Vialidad y Transporte del Distrito Federal", el cual contempla lo siguiente:

- 1) Dos vías anulares que son Anillo Periférico y Circuito Interior cuyo objetivo fundamental es el distribuir grandes volúmenes de tránsito, sin cruzar el centro de la ciudad.
- 2) Dos viaductos, como lo son Viaducto Miguel Alemán y Viaducto Tlalpan que son vías de acceso controlado cuya función es satisfacer las demandas de viaje muy altas a puntos específicos de la ciudad.
- 3) Vías principales localizadas de manera radial con respecto al centro de la ciudad como lo son calzada Ignacio Zaragoza, Lázaro Cárdenas y Río San Joaquín que tienen la función de cubrir las demandas de viajes cuyo origen y destino es regularmente la zona centro de la ciudad.
- 4) Vías de acceso al Distrito Federal, como lo son las carreteras de Toluca, Cuernavaca, Puebla, Pachuca y Querétaro, las cuales absorben y distribuyen los grandes volúmenes vehiculares hacia esta ciudad.
- 5) Por último los ejes viales los cuales forman una retícula ortogonal a todo lo largo y ancho de la ciudad y que son vías de "Circulación Continua".

De las dos vías anulares, la de mayor envergadura vial es el Anillo Periférico cuya construcción empieza en 1961 con la apertura del tramo comprendido entre Conscripto y Barranca del Muerto (10.1 km.), Posteriormente se construye de Barranca del Muerto a San Jerónimo en 1963 (4.2 km.), de San Jerónimo a Viaducto Tlalpan en 1967 (10.6 km.), de Viaducto Tlalpan a Cuernavaca en 1968 (5.9 km.) y en el mismo año de Conscripto al límite del Estado de México con una longitud de un kilómetro. Posteriormente, después de 22 años de no construir ningún otro tramo, se inicia la construcción del tramo comprendido entre Canal Nacional y Canal de Chalco (3.2 km.), para hacer un total de 34.8 Km., en 1991 se toma la decisión de construir Periférico Arco Oriente que tiene una longitud de 11.2 km., con la finalidad de complementar la parte faltante del Anillo Periférico en su forma circular se empieza a construir en 1992 el Periférico Arco Norte que comprende la Calzada Ignacio Zaragoza a la Carretera México-Querétaro en el Estado de México, con una longitud de 32 km.

Ahora bien, como consecuencia de los asentamientos poblacionales en varias zonas de la ciudad y la necesidad de dotar de servicios públicos en la misma, se está tratando de crear la infraestructura adecuada para cubrir estas necesidades, tomando en cuenta que el automóvil es uno de los medios de transporte más importantes. Se han llevado a cabo una serie de estudios controlados y planes, dentro de los cuales es de vital importancia mencionar y establecer las bases necesarias para la Construcción, Conservación y Recuperación de los Pavimentos, así como implementar una estrategia controlada y general de desarrollo urbano a corto, mediano y largo plazo. En estos planes se considera como la principal función de la red vial la de favorecer los Centros Urbanos y facilitar la movilidad e intercomunicación de las diferentes zonas de la ciudad, además de fortalecer la estructura futura de la misma.

## INTRODUCCIÓN

---

Los pavimentos urbanos representan inversiones muy importantes, comparables a las requeridas para carreteras y autopistas rurales. Así mismo presentan dificultades especiales para su diseño y construcción, las cuales generalmente no ocurren en los pavimentos rurales.

Tomando en consideración lo anterior el propósito fundamental de este estudio estará enfocado en describir de manera cualitativa y detallada las características principales de los elementos a tomar en cuenta, para la Construcción, Conservación y Recuperación de los Pavimentos en la Ciudad de México, en su mayoría de material asfáltico, aunque se hablara también en ciertos momentos de pavimentos rígidos.

## CAPITULO I.

## ANTECEDENTES Y ASPECTOS GENERALES

## 1.1 PAVIMENTOS URBANOS.

El notable incremento de la población en nuestro país, se ha traducido a su vez en un crecimiento desmesurado de las áreas urbanas existentes, así como en la planeación y construcción de nuevos centros urbanos. Este fenómeno se encuentra aparejado con necesidades de orden social, económico, cultural, etc., que es necesario satisfacer, muchas veces en situaciones muy adversas, fundamentalmente por la falta de recursos económicos.

De esta manera se ha observado el rápido crecimiento y el acelerado desarrollo de áreas urbanas en la Ciudad de México en los últimos 25 años, teniendo como consecuencia una gran demanda de insumos, servicios y satisfactores, también es palpable la carencia de viviendas, empleos, servicios, etc., problemas que no pueden ser resueltos satisfactoriamente porque demandan la aplicación de fuertes inversiones, que en numerosas ocasiones no pueden realizarse a nivel delegacional, o bien, deben diferirse realizándose a un ritmo menor que el correspondiente a la demanda.

Dentro de esta demanda, destaca lo relativo a la construcción y el mantenimiento de vialidades primarias y secundarias con la pavimentación de calles y avenidas, no sólo por la importancia que en sí reviste desde el punto de vista urbanístico, sino por el monto de la inversión inicial requerida y sobre todo, por el correspondiente al costo de conservación.

Este último aspecto, relativo a la conservación de los pavimentos de una población, debe considerarse trascendental en el desarrollo de una área urbana, ya que para su ejecución pueden requerirse inversiones tan importantes que ahoguen económicamente la dependencia encargada, restringiendo las inversiones necesarias en otros renglones, o bien, se descuiden completamente con los siguientes problemas que esta decisión trae consigo.

Por todo lo anterior, se considera fundamental la planeación y desarrollo de áreas urbanas en general, y en el caso de los pavimentos en particular, la aplicación de técnicas racionales para la planeación y diseño de diversas obras, así como el empleo de políticas apropiadas de financiamiento y administración de los recursos monetarios.

En lo que se refiere al caso de los pavimentos para áreas urbanas, el establecimiento de tales políticas de financiamiento y administración, ésta íntimamente relacionado con su diseño, ya que, como se verá más adelante, tales aspectos constituyen unos de los factores determinantes en la elección del tipo de pavimento, así como en los requerimientos de su conservación y recuperación.

**Evaluación y Jerarquización.**

El Gobierno del Distrito Federal estableció el programa anual de construcción de vialidades y solución de puntos conflictivos, apegándose al programa rector de vialidad para la Ciudad de México, mismo que se consolidó en el año de 1976 y desde esa fecha se inscribió en las láminas de alineamientos, números oficiales y derechos de vía, con el fin de preservar los espacios para llevar a cabo las obras requeridas.

A continuación se presentan algunas definiciones y comentarios:

**Sistema Vial Urbano.** En la organización funcional de una ciudad se identifica un universo de elementos, dentro de los cuales destacan las vialidades, mismas que sustentan el desarrollo de las actividades diarias de sus habitantes al facilitar la articulación, el traslado y la interacción de su población. En el caso de la Ciudad de México, ésta función adquiere importancia relevante por las grandes dimensiones que presenta la mancha urbana. En ella, la estructura vial esta compuesta por diferentes tipos de arterias de acuerdo a sus características constructivas y de funcionamiento formando la red vial.

### Clasificación del Sistema Vial Urbano.

- 1. La red vial primaria.** Se compone de 9 vías rápidas (de acceso controlado), 10 vialidades principales y 32 ejes viales. Su velocidad de operación es de 60 km/hr, y cuenta en el caso de los ejes viales con una semaforización programada, hecho que permite grandes flujos vehiculares en tramos largos.

**Vialidades de acceso controlado.** Son las vialidades que permiten la circulación continua de grandes volúmenes vehiculares con acceso y salidas a los carriles centrales estratégicamente localizados para permitir la comunicación con otras vialidades primarias. Adicionalmente el tránsito de carga pesada y transporte público se encuentran separados de los carriles centrales. Estas vialidades tendrán una longitud de 210 km., de los cuales actualmente se encuentran construidos 129 km., faltando 81 km. por adecuar y construir.

**Vialidades principales.** Son aquellas que cruzan la ciudad en tramos largos, dándole prioridad y preferencia en cuanto a su circulación. Normalmente conforman corredores comerciales importantes. Dentro de estas podemos citar Av. Insurgentes, Paseo de la Reforma, Paseo de las Palmas etc. Se cuenta en la actualidad con 205 km de vialidad funcionando.

**Ejes viales.** Son vialidades que corren en forma reticular a lo largo y ancho de la ciudad con un solo sentido de circulación preferencial y generalmente con un contraflujo para el transporte público de pasajeros. Actualmente se cuenta con 514.2 km en total.

Los datos anterior mente expuestos se resumen de la siguiente manera:

TABLA 1.0

Vialidad primaria	Longitud ( km )	Observaciones
Construida	716	En operación
Por adecuar	97	En operación
Por construir	117	
Total	930	

- 2. Red vial secundaria.** Se conforma por las vialidades que soportan los principales flujos delegacionales, articulando la circulación de la red vial primaria, teniendo desplazamientos cortos y bajo volumen de tránsito. Se estiman en 8,500 km.

**Calles locales o peatonales.** Son vías que por sus características permiten el acceso y salida de las viviendas y cuya circulación es mínima.

3. **Áreas de transferencia.** Conformada por estacionamientos, terminales y estaciones, destinando un carril para ello o como bahías en zonas donde se realiza un cambio de medio de transporte como es el caso de terminales ferroviarias, autobuses, estaciones del metro etc., estas se alojan fuera de la vía pública.
4. **Vías férreas.** Formada por medios de transporte como el Tranvía, Ferrocarril Metropolitano (Metro), Ferrocarril Suburbano y Ferrocarril Regional, dichos medios requieren de una vía, de elementos de conexión con otros medios de transporte, así como de dispositivos de control en las intersecciones con otros subsistemas, o pasos a desnivel.

Teniendo un panorama de lo anteriormente expuesto se puede percibir la complejidad para determinar las prioridades que requiere esta ciudad tan dinámica para comunicarse, por lo que el Gobierno del Distrito Federal debe establecer mediante análisis de acuerdo al tipo de vialidad, aforos vehiculares, costo beneficio, etc., los programas de construcción y mantenimiento de la infraestructura vial.

De acuerdo a los estudios realizados en la vialidad primaria, por diferentes dependencias que de alguna manera tiene injerencia en lo que se refiere a la vialidad (Secretaría de Seguridad Pública, Secretaría de Transporte y Vialidad y la Secretaría de Obras y Servicios), se han determinado 96 puntos conflictivos dentro del esquema vial de nuestra ciudad. Este hecho ha requerido la jerarquización de éstos puntos cuya solución se sujetan al gasto público.

Los parámetros a tomar en cuenta para la programación de las acciones mencionadas previamente son los siguientes:

- **Tipo de vialidad.** Esta se define por la planeación de la Ciudad de México la cual se inscribe en la láminas de alineamientos y números oficiales. A la fecha muchos de los derechos de vía reservados se encuentran invadidos y se requiere buscar nuevas alternativas de trazo para poder continuar la construcción de las vialidades.
- **Aforo vehicular.** Este concepto está determinado por los estudios realizados por parte de la Secretaría de Transportes y Vialidad, quien se ha dado a la tarea de estudiar el comportamiento de los flujos vehiculares en intersecciones conflictivas de nuestra ciudad.
- **Nivel de servicio.** En éste se analizan el grado de saturación vehicular, movimientos direccionales demandados y tiempo de cruce en la intersección, teniendo como resultado lo siguiente:
  - Velocidad de operación.
  - Tiempos de paradas.
  - Tiempos de espera.
- **Costo beneficio.** Una vez determinados los conceptos anteriores, se realizan esquemas de solución que permiten determinar la óptima para las condiciones físicas y topográficas de la zona; además de evaluar el impacto social en las zonas más cercanas y su interacción con las otras vialidades, la población que estadísticamente será beneficiada y un posible costo de la solución adoptada.
- **Programación presupuestal.** Este factor es el que finalmente permite la ejecución de la obra.

A continuación se presenta la tabla 1.1 con la descripción de la Red Vial Primaria de la Ciudad de México.

TABLA 1.1

Vialidad	Red Vial Primaria del Distrito Federal.				
	Total (km)	Acceso Controlado	Sin Controlar	Sección Transversal (m)	Pavimento (m <sup>2</sup> )
Periférico	92.7	42.7	50	40	2,868,000
C. Interior	43.7	36.98	6.72	41	1,690,900
Calz. Tlaipan	18.75	18.75	0	30	562,500
Viaducto	13.55	10.15	3.4	33	429,600
M.A.					
Viaducto R.B.	1.8	1.8	0	30	54,000
Zaragoza	14.7	10.5	4.2	48	680,400
A. Serdán	9.45	3.2	6.25	36	290,200
R.S. Joaquín	5.4	5.4	0	31	167,400
Gran Canal	10.5	0	2.5	42	105,000
Ejes Viales	514.2	4.6	509.6	Variable	6,798,210
Via Principal	205	13.8	-191.2	Variable	3,709,115

## 1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS PAVIMENTOS.

Si bien los pavimentos urbanos tienen las mismas estructuras que los utilizados en otro tipo de vialidades, tienen en cambio algunas características que los diferencian e influyen en aspectos muy importantes en su diseño, construcción, conservación y recuperación.

Tales características son las siguientes:

- a) Las vialidades urbanas constituyen una extensa red dentro de un área relativamente limitada. Por cada kilómetro cuadrado de área urbana se requieren 20 km. de calles y avenidas. En la Ciudad de México, existen 50 millones de metros cuadrados de pavimentos, lo cual equivale a más de 7000 km. de carretera con un ancho de calzada de 7 m. Por otro lado, el crecimiento de las ciudades continuará en aumento, ya que además del crecimiento propio de la población urbana, debe considerarse la población que el sector rural expulsa anualmente.

Con lo anterior se afirma que el Distrito Federal es una de las ciudades más pobladas del mundo con un a tasa de crecimiento cercana al 3 % anual. De los 18 millones de personas que habitan la zona metropolitana, el Distrito Federal alberga a una población de 8.5 millones, esto quiere decir que 4 de cada 10 habitantes de la zona metropolitana coexisten en el Distrito Federal y desde luego el resto en los 17 municipios conurbados del Estado de México.

En la zona urbana de la Ciudad de México que actualmente abarca poco más de 720 kilómetros cuadrados, se realizan 29.5 millones de viajes persona día, de los cuales el 16.3 % se efectúan a través del sistema de transporte colectivo (metro) y el 83.7 % utilizan el automóvil particular y el autotransporte concesionado (10.5 y 14.2 millones de viajes persona día respectivamente).

Podemos concluir que el crecimiento explosivo de la ciudad, la saturación de espacios y la demanda de servicios públicos, ha llevado a las autoridades del Gobierno del Distrito Federal y los

estados circunvecinos a unir esfuerzos en los programas y obras a realizar, dando un carácter metropolitano para un mejor bienestar de los que en ella habitamos.

Finalmente debe considerarse que la configuración de la población en el país a mediano plazo, será de 90 % de población urbana y 10 % rural, teniendo en cuenta que este sector tiene una capacidad limitada en cuanto a la población que soporta. Debe concluirse por lo tanto que las áreas urbanas deberán seguir extendiéndose.

- b) **Tipos de Pavimentos Urbanos.** De hecho puede mencionarse que en las vialidades urbanas se utilizan todos los tipos de pavimentos existentes, por ejemplo:
- **Empedrado.** Utilizado tanto en poblaciones pequeñas como solución tradicional, o en zonas residenciales, turísticas, históricas, etc. Son duraderos, guardan armonía con los contextos urbanos, aunque producen ruido y debe circularse a baja velocidad. Requieren una conservación mínima.
  - **Adoquines.** Existen varios tipos, como el adoquín fabricado macizo, el hueco o el de piedra labrada. Como los empedrados, se utilizan en zonas residenciales, turísticas, históricas, etc., con grandes ventajas. Requieren también de una conservación mínima, son poco ruidosos y permiten velocidades de circulación razonables. Su utilización se ha extendido inclusive a patios de maniobras, plataformas, etc., para vehículos pesados y circulación lenta, además en estacionamientos en donde se está utilizando adoquines huecos, que permiten el crecimiento de pasto en su interior, así como la infiltración de agua al subsuelo, cumpliendo una función ecológica.
  - **Pavimentos flexibles.** Conservan la estructura tradicional de varias capas, constando la superior de una mezcla asfáltica en caliente (concreto asfáltico) o elaborada en frío, anteriormente con asfaltos rebajados, o con emulsiones. Así mismo en las capas inferiores pueden haberse incorporado algunos agentes modificadores, al igual que en la carpeta (polímeros, hule, etc.).
  - **Pavimentos rígidos.** El elemento estructural como se sabe lo constituye una losa de concreto hidráulico, que puede ser vibrado, rodillado, con una variante que incluye al concreto estampado, al aplicar una plancha con diseños geométricos sobre la superficie del concreto fresco.
  - **Pavimentos compuestos.** Constan de una losa de concreto hidráulico, sobre la cual se tiende y compacta una sobrecarpeta de concreto asfáltico, la cual servirá como superficie de rodamiento por la cual circularan vehículos a altas velocidades, siendo la losa el elemento estructural principal. Reúne las ventajas y desventajas de ambos tipos de pavimentos, si bien, aún cuando la carpeta asfáltica puede estar a salvo del fenómeno de fatiga, su vida útil es corta en comparación con la losa de concreto, requiriendo de una conservación similar a la de un pavimento flexible. Otro problema lo constituye la reflexión de las juntas y eventualmente de las grietas de las losas de concreto, aspecto que debe tenerse en cuenta en su diseño.
- c) **Clasificación de los pavimentos según su uso e intensidad de tránsito.**  
En cuanto al uso de los pavimentos puede mencionarse que es también muy variable, ya que no solamente son utilizados para la circulación vehicular. Se pueden utilizar como estacionamientos, destinando un carril para ello o como bahías en zonas de intercambio de medio de transporte en terminales ferroviarias, de autobuses, estaciones de metro, etc. De igual manera se le utiliza en paraderos de autobuses, para la circulación exclusiva de autobuses y trolebuses en carriles preferenciales, acceso a edificios, e inclusive para circulación peatonal, independientemente de los

cruces peatonales establecidos. El tipo y volumen de tránsito presenta variaciones importantes, desde unos cuantos vehículos ligeros y algún vehículo de servicio en zonas residenciales, hasta fuertes volúmenes de tránsito pesado en zonas fabriles o comerciales y varios miles de vehículos al día en vías rápidas y autopistas urbanas. A este respecto puede señalarse que volúmenes de tránsito de hasta 3,000 vehículos por día, pueden manejarse en calles de tipo convencional, de 3,000 a 8,000 vehículos por día es posible manejarlos en calles con algunas adecuaciones que permitan integrarlas al contexto urbano. Volúmenes superiores requieren ser manejados mediante proyectos especiales, generalmente con soluciones a desnivel y de gran costo, por ser incompatibles con un contexto urbano. Evidentemente que además de cumplir con requerimientos de carácter geométrico, el pavimento deberá estar acorde con el tipo de vialidad, teniendo en cuenta el volumen de tránsito y el número de ejes acumulados equivalentes de 8.2 ton.

A este aspecto, las vialidades pueden clasificarse en los siguientes tipos:

TABLA 1.2

<b>VIALIDADES QUE CUBREN DEL 25 AL 30 % DEL ÁREA URBANA.</b>		
Tipo de vía	Espaciamiento ( km )	Porcentaje de la longitud total ( % )
Autopistas y arterias principales	1.5	5
Arterias	1.5 - 5.0	20
Calles colectoras	0.5 - 1.0	15
Calles locales o de acceso	0.1	60
Total		100

Así mismo el tránsito puede clasificarse según el número de ejes acumulados en:

TABLA 1.3

Categorías de tráfico	Designación	<b>EJES ACUMULADOS EQUIVALENTES DE 8.2 TON EN 10 AÑOS. CARRIL DE DISEÑO.</b>
TIPO I	Pesado	Mayor o Igual a $10^7$
TIPO II	Medio alto	$2.5 \times 10^7 - 6 \times 10^7$
TIPO III	Medio bajo	$5 \times 10^6 - 2.5 \times 10^7$
TIPO IV	Ligero	Menor a $10^6$

d) Las vialidades urbanas y su integración con otros elementos urbanos.

Otro aspecto interesante de las vialidades urbanas es el relativo a su integración con otros elementos urbanos, con los cuales deben convivir y ser compatibles. Independientemente de que deben respetarse los aspectos geométricos de la traza urbana, deben de integrarse a las áreas de circulación de peatones, estructuras de puentes y pasos a desnivel, los elementos de sistemas de drenaje como registros y bocas de tormenta, así como tener en cuenta la presencia de instalaciones subterráneas, drenaje, agua potable, ductos de conductores eléctricos, teléfono, gas, etc. Adicionalmente pueden ser afectados por la presencia de ciertas especies vegetales, cuyas raíces ocasionalmente los dañan o pueden provocar un fenómeno de subsidiencia, que puede ser de cierta consideración.

e) Las vialidades urbanas y el contexto social. Como se ha manifestado, los pavimentos tienen una íntima relación con los usuarios, que generalmente es el conductor del vehículo de operación terrestre o aérea, si bien también se incluyen los usuarios que viajan como pasajeros. En el caso de los pavimentos urbanos existen otros tipos de usuarios que también opinan, juzgan, califican y

exigen. Estos son los peatones, los vecinos, comerciantes, y podía decirse que en general todos los miembros de la sociedad bien sea en forma particular o mediante asociaciones de vecinos, comerciantes, profesionistas, etc., con fuertes presiones de carácter social, político y económico sobre las autoridades locales, las cuales deben satisfacer las necesidades planteadas y llegar a una solución admisible para todos los usuarios, siendo necesaria la creación de los instrumentos técnicos, jurídicos y administrativos para ello, preferentemente dentro del Plan de Desarrollo Urbano. Al respecto debe señalarse que en general las autoridades locales enfrentan deficiencias de carácter técnico presupuestal, sobre todo en ciudades y poblaciones pequeñas, por lo cual se hace uso necesario establecer los instrumentos técnicos y administrativos adecuados para subsanar tales deficiencias, estableciendo reglamentaciones, formas de financiamiento, esquemas de planeación y recomendaciones técnicas necesarias para dar respuesta a este desafío. Se incluye en estos aspectos, la capacitación y actualización del personal en cargado del manejo del área técnica, así como la concientización de la sociedad en general, para la formación de una cultura de urbanización.

### 1.3 ASPECTOS CONCEPTUALES.

De acuerdo con la concepción actual de los pavimentos, pueden definirse como estructuras constituidas por varias capas de materiales que tienen por objeto permitir el tránsito de vehículos en forma cómoda, segura y eficiente, con un costo mínimo.

Un pavimento adecuado es aquel que llega a la falla funcional después de haber resistido el tránsito de proyecto hasta llegar a la calificación de rechazo, con el menor costo posible, para lo cual, los pavimentos deben de satisfacer los siguientes atributos:

- Regularidad superficial longitudinal y transversal.
- Resistencia adecuada al derrapamiento.
- Rápida eliminación del agua superficial.
- Capacidad para soportar las cargas.
- Bajo nivel de ruido.
- Bajo nivel de desgaste de las llantas.
- Adecuadas propiedades de reflexión luminosa.
- Apariencia agradable.

Es importante tomar en cuenta que los atributos antes citados deben ser considerados en el proyecto, debiendo establecerse en los planos, especificaciones y lineamientos constructivos, las recomendaciones y acciones que deban ejercerse para satisfacer dichos atributos. Por otra parte, durante la construcción de los pavimentos, la supervisión y el grupo de control de calidad deberán vigilar el cumplimiento de las acciones y recomendaciones prescritas antes citadas.

De esta manera, el proyecto, las especificaciones, la supervisión y el control de calidad, deben actuar conjuntamente y en la misma dirección para alcanzar un objetivo común, que es el cumplimiento de los atributos antes mencionados.

## 1.4 DESCRIPCIÓN Y FUNCIONES DE LOS PAVIMENTOS.

Se define el pavimento como el conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales y de varios centímetros de espesor, de diferentes materiales, adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan en la capa subrasante, constituida por el terreno natural o por material seleccionado y han de soportar las cargas de tránsito durante un periodo de varios años, sin deterioros que afecten a la seguridad o a la comodidad de los usuarios y la propia integridad del pavimento.

El pavimento tiene las funciones siguientes:

1. Proporcionar una superficie de rodamiento segura, cómoda y de características permanentes bajo las cargas repetidas del tránsito a lo largo de un periodo de tiempo, denominado vida de diseño o ciclo de vida, durante el cual sólo deben ser necesarias algunas actuaciones esporádicas de conservación, locales o de poca magnitud de importancia y costo.
2. Resistir las solicitaciones del tránsito previsto durante la vida de diseño y distribuir las presiones verticales ejercidas por las cargas, de forma que a la capa subrasante solo llegue una pequeña fracción de aquellas, compatible con su capacidad de soporte. Las deformaciones recuperables que se produzcan tanto en la capa subrasante como en las diferentes capas del pavimento deberán ser admisibles, teniendo en cuenta la repetición de cargas y la resistencia a la fatiga de los materiales.
3. Construir una estructura resistente a los factores climatológicos, en especial de la temperatura y del agua, por sus efectos adversos en el comportamiento de los materiales del pavimento y de los suelos de cimentación.

## CAPITULO II.

## ELEMENTOS A CONSIDERAR PARA PROYECTO DE PAVIMENTOS URBANOS.

El proyecto del pavimento debe perseguir una optimización desde el punto de vista de la resistencia y la funcionalidad de la estructura, un costo global mínimo, que incluye los costos de construcción, conservación, rehabilitación o recuperación y operación en un periodo de 30 a 40 años, generalmente.

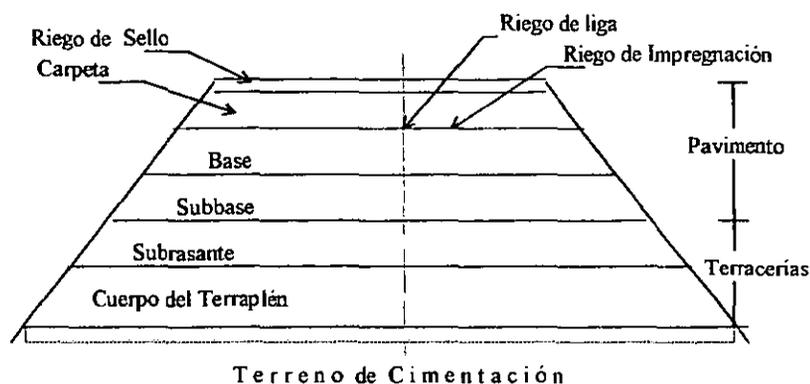


FIGURA 2.0 ESTRUCTURA DE UN PAVIEMTO ASFÁLTICO (FLEXIBLE)

Además de las características funcionales y estructurales, el proyecto de los pavimentos requiere la consideración de aspectos constructivos. El análisis de los costos debe contemplarse con una prevención del comportamiento del pavimento durante el periodo de diseño, la conservación necesaria, su costo actualizado y, finalmente una estimación de futuros refuerzos estructurales, renovaciones superficiales o reconstrucciones.

En cuanto a los costos actualizados, deben tenerse en cuenta los costos usuario, relacionados con su seguridad, comodidad y con las demoras que se originan en vialidades relativamente congestionadas por los trabajos de conservación y repavimentación. Es importante además que cada tipo de pavimento se asocie a los requerimientos de conservación necesarios, con el objeto de poder evaluar económicamente cada una de las opciones consideradas.

Para el diseño o dimensionamiento de los pavimentos existen varios métodos desarrollados por diferentes organismos, cuya aplicación se basa principalmente en los siguientes elementos.

## 2.1 DIFERENCIAS CONCEPTUALES ENTRE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y PAVIMENTOS RÍGIDOS.

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

A manera de dar una idea de las diferentes técnicas de dos estrategias de pavimentación, se compararan las características entre un pavimento flexible y otro rígido, dichas alternativas que comúnmente son consideradas para la construcción de pavimentos.

Haciendo énfasis en que existen muchas mas que pueden ser variación de las mismas o bien caracterizaciones de ambas.

La tabla 2.0 muestra algunas de las diferencias básicas entre pavimentos rígidos y flexibles en cuanto a diseño y aspecto estructural.

TABLA 2.0

CONCEPTO	PAVIMENTO RÍGIDO	PAVIMENTO FLEXIBLE
Material.	Concreto hidráulico.	Concreto asfáltico.
Sistema estructural.	Losa/subbase.	Multicapa (mínimo tres capas).
Sistema de carga.	La losa toma la mayor parte de los esfuerzos producidos por las cargas y transmite muy pocos hacia las capas de subyacentes.	Los esfuerzos son distribuidos gradualmente en forma descendente a cada una de las capas que forman la estructura.
Método de análisis.	Teoría de placa.	Teoría de capa.
Método de diseño.	Basado en el modulo de reacción.  Efectivo equivalente (Keff).	Basado en los módulos de elasticidad cada 3 a 8 años.
Estrategia de pavimentación.	Una sola losa sin rehabilitación.	Rehabilitación cada 3 a 8 años.
Periodos de análisis.	Hasta 50 años.	Hasta 20 años.
Desempeño funcional.	Sometido a altos niveles de tránsito este llega a ser más ventajoso teniendo bajas deformaciones superficiales, la falla más común es el agrietamiento y no suele afectar la funcionalidad.	Altamente deformable bajo tránsito intenso ocasionando la formación de baches y rodadura, afectando su funcionalidad.
Agrietamiento.	Es probable que se presenten grietas no controladas. Estas suelen ser de poca trascendencia.	Suele influir mayormente en el comportamiento del pavimento.

CONTINUACIÓN DE LA TABLA 2.0

Desempeño estructural	Estructura altamente rígida	Estructura de baja rigidez
Calidad de rodamiento	Mayores problemas en el acabado superficial. Las juntas entre losas suelen ser fuente permanente de problemas. Este inconveniente se atenúa notoriamente en losas con acero de refuerzo, al aumentarse sensiblemente el espaciamiento entre juntas.	Mayor facilidad para lograr una mejor superficie de rodamiento.
Resistencia al derrapamiento.	En ambos se requiere adoptar medidas especiales para disponer de una superficie antiderrapante. Sin embargo, la textura superficial del pavimento rígido suele ser más estable que la del flexible.	
Visibilidad.	En general la visibilidad es mejor que en el pavimento flexible.	
Confiabilidad.	En condiciones críticas ó particularmente difíciles, ofrece mayores garantías el pavimento rígido que el flexible.	
Calidad de servicio global o durabilidad.	Alta por largo tiempo.	Altamente deteriorable.
Costos.	Son inicialmente mayores, siendo en cambio menores los de conservación. La suma de ambos es motivo de análisis en cada caso.	Posibilidad de diferir inversiones al construir por etapas.
Facilidad de reparación.	Requiere alta especialización.	Relativamente sencilla, sin embargo, en caminos de alto tránsito la operación del mismo se ve seriamente afectada.

## 2.2 EFECTOS DEL TRÁNSITO.

Se puede afirmar que son muy variados los factores que intervienen en el comportamiento de un pavimento, por lo cual debe realizarse un análisis más detallado del tránsito y de las características propias de este, que intervienen en el diseño de una sección estructural, además de ser una herramienta básica con la cual es posible tomar mejores decisiones en cuanto a la operación, los programas de mantenimiento oportunos y la necesidad de ampliación de las vialidades.

Podemos decir que las deficiencias en cuanto al diseño por tránsito, se deben principalmente a dos motivos que son:

- ④ Evaluación incorrecta del tránsito inicial.

Ⓐ Cambios e incrementos futuros.

De esta manera para un adecuado diseño por tránsito, se tienen que tomar en cuenta las siguientes características que se detallan a continuación:

➤ TIPOS DE VEHÍCULOS.

Para poder hacer una clasificación de los mismos se hará uso del concepto TDPA (Tránsito Diario Promedio Anual), 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 vehículos que circulan por una vía terrestre se usa la siguiente clasificación:

a) Atendiendo a su clase:

TABLA 2.1

Clase	Nomenclatura
Automóvil.	A
Autobús	B
Camión	C
Tractor	T
Semiremolque	S
Remolque	R

b) De acuerdo a su número de ejes:

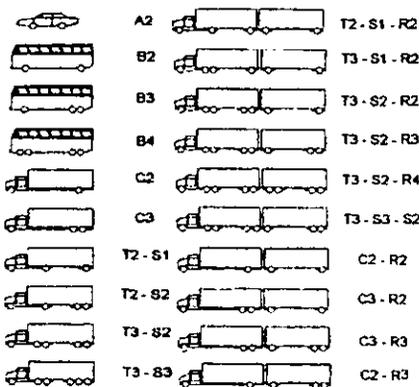


Figura 2.1 Vehículos autorizados para circular por la red vial

**Tipo A.** Corresponden a los automóviles y a los camiones ligeros con capacidad hasta de 3 ton. Denominados A2 y A2' respectivamente.

**Tipo B.** Autobuses de dos, tres y cuatro ejes denominados B2, B3 y B4, respectivamente.

**Tipo C.** Son los camiones de dos a cuatro ejes ( C2, C3 y C4 ), así como los tractores de dos y tres ejes ( T2, T3 ), con semiremolque de uno a tres ejes ( S1 a S3 ) o sea T2-S1, T2-S2, T2-S3, T3-S3, los camiones de dos y tres ejes (C2 y C3) con remolque de dos y tres ejes R2 y R3 o sea C2-R2, C3-R2, C3-R3 y los tractores con semiremolque y remolque cuyas combinaciones autorizadas son T2-S1-R2, T2-S2-R2, T3-S1-R2, T3-S2-R2, T3-S2-R3 y T3-S2-R4.

Al observar los datos de vialidad a nivel nacional, más del 50 % de los vehículos que pasan por un lugar corresponden al tipo A, es decir más del 50 % son automóviles o camionetas con capacidad hasta de 3 ton. Y cada día la cantidad de automóviles que circulan por las carreteras es mayor.

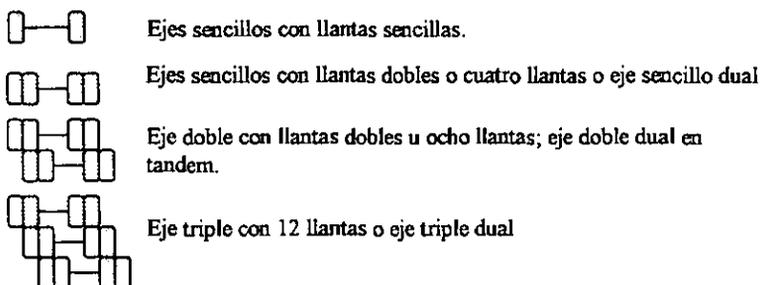
La capacidad de tránsito o el volumen máximo de tránsito que admite un camino sin congestionarse al incrementar el número de automóviles tiende a saturar la sección obligando a construir carriles adicionales; por otro lado el número de repeticiones de carga aunque ligeras también se incrementa propiciando un envejecimiento acelerado del pavimento.

La alternativa adecuada, es propiciar el transporte masivo siempre y cuando este sea **cómodo, seguro y económico** para el usuario, lo que tendría las siguientes consecuencias favorables para la red vial:

- ❖ Descongestionaría la sección estructural.
- ❖ Incrementaría la vida útil de la sección.
- ❖ Se podrían aprovechar más adecuadamente los recursos para el sector transportes.

#### ➤ DISPOSICIÓN DE LAS LLANTAS Y CARGAS CORRESPONDIENTES.

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



Con relación a las cargas máximas autorizadas, son las siguientes:

TABLA 2.2

Tipo de eje	Peso autorizado en kg. en camino tipo A
Un eje sencillo con dos llantas	5,500
Un eje sencillo con cuatro llantas	10,000
Dos ejes en tandem con dos llantas cada eje	4,500/eje
Dos ejes en tandem con cuatro llantas cada eje	9,000/eje
Tres o más ejes sencillos con cuatro llantas cada eje	7,500/eje

De acuerdo a la clasificación técnica oficial, la cual nos permite distinguir en forma precisa la categoría física del camino, tomando en cuenta los volúmenes de tránsito observados durante un periodo económico (15 años), así como las especificaciones geométricas del mismo aplicadas, se puede afirmar que se cuenta con un:

**Camino Tipo A.** Es el que por requerimientos económicos y de comunicación de los espacios geográficos del territorio nacional, permite el tránsito de todos los vehiculos cuyas máximas dimensiones y peso por eje están autorizadas.

➤ **EFFECTOS DEL INCREMENTO DE CARGAS TRASMITIDAS A LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO.**

Los resultados obtenidos por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), realizo un análisis en el estado de Ottawa, Illinois a escala natural demostrando la equivalencia del daño que se presenta con diferentes combinaciones de ejes y sus cargas correspondientes, ya mencionados anteriormente en el inciso II.

Las experiencias se remontan a los tramos de prueba de Maryland y WASHO (Western Association of State Highway Officials) en el sureste de Idaho en 1951 y 1952 en donde se eligieron como cargas de un eje equivalente a 18,000 lb. o 8.2 ton. métricas y para eje en tandem a la correspondiente a 32,000 lb. o 15 ton. métricas por ser los pesos más usuales.

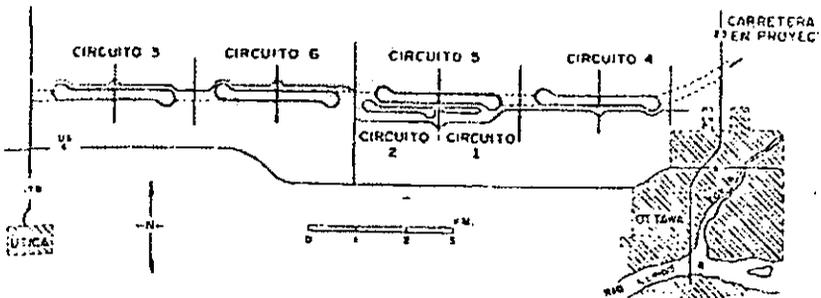


Figura 2.2 Tramos de prueba AASHO

**Coefficiente de Equivalencia de Daño.**

La AASHTO después de haber realizado diferentes tramos de prueba, encontró que los coeficientes de equivalencia de daño en la superficie, con respecto al daño que reproduce un eje estándar esta dado por la siguiente ecuación:

$$F_D = \left[ \frac{\frac{\text{Carga}}{\text{Eje Real}}}{\frac{\text{Carga}}{\text{Eje Estandar}}} \right]^4$$

El eje estándar es igual al eje equivalente.

Para ejes sencillos si  $L_s$  es la carga por eje real, la expresión es:

$$F_D = \left( \frac{L_S}{8.2} \right)^4 ; L_S \text{ en Ton.}$$

En el caso de ejes en tandem, si  $L_T$  es la carga por eje real en tandem la expresión se convierte en:

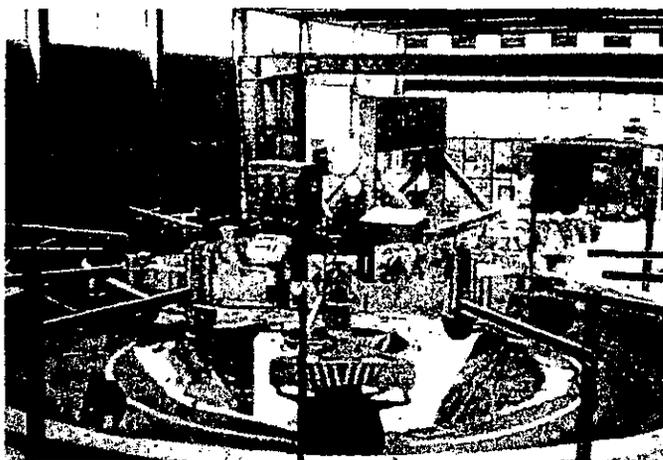
$$F_D = \left( \frac{L_T}{15} \right)^4 ; L_T \text{ en Ton.}$$

También puede afirmarse que para igualdad de daño:

$$L_T = 1.8 L_S$$

La repetición de cargas y la acumulación de sus efectos sobre el pavimento, como la fatiga son fundamentales para el calculo. Se tendrá en cuenta las máximas presiones de contacto, las sollicitaciones tangenciales en tramos especiales (curvas, zonas de drenado y aceleración).

El Instituto de Ingeniería, desde 1962 ha realizado estudios con tramos de prueba, en la denominada pista circular donde se ensayan pavimentos con diferentes estructuras y condiciones de carga a escala natural, la pista esta ubicada en un foso donde se aloja la estructura del pavimento y un marco giratorio de tres brazos conectados a una flecha central, que tienen en sus extremos un par de llantas de camión que ruedan sobre la superficie del pavimento hasta provocar la falla, donde se observa la relación de la estructura contra la carga.



Pista circular y elementos que la componen. Instituto de Ingeniería de la UNAM.

De esta forma el Instituto de Ingeniería propuso además de un método de diseño, los coeficientes de daño para los diferentes tipos de vehiculos autorizados los que para profundidades que van desde la superficie de rodamiento hasta los 60 cm. de profundidad, estos aparecen en el fascículo 444 de este instituto de noviembre de 1981 en el Apéndice E.

Los coeficientes de daño bajo carga máxima, se incrementan a medida que aumenta el peso de vehículos; a manera de ejemplo para  $Z=0$  sobre la superficie de rodamiento, el coeficiente de daño para el vehículo A2 es de 0.004 y para la misma profundidad para el vehículo T3-S3 el coeficiente de daño bajo carga es de 6.00 es decir se requiere por cada sección 1500 vehículos A2 para provocar el mismo daño que un solo vehículo T3-S3.

En general los coeficientes de daño para autobuses y camiones con la profundidad, se incrementan es decir el coeficiente de daño de un vehículo T3-S2 para  $Z=0$  es de 5, en cambio para  $Z=60$  cm es de 5.761; es decir el mayor daño no se produce en la superficie de rodamiento si no a 60 cm de profundidad, que es donde generalmente se encuentra la capa subrasante o cuerpo del terraplén.

A continuación se muestra la variación del coeficiente de equivalencia de daño para diferentes pesos por eje sencillo y una variación semejante para diferentes pesos por eje en tandem y como se observa, crecen en forma exponencial.

TABLA 2.3

Coeficiente de Equivalencia para Ejes Sencillos		Coeficiente de Equivalencia para ejes Tandem	
Carga por eje sencillo (Ton)	Coeficiente de daño	Carga por eje en tandem (Ton)	Coeficiente de daño
2.0	0.003	4.0	0.005
4.0	0.05	8.0	0.08
6.0	0.28	9.0	0.129
8.0	0.90	12.0	0.40
10.0	2.21	16.0	1.29
12.0	4.60	20.0	3.16
14.0	8.40	24.0	6.55

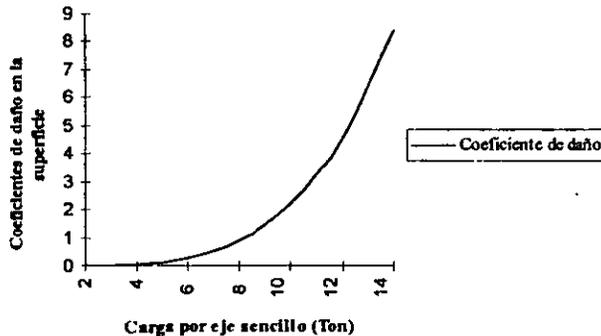


Figura 2.3 Coeficiente de Equivalencia para Ejes Sencillos

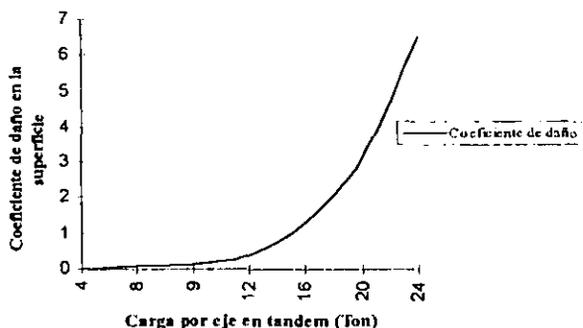


Figura 2.4 Coeficiente de Equivalencia para Ejes Tandem

### ➤ NÚMERO DE REPETICIONES DE CARGA POR CADA PUNTO DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO.

La experiencia en los tramos observados indica que con más de 3000 vehículos pesados, la fatiga por los efectos de la repetición de cargas dadas por el tránsito deteriora la sección estructural, entendiéndose por fatiga la falla de la estructura bajo la continua repetición de un esfuerzo. Se muestra que a mayor número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 ton. se requiere un espesor mayor del pavimento.

Al hacer el diseño de un pavimento se podrá observar la forma como interviene el concepto de fatiga propiciado por la repetición de cargas dadas por el tránsito.

Un esfuerzo pequeño propiciado por las cargas de los vehículos en comparación 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 sujeta a una gran repetición de carga podrá comportarse 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 cargas resulte pequeño comparado con el esfuerzo o resistencia que tiene la sección estructural.

### ➤ VELOCIDAD PERMISIBLE DEL TRANSITO.

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, cabeceras y/o plataformas.

Una cosa semejante sucede al cruzar un puente, la reacción natural del conductor al acercarse a un puente o paso a desnivel es frenar y por lo tanto producir mayor tracción.

## 2.3 EFECTOS DEL CLIMA.

En el diseño de la propia estructura del pavimento interesa su comportamiento bajo efectos de temperatura y humedad. Son objeto de consideración las temperaturas extremas diarias y estacionales,

así como el régimen e intensidad de las precipitaciones, punto de ubicación del nivel freático, geología y topografía de la zona que son premisas que deben de tomarse muy en cuenta en los aspectos constructivos, donde también debe tenerse en cuenta en la selección de los materiales y determinados elementos colaterales, como el drenaje.

## 2.4 MATERIALES EMPLEADOS EN LOS PAVIMENTOS.

El pavimento no funciona de manera independiente, si no que, el funcionamiento de cada una de sus partes, además de depender entre sí, también está condicionada al comportamiento del terreno natural o de cimentación.

Un pavimento esta compuesto de una sección estructural formada por una subbase, base, y carpeta, las terracerías están formadas por cuerpo de terraplén, subyacente, subrasante y el terreno natural como estructura total.

**Cuerpo del Terraplén (CT).** Este debe construirse con material apropiado que tenga pocos cambios volumétricos bajo variaciones de humedad y sirva para alcanzar el nivel de la rasante del proyecto. Para la construcción del cuerpo del terraplén de una obra vial, dependiendo del tipo de terreno en que se construya, se utilizan materiales provenientes de los cortes o de préstamos.

**Capa Subyacente (SBY).** Cuando el camino se encuentra al nivel del terreno natural o en una sección en corte y aún en terraplén, y el terreno en el que se va apoyar es de muy mala calidad, también se llega a usar una capa de mejoramiento llamada subyacente, con objeto de reducir los efectos perjudiciales de ese suelo natural como son deformaciones y expansiones, o reducir espesores de pavimento. Esta capa generalmente se construye entre la capa subrasante y el cuerpo del terraplén o el terreno natural.

**Capa Subrasante (SBR).** Es una capa de transición entre el terreno natural o el cuerpo del terraplén y el pavimento, sirve para evitar que se contamine la parte inferior del pavimento con los materiales que forman las terracerías o el terreno natural. Cuando el material del terreno es de buena calidad, únicamente se conforma y compacta, usándose como capa subrasante. En el caso de que el terreno sea roca, se usa la capa subyacente y la subrasante para absorber las irregularidades que resulten el efectuar un corte.

**Subbase (Sb).** Es una capa de transición entre la capa de base y la subrasante a la cual se le atribuye, una función económica cuando no es necesario usar un material de mayor calidad y por consiguiente mayor costo; aún a costa de incrementar los espesores. El material usado en esta capa debe ser procesado, extendido y compactado de acuerdo con lo que suscriban las especificaciones de cada proyecto o las Normas para construcción e Instalación de la S.C.T.

**Base (B).** Capa constituida con material seleccionado, de mejor graduación y resistencia que la capa de subbase. El incremento en su resistencia se debe a la trabazón que existe entre las partículas, originada por la forma en general, angulosa de las mismas.

Cuando el material del que se pueda disponer de alguna de las capas mencionadas anteriormente no cuente con la calidad requerida, suele mejorarse con aditivos tales como cemento, pulzonas, sulfatos de calcio, cal o asfalto, y entonces el pavimento pasa a ser del tipo mejorado.

**Carpeta (Ca).** Esta es resultado de una mezcla de materiales pétreos y asfálticos adecuadamente tratados, la mezcla producida se coloca sobre la base, posteriormente se extiende y compacta.

### Materiales.

Como materiales básicos utilizados en la construcción de las diversas capas del pavimento, se encuentran los siguientes:

- Suelos granulares seleccionados.
- Agregados naturales, cribados y/o triturados parcialmente.
- Agregados producto de la trituración total y cribados.
- Agregados procedentes de procesos de reciclado.
- Productos asfálticos, como cementos y emulsiones, con o sin agentes modificadores.
- Productos cementantes y estabilizadores, como cemento Portland, cal, etc.
- Agua.
- Productos geosintéticos, como geotextiles, geomallas, geodrenes, etc.
- Materiales varios, como varillas de acero, aditivos para concreto, productos especiales para sellado de juntas y grietas, fibras, etc.

**Agregados pétreos.** Materiales naturales que se extraen de los macizos rocosos o que aparecen en cierta extensión, derivados de la erosión y transporte de aquellos. Cualquier clase de material granular de composición mineral, inerte y duro que se utiliza para mezclarse en partículas graduadas o fragmentos con un cementante para formar morteros o concretos, entre otros.

En general el comportamiento de un pavimento asfáltico está fuertemente influenciado por el agregado (rugosidad, permeabilidad, ruido, confortabilidad). Siendo el principal responsable de la capacidad para soportar cargas en un pavimento y tiene de un 90 al 95 % en peso de mezclas asfálticas, ó 75 al 85 % en volumen.

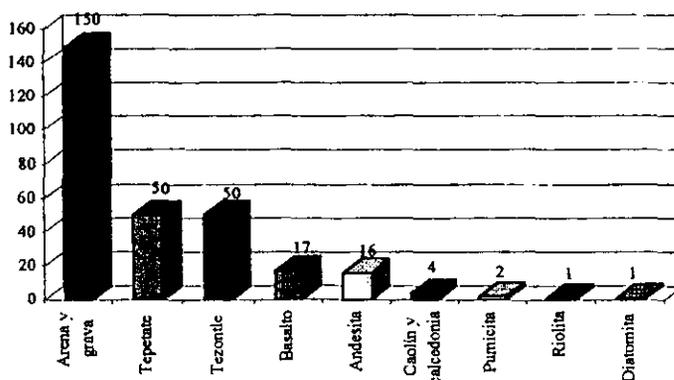


Figura 2.5 Banco de Agregados Ciudad de México

Las características más importantes que deben cumplir los materiales pétreos según las normas para carpetas asfálticas son:

TABLA 2.4

Propiedades de los agregados Material granular	
Propiedad	Prueba
Granulometría	Tamizado
	Sedimentación
Densidad	Gravas: Inmersión en agua
	Arenas: Volumenómetro
	Finos: Picnómetro
Absorción	Saturación
Porosidad	
Resistencia a la abrasión grava	Ensaye "Los Angeles"
Resistencia a la abrasión arenas	Ensaye "Microdeval"
Geometría	Coefficiente de forma %
	Partículas lajeadas o alargadas
Afinidad con el asfalto	

En este caso, la granulometría es de mucha importancia, y debe satisfacer las normas que a continuación se describen y que son las que actualmente rigen y se encuentran dentro de los alcances de concurso:

TABLA 2.5

Granulometría	
Malla	% Pasa
3/4 "	100
1/2	100-75
3/8	100-65
No. 4	70-47
No. 10	48-32
No. 20	33-22
No. 40	25-16
No. 60	20-12
No. 100	15-9
No. 200	10-5

TABLA 2.6

Agregado pétreo	
Tamaño máximo	3/4"
Clase de material	Triturado basáltico
Peso específico	2.69 min.
Absorción (%)	3.00
Equivalente de arena (%)	60 min.
Desgaste Deval (%)	20 max.
Intemperismo acelerado (%)	12 max.
Afinidad con el asfalto (Desprendimiento %)	25 max.

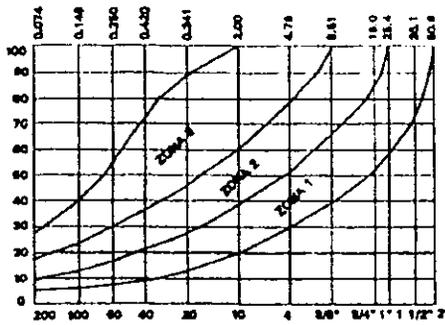


Figura 2.6 Composición Granulométrica

**Materiales Asfálticos.**

**Asfalto.** La palabra se deriva del termino griego "Asfaltic" que significa hacer firme y estable. Desde tiempos remotos se ha usado como ligante, para recubrimientos y como impermeabilizante.

El asfalto se ha empleado desde los principios de la civilización en Somalia en 6000 A.C. en la industria de construcción de barcos, en construcciones se utilizo en la torre de babel como mortero. Cerca de la ciudad de Sodoma y Gomorra existía ya la producción del asfalto. Los egipcios lo usaron como impermeabilizante en los años 2600 A.C.

Estos asfaltos naturales eran encontrados en estratos geológicos como morteros blandos listos para usarse o como venas negras y duras en formaciones rocosas, los asfaltos blandos son típicos de los depósitos del lago de trinidad en la isla del mismo nombre, en el lago de Bermúdez en Venezuela y en las arenas de hulla en la parte occidental del Canadá estos asfaltos fueron ampliamente utilizados en los principios de siglo.

El descubrimiento de los asfaltos refinados procedentes de crudo que fue originado por la popularidad creciente de los automóviles y dio el nacimiento a una floreciente industria.

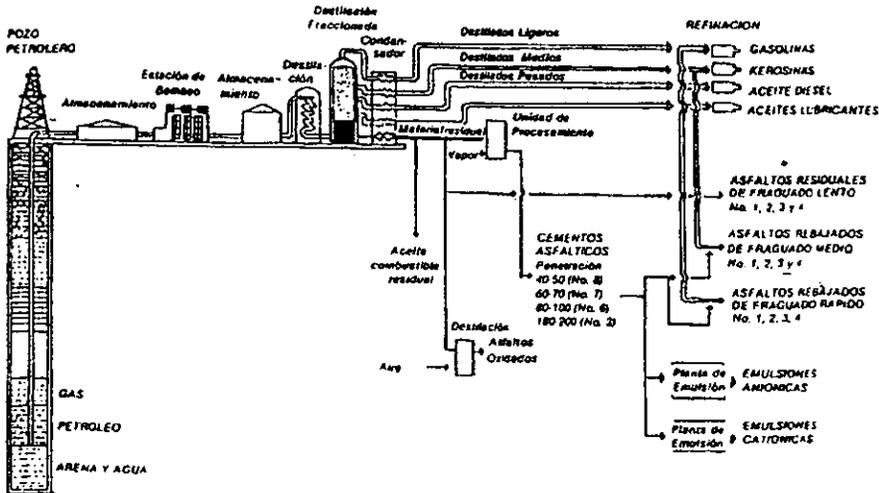


Figura 2.7 Esquema del tratamiento del petróleo para obtener los diversos productos asfálticos

Este producto forma parte integrante de muchos petróleos crudos que al refinarlos y destilarlos o separar las fracciones volátiles mediante un proceso, el residuo que queda es el asfalto las proporciones de este son variables.

Material versátil y con múltiples aplicaciones tiene las características de ser: semisólido termoplástico, adhesivo, flexible, de color oscuro, dúctil, aislante, maleable, plastificante, emulsionable, así como de aglutinar los materiales pétreos para formar las carpetas y está compuesto esencialmente de hidrocarburos de alto peso molecular que van de 900 a 7000, con estructuras químicas lineales y ramificadas, con una variedad de isómeros que a ese nivel pueden existir, en forma de asfaltenos, resinas blandas y duras, aceites pesados, aceites aromáticos (mono y polinucleares), azufre, nitrógeno, oxígeno y metales. La composición elemental aproximada es 85 % de carbono, 10 % de hidrógeno, 4.5 % de azufre y 0.5 % de oxígeno y nitrógeno.

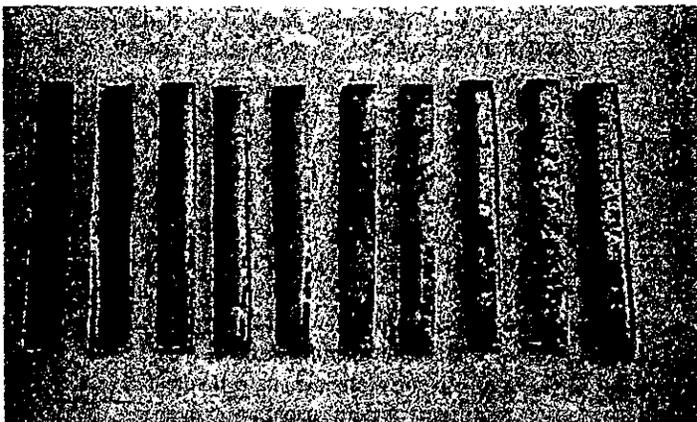
Tiene propiedades especiales pues se licua gradualmente al calentarse, es decir, se comporta como un fluido, es altamente adhesivo, pues cementa a los materiales pétreos que forman a la carpeta o sea tienen un comportamiento semisólido y a temperaturas ordinarias se comporta como una matriz sólida que imparte flexibilidad a la superficie de rodamiento, como cementante es impermeable y durable, también es resistente a los álcalis, ácidos y sales.

El asfalto al calentarse y ser licuado, se puede disolver en los derivados del petróleo o emulsificarlo con agua.

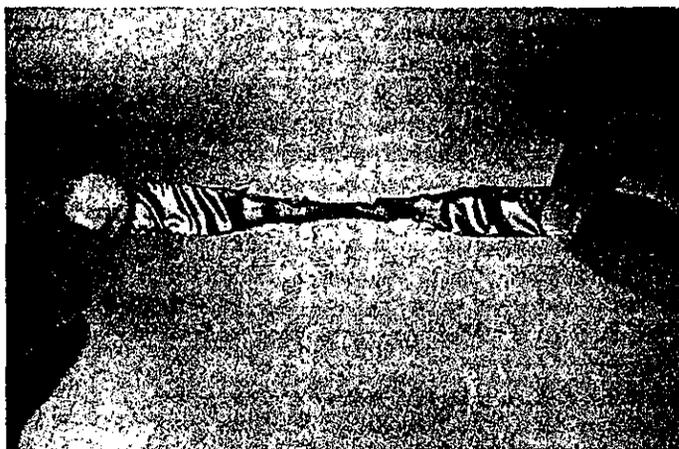
**Asfaltos modificados.** El objeto de modificar un asfalto es mejorar sus características físicas y químicas a fin de tener un mejor comportamiento ante los cambios climatológicos y cargas a que están expuestos.

Dentro de los modificadores asfálticos que se adicionan al asfalto convencional de las refinerías se conocen los siguientes:

- **Productos como polímeros del tipo SB, SBS, SBR, SBRS, látex natural y sintético.** Utilizados con el objeto de aumentar la flexibilidad y duración de los pavimentos. Están formados por la combinación del asfalto con monómeros (estireno, butadieno, etileno, propileno), pasando a ser la mezcla física de asfaltos con polímeros a una temperatura de 190 °C, donde el polímero utilizado han sido fracciones que varían entre 6 y 12 % de estireno y de butadieno, etc., que al entrar en contacto a la temperatura antes mencionada con el asfalto, el polímero comienza a desenredarse por absorción del aceite contenido en el asfalto impregnando e hinchando al polibutadieno, extendiéndose en completo estado de disolución el polímero con baja movilidad dentro del asfalto por su geometría y anclaje, teniendo una fase de arreglo de copolímeros en block.



Barras planas de 1cm por 10cm por 1.3cm de espesor, elaboradas para determinar la uniformidad de la incorporación del polímero Estireno-butadieno-estireno en el asfalto AC-20, para diferentes proporciones de polímero.



Ductilidad que presenta una barra plana, con modificador SBS, en el asfalto AC-20. Se aprecia la uniformidad lograda del SBS en la mezcla.

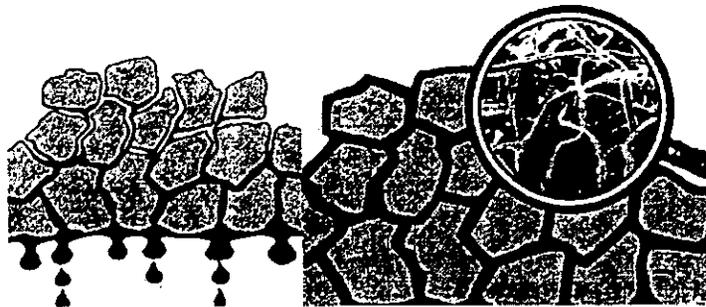
Una de las ventajas de este material es que mantiene la viscosidad del producto a diferentes temperaturas, permite mejorar su comportamiento a altas temperaturas y a temperaturas extremadamente bajas evita grietas o fracturas por congelación. Por otra parte todos los polímeros son afectados por la luz, por lo que en su fabricación y colocación es necesario evitar la su exposición prolongada a los rayos solares.

- **Fibras cortas de acero, vidrio o asbesto.** Estos materiales en algunos caso mejoran la capacidad estructural de la mezcla, pero no incrementan la vida útil del asfalto y resultan de alto riesgo para la salud.
- **Hule molido de llantas.** Su función principal es incrementar la vida útil de los asfaltos, al mezclarse con el, se utiliza también en riegos de sello, taponamientos y carpetas delgadas con material de tamaño máximo de 6 a 9 mm. Este material se obtiene mediante la avanzada tecnología

por Cryogénica, basada en el aprovechamiento de la capacidad de enfriamiento del nitrógeno líquido ( $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) para congelar el hule de llanta hasta el punto que se torna quebradizo ( $-120$  a  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), lográndose una temperatura por debajo de la transición vítrea, con lo que se vuelve frágil, llevándose acabo la pulverización y agregando auxiliares de calidad en ausencia de oxígeno, permitiendo de esta manera proteger la superficie envolvente de cada granulo del hule pulverizado, con antioxidantes, antiozonantes, etc., evitando así la degradación del producto.

El asfalto que se ha mezclado con el hule en una planta de bachas o continua, se debe de cuidar que esta última funcione correctamente el quemador del secador mezclador, para evitar exceso de aire o de combustible, sobre todo si funciona con diesel. El material obtenido debe ser almacenado, para que reaccione en un tanque con agitación al menos 60 min., a una temperatura entre  $177-207\text{ }^{\circ}\text{C}$ , debido a que el tiempo de reacción es proporcional a la temperatura, esta nunca se deberá de exceder el limite superior, para evitar degradación en el asfalto.

- **Cal hidratada y azufre.** Se ha utilizado con materiales de mala calidad con objeto de estabilizarlos variando sus características de resistencia y deformación y con el fin de producir materiales de mejor calidad.
- **Chemcrete.** Es un catalizador bimetalico compuesto por elementos órgano - metálicos en forma de aceite soluble el cual se incorpora y se mezcla en cantidad suficiente al asfalto para que se genere el proceso catalítico. La reacción que se genera produce inicialmente cetonas estables y posteriormente ligas cruzadas en la estructura molecular del asfalto, lo que produce un cambio dramático en sus propiedades, haciéndolo más fuerte y flexible y menos susceptible a la temperatura y al envejecimiento por oxidación. Además de lo anterior el chemcrete produce un incremento en las propiedades adhesivas del asfalto debido a sus elementos metálicos y a las cualidades de las cetonas, que es la característica mas importante de cualquier base. El modificador chemcrete se inyecta, directamente en la tubería de alimentación del cemento asfáltico en la planta a razón de 2% en peso, por medio de un sistema de dosificación automática. El cemento asfáltico y el modificador chemcrete pasan posteriormente por un mezclador estático instalado en la línea de alimentación, con objeto de garantizar un mezclado uniforme. De aquí en adelante se siguen los procedimientos convencionales para la fabricación, colocación y compactación de la mezcla asfáltica. El modificador chemcrete se ha formulado especialmente para garantizar que se obtenga un incremento importante en el módulo de resistencia al momento de que la vialidad se abra a la circulación vehicular.
- **Stone Mastic Asphalt ( S.M.A. ).** Desarrollado en Alemania en el año de 1968 para solucionar el desgaste de las carreteras causadas por las llantas de clavos que se usaban en Europa durante el invierno, actualmente es utilizada en todo el mundo en los cinco continentes.  
El S.M.A. es una mezcla óptima que requiere de un agregado grueso (70-80 % retenido en malla No. 8), con una pasta denominada "mastic" (masilla), la cual esta formada por un "filler" (carbonato de calcio, cemento portland o cal hidratada), más arena, cemento asfáltico entre 6 y 7 %, así como de fibras celulósicas reforzantes y estabilizadoras denominadas VIATOP.  
La acción estabilizadora del VIATOP recubre los agregados que son roca triturada tales como el granito, gabro, diabasa y basalto, con alta cantidad de asfalto que requiere el mastic y los refuerza con el efecto de red que presenta la estructura tridimensional de la fibra celulósica, el ligante asfáltico mantiene una alta viscosidad, previniendo que el asfalto drene durante el almacenamiento, transporte y tendido del S.M.A., así mismo permite un contenido de cemento asfáltico más alto en la mezcla lo que genera una capa más gruesa alrededor de cada agregado pétreo, inhibiendo la oxidación, penetración de la humedad, separación y ruptura de los agregados.

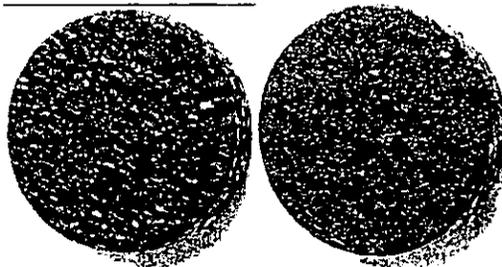


El cemento asfáltico sin la fibras estabilizadoras Viatop, drena y se separa de los agregados pétreos, los cuales se desprenden prematuramente.

La acción estabilizadora del Viatop recubre los agregados pétreos, con la alta cantidad de asfalto que requiere el mastic y los refuerza con el efecto de red, previniendo el asfalto drene.

TABLA 2.7

Composición del Mastic (%)		Fibras estabilizadoras VIATOP 66 (%)	
Peso de arena 0-2.0 mm	40-50	Fibras celulósicas (Arbocel).	66
Peso de Filler	30-35	Cemento asfáltico.	34
Cemento asfáltico	25	Cantidad de fibra utilizada en el concreto asfáltico: 0.3 % de la mezcla total (3 kg por ton.)	



Superficie rugosa de un asfalto SMA

Superficie lisa de un asfalto



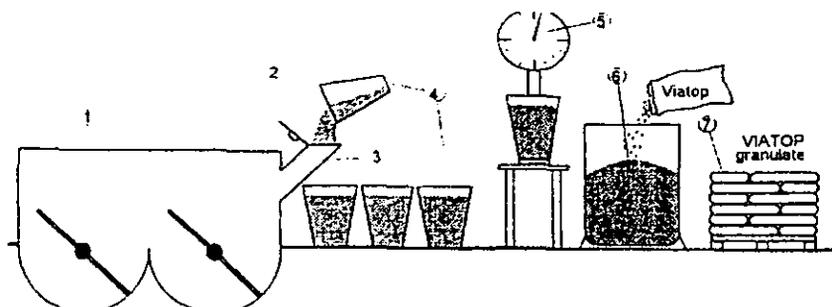
Textura y acabado obtenido en especímenes típicos, para pruebas de compresión, en las mezclas de granulometría abierta, concreto denso y mastique asfáltico de matriz pétreo (SMA).

La producción de la mezcla S.M.A. es similar al proceso utilizado por el concreto asfáltico, con la excepción de que se le debe de dar una atención especial a las fracciones de los agregados para que estén dentro de la curva granulométrica determinada así como a los tiempos de mezclado con la adición de las fibras celulósicas.

**Las mezcladoras que se utilizan para producir el S.M.A. son :**

- ❖ Mezcladoras de batch.
- ❖ Mezcladoras de producción continua o de tambor.
- ❖ Mezcladoras de alta producción computarizadas.

La planta mezcladora deberá tener varias unidades alimentadoras en frío con un mínimo de tres diferentes tamaños de mallas de cada una con una unidad de almacenaje caliente. Las cantidades de las fracciones de agregados requeridas se programan en los sistemas de control de la mezcladora, así como otros parámetros necesarios para la producción del lote. Los agregados se secan y calientan a temperaturas de 170-190 °C. Los diferentes grados son separados en los silos calientes y son pesados nuevamente para asegurar una dosificación cuidadosa. Después que los agregados son pesados en la mezcladora, se pesa y agrega el filler. El Viatop puede ser almacenado en silos y agregado automáticamente a través de la abertura de reciclado ó dosificado manualmente con empaques individuales de polietileno fundible de hasta 25 kg, los cuales se funden instantáneamente sin dejar residuo en la mezcladora, también puede dosificarse con cubetas por peso o volumétricamente, este es adicionado a los agregados secos, antes de agregar el cemento asfáltico. El tiempo de mezclado para el S.M.A. es de 10 a 15 seg. mayor que el de un concreto asfáltico.



1. Mezcladora
2. Cubierta de la abertura
3. Entrada de alimentación
4. Cubeta con Viatop
5. Báscula
6. Recipiente
7. Sacos con 25 Kg. de Viatop c/u

Figura 2.8 Proceso y dosificación del Viatop

- **Asfalto Espumoso.** Es la mezcla de asfalto caliente con agregados húmedos en frío si primero se espuma el asfalto, el producto resultante tiene propiedades similares a la mezcla de asfalto en caliente. Otro medio para producir este material, es inyectando vapor de agua dentro del asfalto caliente donde una espuma es formada, incrementando su volumen y su energía superficial, el proceso se lleva a cabo dentro de una cámara de expansión. Esto facilita que se mezcle el duro asfalto junto con los fríos y húmedos agregados sin tener que llegar a adicionarle un solvente de la dilución del aglomerante, o de la emulsificación. En el proceso de la espumación la viscosidad del asfalto es reducida, permitiéndole que se disperse apropiadamente a través del agregado.

La relación de expansión definida como el máximo volumen de asfalto en su estado espumoso y el volumen de asfalto una vez que la espuma se halla asentado completamente, y la vida media que es el tiempo ( en segundos ) empleado por la espuma para asentarse la mitad del máximo volumen alcanzado, estas pueden ser mejoradas por la introducción de aditivos químicos al asfalto, al agua o a ambos en la producción de la espuma. Tales aditivos son esenciales cuando agentes antiespumantes han sido introducidos al asfalto durante el proceso de manufactura.

#### Cambios inmediatos en algunas propiedades físicas del Asfalto:

- ❖ Disminución de la penetración.
- ❖ Aumento del punto de ablandamiento.
- ❖ Aumento del intervalo de plasticidad.
- ❖ Disminución de la fragilidad a baja temperatura.
- ❖ Aumento de viscosidad.
- ❖ Disminución de la susceptibilidad térmica.
- ❖ Mejoramiento de la adhesividad.
- ❖ Incremento de la cohesividad.
- ❖ Aumento de la carga de rotura mediante ensayos de tracción a diferentes temperaturas.

- ❖ Aumento de la durabilidad debido a la disminución de la oxidación.
- ❖ Disminución en deterioro por permeabilidad.

**Ventajas en el uso de asfaltos modificados:**

- ❖ Mejora la resistencia a la fatiga.
  - ❖ Mejora la resistencia a la deformación permanente.
  - ❖ Excelente desempeño altas temperaturas, no se reblandece y a bajas temperaturas no se fractura.
  - ❖ Reduce la formación de rodaderas.
  - ❖ Reduce los costos de mantenimiento.
- **Cemento Asfáltico.** Este material es obtenido del alto vacío proveniente de la destilación fraccionada del petróleo, después de pasar por una condensación y una unidad de procesamiento, y es la base para la construcción de pavimentos.

Antes del año de 1996, los asfaltos producidos por Petróleos Mexicanos (PEMEX) se habían clasificado únicamente de acuerdo con su penetración: asfaltos-No. 5, No. 6 y No. 7, predominando el empleo del asfalto No. 6 con penetración especificada entre 80 y 10 mm/10.

Al aumentar las exportaciones de asfalto de PEMEX a los U.S.A., y de acuerdo a las recomendaciones de diferentes instituciones nacionales se ha cambiado a la clasificación basada en la viscosidad absoluta, norma ASTM D3381. De acuerdo con dicha especificación los asfaltos producidos en México actualmente corresponden en esta clasificación a los AC-10, AC-20, AC-30 y AC-40, variando de mayor a menor viscosidad.

Como resultado de ese cambio los asfaltos empleados actualmente en el Distrito Federal son significativamente más duros que los anteriores.

En general se considera que el cambio es favorable para el comportamiento de las mezclas asfálticas en el DF, aunque por conveniencia se están llevando a cabo estudios más completos para determinar el comportamiento de asfaltos alternativos como el AC-30 o el AC-40, siendo estos asfaltos más duros y pueden dar mejores resultados que el AC-20, como es el caso de las mezclas hechas con matriz pétreo y mastique asfáltica (SMA), confirmar esto requiere un estudio más extenso.

Actualmente se producen tres tipos de asfaltos:

- ❖ El asfalto AC-5 a partir de Febrero de 1998, y se elabora únicamente en Salamanca, Gto, este cemento asfáltico tiene un grado de viscosidad de 400 a 600 poises a 60°C, con una penetración de 140 mínimo.
- ❖ El cemento asfáltico AC-20 desde 1995 en ciudad Madero, Tamps. y Cadereyta, N.L. en junio de 1996 en Salina Cruz, Oax. en julio de 1996 en Tula, Hgo. y por ultimo en Septiembre de 1996 en Salamanca, Gto. Este asfalto corresponde a un cemento de mayor dureza o sea menor penetración (60), con un rango de viscosidad 1600-2400 poises a 60°C, que el asfalto No. 6 (ya no se Produce).
- ❖ Para exportación se produce el AC-30 en ciudad Madero, Tamps, tiene mayor dureza que el AC-20 exhibiendo una penetración de 50 mínimo con un rango de viscosidad de 2400-3600 poises a 60 °C y se exporta hacia E.U.

**Rebajados Asfálticos.** Son materiales asfálticos líquidos provenientes o producto de la mezcla del cemento asfáltico con las fracciones ligeras del petróleo, denominadas dichas fracciones solventes o diluentes como se indica a continuación:

TABLA 2.8

Asfaltos Rebajados	Componente Disolvente
Fraguado Rápido (FR)	Compuesto con cemento asfáltico y un disolvente del tipo de la nafta o gasolina.
Fraguado Medio (FM)	Compuestos de cemento asfáltico y un disolvente del tipo del queroseno.
Fraguado Lento (FL)	Compuestos de un cemento asfáltico y un disolvente de baja volatilidad o aceite ligero.

En el caso de los asfaltos rebajados ya no se producen por los efectos contaminantes que tenían, se consumían al año en la república un promedio de 800,000 ton anuales, los cuales evaporaban a la atmósfera 200,000 ton de solventes principalmente gasolina suficientes para llenar 3 millones de tanques de gasolina de automóviles, que además de la contaminación que producían ya que un litro de gasolina que se evapora produce un daño ecológico equivalente a 65 litros de combustible quemado en un motor, el costo era de \$ 500,000,000.00 anuales.

Estos rebajados fueron sustituidos por las emulsiones asfálticas con ventajas muy superiores, siendo estas un ligante complejo debido a la variedad de las posibles formulaciones como a sus propiedades, que en mucho dependen del cemento asfáltico usado en ellas, ciertamente existe un campo muy vasto para la investigación enfocadas a la parte económica, pero especialmente desde el punto de vista energético con firme idea de proteger a la humanidad de los efectos de la contaminación.

• **Emulsiones Asfálticas.** Palabra que proviene del verbo latino "Emulgre" que significa ordenar. La emulsión es una dispersión de un líquido en otro líquido, esta consta de tres elementos básicos el asfalto, agua y un agente emulsificante en algunos casos la emulsión puede llevar otros aditivos.

Siendo los materiales asfálticos líquidos estables, formados por dos fases no mezclables, en los que la fase continua de la emulsión ésta formada por agua y la fase discontinua por pequeños glóbulos de asfalto.

El cemento asfáltico es el componente básico de una emulsión ya que constituye del 50 al 70% de una emulsión, cuya finalidad es hacer la dispersión del cemento asfáltico en el agua suficientemente estable para ser bombeada, almacenada y mezclada, además la emulsión debe romper rápidamente al hacer contacto con el agregado en un mezclador o después de aplicarla en la superficie de un camino.

El mezclador es un molino coloidal que tiene un rotor que gira de 3000 a 6000 r.p.m. y una abertura con la parte fija de 10 a 20 milésimas lo cual produce glóbulos de asfalto de 1 a 10 milésimas de diámetro.

El proceso completo para la obtención de la emulsión es el siguiente: El asfalto es calentado para que tenga una baja viscosidad mínimo a 130 °C, siendo alimentado al molino por medio de una bomba de desplazamiento positivo y al mismo tiempo es suministrada al molino la solución jabonosa, es decir el agua con el emulgente ya saponificado, la cual tiene una temperatura entre 30 y 50 °C esto con el fin de optimizar la emulsión. Tanto el asfalto como la solución jabonosa deben entrar en la proporción adecuada al molino de acuerdo al contenido de asfalto de la emulsión que se este fabricando, esto se logra mediante medidores de flujo por medio de temperaturas de cada

una de las fases. De el molino sale la emulsión a los tanques de almacenamiento a una temperatura de 80 a 90 °C, dependiendo de la temperatura del asfalto y del contenido del mismo en la emulsión, debiendo tener cuidado de que la emulsión no se obtenga a una temperatura cercana al punto de ebullición del agua.

Se debe de cuidar el uso de un agua impura puede dar como resultado un desbalance de los componentes de una emulsión que afectan su comportamiento o causan un rompimiento prematuro, debido a que el agua puede contener impurezas tanto en soluciones como en suspensión coloidal. La presencia de iones de calcio o magnesio beneficia la estabilidad de la emulsión cationica pero puede ser dañina para una aniónica, de la misma manera el carbonato y bicarbonato ayudan a estabilizar una emulsión aniónica pero desestabilizan una cationica.

Dependiendo del agente emulsificante, las emulsiones asfálticas pueden ser aniónicas, si los glóbulos de asfalto tienen carga eléctrica negativa o cationica, si los glóbulos tienen carga eléctrica positiva. Estas emulsiones pueden ser de rompimiento rápido o lento. Los glóbulos de asfalto son de tamaño coloidal (2 micras) y para preparar las emulsiones se usan mezcladores de alta velocidad o molinos coloidales. Las emulsiones no requieren calentamiento, se aplican de 5 °C a 40 °C.

La ultima función de una emulsión asfáltica es de servir como ligante, el agua debe de separarse del asfalto y evaporarse, la separación se llama ruptura y la evaporación se le denomina curado, esto incluye el desarrollo de las propiedades mecánicas del cemento asfáltico, cuyo resultado final es la formación de una película cohesiva y continua que mantenga a los agregados en su lugar mediante una fuerte adhesividad, para que esto suceda debe de haber la evaporación y coalecencia de los glóbulos del asfalto y el agua, dicha evaporación puede ser ayudada por el planchado de la mezcla y también por la absorción de la misma por el agregado en el empleo de emulsiones medias y lentas para mezclas asfálticas para pavimentos, es recomendable tener los agregados ligeramente húmedos, ya que esto facilita el mezclado y el cubrimiento.

En el año de 1951 aparecen en Francia las primeras emulsiones catiónicas remplazando rápidamente a las aniónicas, para 1971 mas del 92 % eran ya de este tipo. En México el comportamiento del uso de estas ha sido semejante por las ventajas que ofrece debido a que la mayor parte de los agregados pétreos tienen carga negativa y al tener los glóbulos de las emulsiones catiónicas con carga positiva, estos son atraídos por los agregados facilitando la coalecencia o ruptura de la misma.

Las emulsiones aniónicas son poco usuales en México, ya que con excepción del sureste de la república y específicamente la zona de la península de Yucatán en que todos los materiales son calizos con carga eléctrica positiva, no es recomendable su uso, ya que el rompimiento con material como el basalto, riolita, etc., que son de carga negativa, es por evaporación de la fase acuosa, no existiendo ningún proceso eléctrico químico que ayude a su rompimiento, es decir que se revierta la emulsión a cemento asfáltico y se adhiera al material pétreo.

Algunos factores que afectan el tiempo de rompimiento y de curado de una emulsión son los siguientes:

- ❖ **Absorción del agua.** Un agregado rugoso y poroso aumenta la velocidad de rompimiento porque este absorbe agua de la emulsión.
- ❖ **Contenido de humedad en el agregado.** Facilita el mezclado y el cubrimiento, pero dilata el curado por necesitar mas tiempo de evaporación.

- ❖ **Condiciones climáticas.** Temperatura, velocidad del viento y humedad ayudan a la evaporación del agua y por lo tanto al curado.
- ❖ **Fuerzas mecánicas.** El planchado fuerza a que el agua salga de la mezcla ayudando a la cohesión, al curado y a la estabilidad.
- ❖ **Superficie específica.** Un agregado con exceso de finos acelera el rompimiento de la emulsión.
- ❖ **Química de la superficie.** La intensidad de la carga eléctrica superficial del agregado, impacta considerablemente el tiempo de ruptura.
- ❖ **Temperatura del agregado y de la emulsión.** El tiempo de ruptura es retardado cuando la temperatura de ambos es baja.

Estos factores deben de tomarse en cuenta para determinar el tiempo de apertura al tráfico después de la aplicación de una emulsión.

Actualmente para la identificación de las emulsiones, ha sido adoptada por la Asociación Mexicana de Fabricantes de Emulsiones y que ha sido sugerida a las dependencias Oficiales, tanto por la mencionada asociación como por la Asociación Mexicana de Asfaltos, considerando los siguientes aspectos para la nomenclatura de estas:

1. La letra "E" de Emulsión.
2. El tipo de Emulsión: Aniónica o Cationica
3. Su clasificación de acuerdo a su rompimiento.
4. Dos números que serán el contenido del asfalto.
5. El tipo de asfalto de acuerdo a su penetración, indicándose con la letra "H" para el caso que sea fabricada o se requiera con asfalto de una penetración de 50-70.

Para esto se utilizan los siguientes símbolos.

TABLA 2.9

Concepto	Símbolo
Emulsión	E
Clase:	
Aniónica	A
Cationica	C
Grado:	
Rápido	R
Medio	M
Lento	L
Sobre-estabilizada	SE
Alta flotación	HF
Impregnación	I
Contenido de asfalto (%)	60
	65
Asfalto de penetración	
50-70	H
100-150	
Asfalto modificado con:	
Polímero	P

Así una emulsión aniónica de rompimiento rápido con 60 % de asfalto de penetración 100-150 su denominación será:

**EAR-60**

Una emulsión cationica de rompimiento medio con 65 % de asfalto de penetración 50-70 su denominación será:

**ECM-65-H**

Para una emulsión de alta flotación, las cuales únicamente son aniónica, se designa con el símbolo "HF" por lo que con un contenido de asfalto del 62 % y grado de rompimiento medio su denominación será:

**EAHFM-62**

Esta forma de denominación de las emulsiones ha sido adoptada por la Comunidad Económica Europea y define ampliamente a las mismas, se confía en que las autoridades acepten la propuesta, evitando así las lagunas que existen con la actual denominación de los años 60's.

### Grado de las Emulsiones.

**Emulsiones de rompimiento rápido.** Este tipo de emulsiones son diseñadas para reaccionar rápidamente con los agregados y revirtiéndose de emulsión el asfalto se usa primordialmente para negos de sello de arena y tratamientos superficiales, deben tener una alta viscosidad para evitar su corrimiento, la nueva generación de estas emulsiones con asfaltos polimerizados tienen una adherencia excepcional y se están utilizando para zonas de tráfico intenso y pesado.

**Emulsiones de rompimiento medio.** Están diseñadas para mezclarse con materiales graduados, su formulación esta hecha para que no rompan inmediatamente al contacto con el pétreo y así permitir el cubrimiento. Mezclas con estas emulsiones son trabajables de pocos minutos a varios meses dependiendo de si formulación las mezclas pueden ser producidas en plantas estabilizadoras o en lugar se utilizan también en reciclados en frío.

Dentro de este grado tenemos las aniónicas de alta flotación, que se diferencian de las catiónicas de rompimiento medio, por la formación de una estructura de gel en el residuo asfáltico, el cual se mide en la prueba de flotación, siendo esta característica la que permite tener una película de mayor espesor en los agregados, mientras los asfaltos regulares tienen la tendencia a fluir, los residuos que son de alta flotación tienen una resistencia al flujo que es provocado por la temperatura.

**Emulsiones de rompimiento lento.** Son diseñadas para una mayor estabilidad en el mezclado de agregados, son más estables que las de rompimiento medio, se usan para mezclas densas con alto contenido de finos ya que estos son los que primero absorben el agua de la fase continua de las emulsiones y que es lo que ocasiona el rompimiento al faltar el medio que mantiene en suspensión a los glóbulos de asfalto, diluidas estas emulsiones pueden emplearse para riegos de liga, riegos niebla que son paliativos de polvo en caminos revestidos, el rompimiento de esta es más por evaporación que por reacción electro-química, se emplean también en estabilización de bases en algunos reciclados y porteros asfálticos.

**Emulsiones sobreestabilizadas.** Debido a su gran estabilidad como su nombre lo indica, es la emulsión más versátil para cubrir una gama muy amplia de agregados y su rompimiento es casi totalmente por evaporación, se emplea sobre todo en mezclas con exceso de finos y con bajo equivalente de arena, las mezclas producidas con estas emulsiones son almacenables por varios meses son excelentes para trabajos de bacheo.

**Emulsiones para impregnación.** Son muy estables y de baja viscosidad, con un contenido de asfalto de un 40 a un 45 % y su finalidad es estabilizar la parte superior de una capa creando una película adhesiva entre los agregados vecinos a esta, impermeabilizándola y haciéndola hidrofóbica, con esta forma se crean las mejores condiciones mecánicas entre la capa impregnada y la futura superficie de desgaste que puede ser un tratamiento superficial o una carpeta asfáltica, es recomendable hacer un poreo con arena posterior al riego dándole un tiempo para su penetración, para que este absorba el asfalto que haya penetrado y el tránsito no levante dicho riego, ya que esta arena forma una pequeña carpeta de 1 o 2 mm de espesor, que ayuda a la protección de la base. En caso de bases con textura muy cerrada se puede diluir en obra la emulsión agregándole agua, teniendo siempre cuidado de añadir agua a la emulsión y no la emulsión a la agua.

## Geotextiles.

El término geotextil define a las telas que se usan en la geotécnica, existen diferentes tipos de geotextiles de acuerdo a su fabricación y al tipo de fibras que lo constituyen.

### Tipos de geotextiles.

De acuerdo a su fabricación existen tres tipos distintos que son:

- a) **Materiales entrelazados.** Son los que todo el mundo conoce y consisten en dos series de hilos y/o fibras y/o cables, generalmente entrelazados en forma perpendicular o poligonal constituyendo una verdadera malla.
- b) **Materiales que constituyen una verdadera tela,** también muy usados y son aquellos que están constituidos por fibras unidas mediante verdadero tejido de punto.

c) **Materiales no tejidos.** Consisten en fibras que se colocan al azar, siendo relativamente gruesos ( 2 a 5 mm de espesor), mientras que los otros son mas delgados ( 0.5 a 1 mm). Los no tejidos son geotextiles no muy conocidos por lo que merecen la explicación que se da a continuación:

La etapa inicial de su fabricación consiste en colocar en la zona que se requiera reforzar, las fibras al azar formando una tela heterogénea sin resistencia; en segunda etapa la resistencia de la tela se obtiene por alguno de los procedimientos de unión química, térmica o mecánica que se indica a continuación.

**Unión Térmica:** Con las fibras colocadas al azar son calentadas y comprimidas, lo que causa su fundición parcial y que se adhieran entre si.

**Unión Mecánica:** Por traslape y cocido de geotextiles de menor tamaño.

Un geotextil se puede obtener por la combinación de dos o mas tipos de fabricación, estos difieren de los polímeros porque pasan a formar las fibras.

Con respecto al intemperismo químico y biológico propiciado por el terreno natural, se pueden esperar decenas de años en la vida útil de los mismos en un ambiente normal. Pero en medios donde se encuentran combustibles como el diesel, ácidos altamente concentrados o las aguas alcalinas pueden tener un envejecimiento prematuro. En algunos casos el geotextil estará permanentemente expuesto a la luz, por lo que debe protegerse.

### Aplicaciones de los geotextiles.

En la practica un geotextil puede tener una o varias aplicaciones:

1. **Dren.** La tela geotextil se coloca en un suelo de baja permeabilidad, a través del cual fluye lentamente el agua; la función del geotextil será la de captar el agua y trasladarla al exterior.
2. **Membrana impermeable.** La tela geotextil se impregna de un material aislante, en este caso a diferencia de los demás se tiene un geotextil modificado. El material aislante puede ser el asfalto o el plástico su función, es detener los líquidos y gases.
3. **Subdrenes de zanjas.** La tela geotextil forma parte del subdren y a manera de envoltura sirve para que capte y pase el agua a través de él, pero no permite que pase el suelo fino.
4. **Filtro.** La tela geotextil es colocada con el objeto de detener las partículas sólidas que contiene un fluido viscoso, dejando pasar el agua.
5. **Soporte o apoyo.** La tela geotextil se coloca entre la membrana impermeable y un material agrietado con el fin de prevenir que se reviente la membrana.
6. **Separador de materiales.** La tela geotextil se coloca entre dos materiales que tienden a mezclarse e incrustarse, entre otras cosas por los esfuerzos producidos por las cargas aplicadas o por peso propio, su función es la de mantener separados estos materiales o suelos y minimizar la incrustación.
7. **Superficie de rodamiento.** El geotextil se coloca sobre el terreno natural para suministrar una superficie de rodamiento plana segura y limpia para el tránsito.
8. **Malla de contención.** La tela se coloca sobre un talud de una masa de roca y/o suelo, con el fin de prevenir caídos.
9. **Membrana.** La tela geotextil se coloca entre dos materiales que tienen diferentes resistencias, su función es la de retener los esfuerzos que le produzca en la capa de mayor resistencia.
10. **Anclaje.** La tela une a dos masas de suelo y roca las cuales tienden a moverse.
11. **Fijadora.** La tela geotextil se coloca sobre un suelo cuyas partículas tienen tendencia a moverse.
12. **Refuerzo.** La tela geotextil se coloca en un suelo que no es capaz de tomar los esfuerzos de tensión, su función es absorber dichos esfuerzos.

13. **Refuerzo para evitar agrietamientos superficiales.** El geotextil se colocará entre dos capas que tienen tendencia a reflejar las grietas, su función será evitar que se transmita el agrietamiento de la capa inferior a la superior.
14. **Amortiguador.** La tela se coloca sobre una masa de suelo sometida a impactos y vibraciones, su función es reducir la intensidad de los impactos y vibraciones transmitidas a la masa de suelo.
15. **Ligadura.** La tela geotextil se coloca entre dos materiales que no deben tener movimientos, su función será incrementar su resistencia (adherencia y fricción), entre esos materiales.
16. **Lubricante.** La tela geotextil se coloca entre dos materiales los que se deben desplazar entre sí, su función es reducir su resistencia en la superficie de contacto (adherencia y fricción).

Los suelos y agregados, incluyendo la utilización de productos cementantes, estabilizadores y modificadores, se utilizan para construir los siguientes elementos:

- Capas de agregados granulares como subbase, bases, capa subrasante.
- Materiales granulares estabilizados o tratados, como suelos estabilizados con cemento, cal o productos asfálticos, mezclados en el sitio o en planta, grava-cemento, grava-emulsión, etc.
- Tratamientos superficiales y riegos asfálticos, que comprenden los riegos de impregnación liga y sellado las lechadas asfálticas, morteros, asfálticos, carpetas delgadas de granulometría abierta, etc.
- Mezclas asfálticas, como mezclas en caliente o en frío, mezclas cerradas o abiertas, etc.
- Concretos hidráulicos vibrados para pavimentos rígidos, concretos pobres para bases, concreto compactados con rodillo, etc.

Los materiales son determinantes para la selección de la estructura del pavimento en la forma más adecuada técnica y económicamente. Por una parte, se consideran los agregados disponibles en los bancos de materiales de la zona. Además de la calidad requerida, en la que incluye la deseada homogeneidad, deben verificarse las cantidades disponibles, el suministro y su precio, condicionando en gran medida por la distancia de transporte. Por otro lado, se consideran los materiales básicos de mayor costo, como cementantes, estabilizadores y modificadores, así como la experiencia y habilidad en su manejo y uso.

## 2.5 DRENAJE Y SUBDRENAJE.

El agua es uno de los factores que más contribuyen en el deterioro de los pavimentos, debido a lo cual deberá concederse importancia al rápido desalojo del agua, evitando su concentración tanto en

la superficie como en alguna de las capas que constituyen el pavimento, lo cual propiciará la pérdida de valor de soporte tanto de la capa de subbase, la subrasante, así como el terreno de cimentación .

Junto con el proyecto y dentro del desarrollo del mismo existen una serie de obras complementarias que son necesarias para mejor operación y funcionamiento de la vialidad. El drenaje pluvial es una de las obras que tiene un papel importante y por lo tanto se tiene que llevar a cabo dentro del proceso constructivo de la vialidad, dando el tiempo necesario en el programa de obra a los trabajos de drenaje pluvial, como son los pozos de visita, coladeras pluviales, boca de tormentas, registros, hincado de tubería, etc.

Para obtener un mejor comportamiento del pavimento, el proyectista debe reconocer que existen varias formas en que el agua puede entrar a la estructura del pavimento y a la capa subrasante, como grietas, baches, por las juntas, jardineras, camellones, fugas en los sistemas de drenaje y agua potable, ascensión capilar, posición del nivel freático, etc.

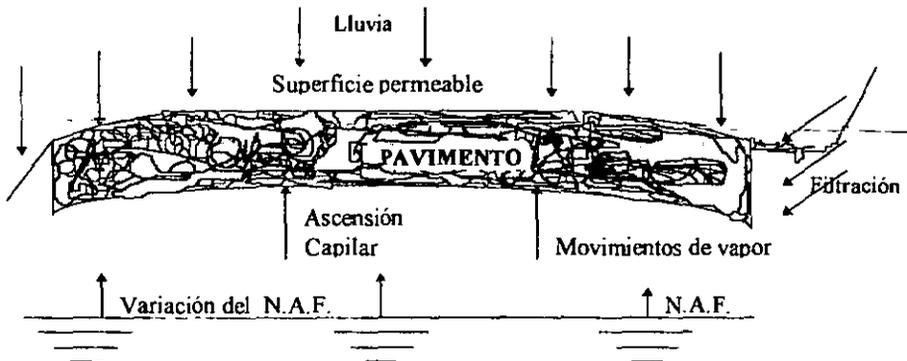


Figura 2.9 Formas en que el agua puede entrar a la estructura del pavimento

El agua afecta a los materiales del pavimento en varias formas, modificando o alterando algunas de sus propiedades:

TABLA 2.10

1. Erosión.	8. Grado de compactación.
2. Tubificación.	9. Esfuerzos adicionales sobre estructuras.
3. Fuerzas de Filtración.	10. Adherencia entre agregados y asfalto.
4. Disolución.	11. Reducción de la resistencia al esfuerzo cortante.
5. Acuaplaneo.	12. Variaciones volumétricas: Expansión - Contracción.
6. Derrapamiento.	13. Envejecimiento de los asfaltos.
7. Cohesión.	14. Corrosión

Se debe por lo tanto tomar las medidas pertinentes para proponer sistemas de drenaje y subdrenaje que actúen con efectividad.

El subdrenaje es un factor de la sección estructural que cuando se construye no se ve, pero su inexistencia es apreciable en el pavimento por los efectos que causa. Este intercepta las aguas infiltradas en el terreno natural donde se aloja la vialidad, canalizándolas hacia el sistema de drenaje o hacia lugares donde no afecte a la estructura del camino y evitando que lleguen al material de apoyo del pavimento o a la capas que lo constituyen, conservándoles una humedad uniforme.

Estos son algunos de los métodos de solución de drenaje y subdrenaje, así como en donde es conveniente utilizarlos:

TABLA 2.11

Drenaje Superficial	
Cortes	Cunetas, Contracunetas.
Terraplenes	Alcantarillas, Lavaderos, Bordillos.
Áreas de estacionamiento y calles	Drenes, Atarjeas.

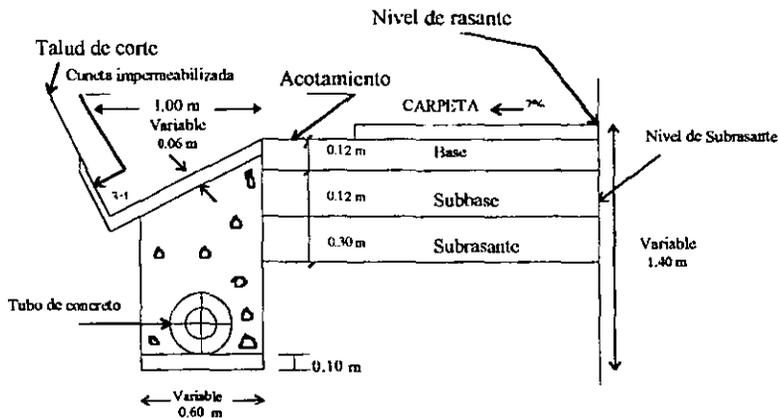


Figura 2.10 Detalle de la Sección Transversal del Drenaje

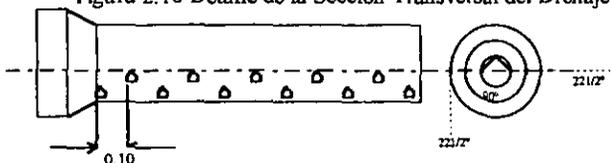


TABLA 2.12

Métodos de Subdrenaje y Aplicaciones			
Método	Terraplén	Corte	Pavimento
Remoción de material y construcción de capa permeable.	⊗		
Trincheras estabilizadoras.	⊗		
Subdren transversal de penetración.	⊗	⊗	
Pozos de alivio.	⊗		
Subdrenes y capas permeables.		⊗	⊗

El drenaje es diseñado de acuerdo a las condiciones que regirán la vialidad una vez que sea concluida.

Para el diseño del drenaje se pueden utilizar ciertos métodos que ayudaran al calculo del gasto pluvial, donde se toman en cuenta:

1. Coeficientes de escurrimientos de la zona escogida.
2. Una intensidad de lluvia que se obtiene de acuerdo a las estadísticas recopiladas durante una serie de años para cada zona.
3. Y finalmente lo que va variando durante toda la longitud del proyecto es el área tributaria que solo considera la cantidad de lluvia que va a escurrir en la vialidad durante una avenida, donde se debe de conocer el uso actual y futuro del suelo, las características de la superficie y la topografía del terreno, que dictaran el sentido del escurrimiento, así como los niveles de proyecto que quedaran una vez que se termine con los trabajos de pavimentación.

Entre los métodos a mencionar para calcular el gasto pluvial están:

- Método Racional Americano.
- Métodos Empíricos.
- Método Gráfico Alemán.

Otros de los parámetros a tomar en cuenta en el diseño del drenaje son los datos y consideraciones para la elaboración del proyecto, los cuales pueden ser: la población de la zona circundante a la vialidad, descargas como son los gastos, pendientes, velocidades de escurrimiento, diámetros de tubería, profundidades de instalación, anchos de zanjas para su colocación, plantillas o camas para la tubería, tipos de tubería, conexiones y estructuras complementarias para el alcantarillado, etc. Todos estos datos pueden verificarse más a detalle en las Normas de Proyecto para Obras de Alcantarillado Sanitario en Localidades Urbanas de la República Mexicana, editadas por la Facultad de Ingeniería.

Con relación al drenaje superficial, se deberán tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La pendiente transversal del pavimento deberá ser por lo menos del 1 %.
- No se deberán admitir depresiones en la superficie que pudieran provocar estancamientos de agua.
- El texturizado debe facilitar la expulsión rápida del agua transversalmente.
- No deberán existir obstáculos que faciliten el encharcamiento del agua en las bocas de tormenta o rejillas.
- Las juntas en el pavimento deberán tratarse adecuadamente. De igual manera no deberán permitirse agrietamientos en el pavimento que facilitaran la filtración de agua a las capas inferiores.

Así mismo deberá tenerse en cuenta que la textura superficial determina la rapidez con que el agua puede escapar entre la llanta y el pavimento y también la rapidez con que escurre por la superficie durante la lluvia. El agua en el pavimento puede ocasionar una pérdida de contacto entre la llanta y la superficie, dando origen a la pérdida del control de la dirección del vehículo y a su deslizamiento, fenómeno que se le conoce como hidropneumático o acuapneumático y generalmente ocurre cuando se conduce un vehículo bajo la lluvia a gran velocidad y se forma una lámina de agua sobre la superficie de rodamiento que alcanza un nivel crítico en función de la velocidad del vehículo.

Con el fin de minimizar o evitar la ocurrencia de este fenómeno, a los pavimentos debe proporcionarse una textura superficial, que debe ser compatible con el medio ambiente, velocidad de circulación, intensidad de tránsito, topografía y características geométricas de vialidad.

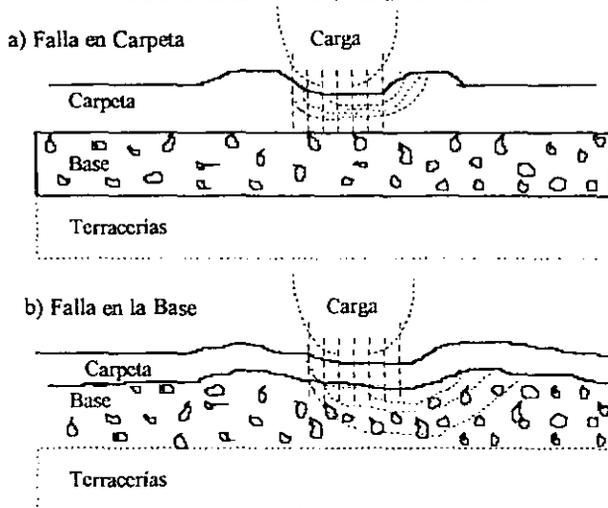
## 2.6 ANÁLISIS TEÓRICO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN RELACIÓN CON LA DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN LOS PAVIMENTOS URBANOS.

De acuerdo con la concepción actual de los pavimentos, pueden definirse como un sistema que funciona obedeciendo determinadas leyes físicas, reaccionando en forma de respuesta cuando es activado por funciones de excitación. Las leyes físicas consideradas indicarán la forma en que se relacionen los esfuerzos, deformaciones, tiempo y temperatura.

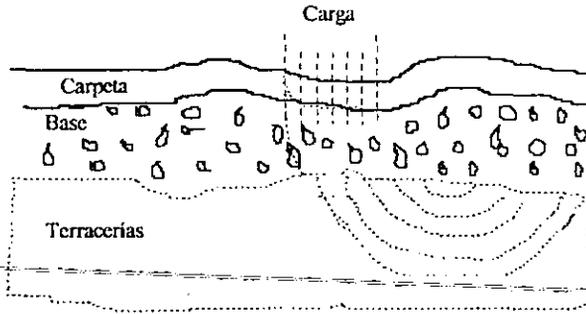
La primera condición que debe de cumplir el pavimento es que al actuar sobre el sistema las funciones de excitación, como las cargas aplicadas por los vehículos, por ejemplo, el sistema genera respuestas mecánicas inmediatas, derivadas de las leyes físicas involucradas y que se identifican como estados de esfuerzos de deformaciones unitarias y de deflexiones ( $\sigma, \epsilon, \delta$ ), a los cuales están asociados determinados efectos, conocidos como deterioros, que son funciones del tiempo y que se caracterizan por ser acumulativos, progresivos, permanentes e interactuantes, identificados como agrietamientos, deformaciones, desintegración y reducción de la resistencia al derrapamiento, además del fenómeno de bombeo y escalonamiento entre juntas, en el caso de pavimentos rígidos.

La presencia repetida de los estados de respuesta tiene un efecto progresivo en los deterioros, produciéndose la degradación gradual del pavimento, hasta alcanzar determinados valores críticos, límite o terminales, que constituyen un estado de falla del pavimento, momento en el cual se considera que el pavimento ya no es capaz de cumplir su función y ha llegado al final de su vida útil.

FIGURA 2.11 TIPOS DE FALLA



## c) Falla general en el terreno de cimentación

**Análisis de la resistencia estructural en los pavimentos.**

Los esfuerzos que las cargas u otras causas producen en los pavimentos se analizan en dos casos diferentes: los que se refieren a pavimentos flexibles y a los rígidos.

**a) Esfuerzos en pavimentos flexibles.**

Se estudian únicamente los esfuerzos debidos a las cargas del tránsito, los cuales producen esfuerzos normales y cortantes en todo punto de la estructura. La metodología teórica para el análisis de resistencia de los pavimentos es proporcionada por la Mecánica de Suelos.

Las teorías de capacidad de carga de la mecánica de suelos suelen referirse a medios homogéneos e isotrópicos; la heterogeneidad de la estructura de los pavimentos flexibles, así como su anisotropía, producen así una primera incertidumbre en el planteamiento teórico de resistencia.

Además de los esfuerzos cortantes actúan en los pavimentos esfuerzos adicionales producidos por la aceleración y frenaje de los vehículos y esfuerzos de tensión que se desarrollan en los niveles superiores de la estructura, a cierta distancia del área cargada, cuando ésta se deforma verticalmente hacia abajo. De hecho, el problema de la resistencia se plantea en general en relación con la estructura de los materiales del pavimento.

El pavimento como sistema está caracterizado por propiedades, espesores y disposición de los materiales, estos se deben de seleccionar de manera que ofrezcan una adecuada resistencia al esfuerzo cortante, el cual puede ser ocasionado por tránsito de vehículos, así como también se debe prever el que sufran los menores cambios volumétricos y/o deformaciones por influencia del clima bajo la acción del intemperismo, por los contenidos naturales de agua debido a la variación del nivel de agua freáticas o bajo la acción del medio ambiente como la lluvia.

En cuanto a la disposición de materiales debe de tomarse en cuenta que el Distrito Federal esta dividido en tres zonas con las siguientes características generales:

Zona I. Lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que puede existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta zona, es frecuente la presencia de oquedades de rocas, cavernas y túneles excavados en suelos para explorar minas de arena. En

general está zona presenta buenas condiciones para la cimentación de estructuras y la capacidad de carga del terreno es alta.

Zona II. Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m. de profundidad, o menos, y que está constituida predominantemente por estratos arenosos y limo-arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros. Esta zona presenta problemas críticos de capacidad de carga y asentamientos diferenciales.

Zona III. Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresible, separados por capas arenosas de consistencia firme a muy dura y de espesores variables de centímetros a varios metros, con contenido diverso de limo o arcilla. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m. La capacidad de carga de esta zona es variable, debido a que anteriormente se han inducido cargas en el lugar generando preconsolidación del suelo, y además hay sitios de la ciudad pertenecientes a esta zona, los cuales nunca fueron cargados presentando baja capacidad de carga en sus estratos.

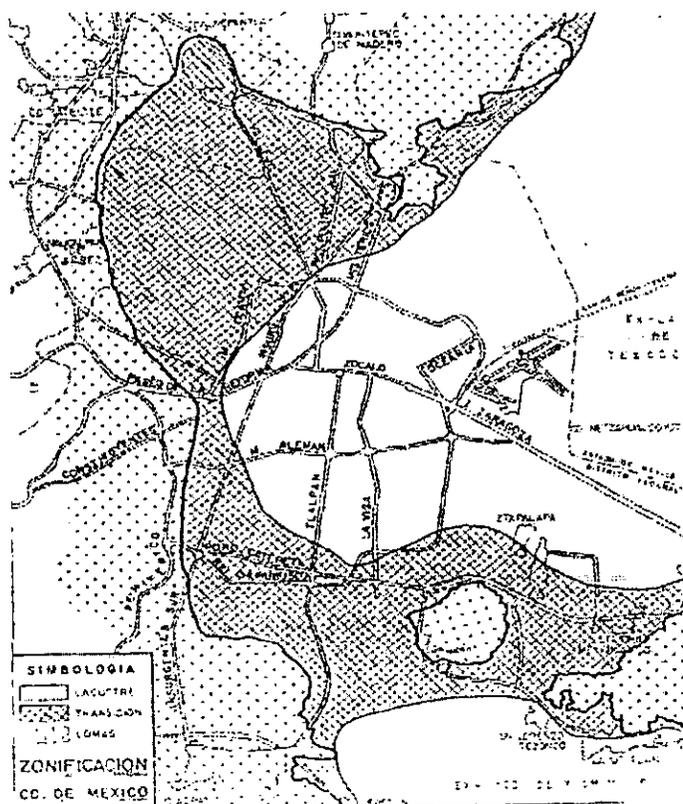


Figura 2.12 Zonificación del Distrito Federal.

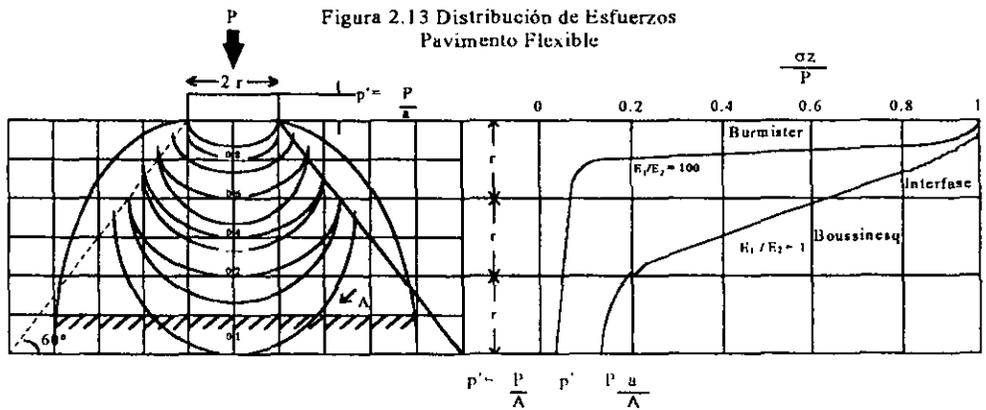
Tomando en cuenta la zonificación antes mencionada, esta influye en el proyecto de pavimentos, donde se deben realizar estudios de mecánica de suelos, los cuales analizan tanto las

propiedades índice y las mecánicas, que constan de varias etapas las cuales van desde programas de exploración y muestreo, análisis de resultados de los mismos, una vez que son realizadas las correspondientes pruebas de laboratorio y finalmente ya que se conocen las características principales del subsuelo se podrá diseñar la estructura del pavimento para lo que es la vialidad, así como el tipo de cimentación para lo que son los puentes tanto peatonales como vehiculares en el caso de que estén contemplados dentro del proyecto.

Por todo lo anterior se debe de cuidar y tener una mayor exigencia en la calidad de los materiales, de sus tratamientos, de su protección contra el agua y al rechazo de un mayor número de materiales que los que hoy se consideran inadecuados para su uso en cada una de las capas que forman la estructura del pavimento desde las terracerías hasta la carpeta asfáltica.

Otro factor que influye en la resistencia de los materiales es el tipo de cargas que se aplica y la velocidad con que ello se hace. Los pavimentos están sujetos a cargas móviles y los efectos de estas son diferentes que los de las cargas estáticas. Esto se a tratado de resolver en los análisis teóricos hechos por Boussinesq y Burmister, admitiendo que las cargas actuantes son de tipo estático. En las pruebas de laboratorio y en los métodos de diseño en ellas fundados, la situación es un poco más realista, pues si bien las pruebas se realizan con cargas estáticas o con velocidades de aplicación muy lentas, su correlación para la obtención de normas de criterio se hace con el comportamiento real de los pavimentos bajo cargas móviles.

Ambas teorías tanto Boussinesq como Burmister plantean la condición de un área circular uniformemente cargada, representando el contacto entre la llanta y la superficie de rodaje, con la única diferencia de que Boussinesq plantea un medio semiinfinito, homogéneo, isótropo y linealmente elástico, Burmister estudia el problema de la distribución de cargas en un sistema no homogéneo, formado por dos capas, cada una de ellas homogénea e isótropa y linealmente elástica. La primer capa es infinita horizontalmente, pero tiene un espesor finito igual al radio del círculo de carga. La segunda capa, subyacente a la anterior, es semiinfinita. Se supone que entre las dos capas existe un contacto continuo, siendo la frontera plana entre ellas perfectamente rugosa. La aplicación de esfuerzos verticales dan como resultado una serie de curvas referentes a la relación de módulos de elasticidad  $E_1/E_2$  de los materiales, dados por medio de pruebas de placa. Todo esto ayudara al calculo de los desplazamientos verticales bajo el centro de cualquier área circular cargada aplicada en la superficie del sistema de dos capas.



Los cálculos con ambas teorías han permitido obtener resultados en lo que se refiere a la transmisión de esfuerzos verticales en el interior del pavimento. Si dos llantas, con la misma presión de inflado transmiten cargas diferentes, la de mayor carga transmite esfuerzos mayores a lo largo de la profundidad y su efecto se deja sentir mucho más abajo.

Dos llantas con la misma carga, pero con diferente presión de inflado transmiten esfuerzos muy distintos en zonas próximas a la superficie de rodaje, pero los efectos tienden a igualarse a mayor profundidad tanto más rápidamente cuanto menor sea la carga.

El esfuerzo transmitido por cualquier llanta en zonas muy próximas al apoyo de la misma se considera siempre igual a la presión de inflado, despreciando los efectos de la deformación y redistribución de esfuerzos de la propia llanta. Otro hecho revelado por las aplicaciones de las teorías es que el efecto de una sola llanta de una cierta carga es prácticamente el mismo, en lo que se refiere a esfuerzos verticales transmitidos que el arreglo de doble llanta, cada una de las cuales soporte la misma carga que la rueda simple.

Es importante mencionar la posibilidad de que un pavimento flexible ceda lateralmente en torno a la llanta, provocando el hundimiento de ésta asociado con una elevación de los materiales a sus lados.

El hecho de que las cargas actuantes o móviles sean representativas afecta a la larga a la resistencia de las capas de pavimento de relativa rigidez, por lo que en el caso de los pavimentos flexibles este efecto se presenta sobre todo en las carpetas y las bases estabilizadoras, donde pueden ocurrir fenómenos de fatiga. En suelos con resiliencia potencial, la repetición de las cargas puede llegar a provocar el colapso, fenómeno que no ha sido posible introducir en el diseño mediante una medición con pruebas de laboratorio o de campo suficientemente confiables. Además, la repetición de las cargas es causa de una rotura de granos en partículas granulares, lo que modifica la resistencia de la capa en forma difícilmente cuantificables. La repetición produce también la interpenetración de partículas granulares en las capas de suelo más fino.

La resistencia de los materiales que forman los pavimentos interesa desde dos puntos de vista:

1. En cuanto a la capacidad de carga que pueden desarrollar las capas constituyentes del pavimento para soportar adecuadamente las cargas del tránsito.
2. En cuanto a la capacidad de carga de la capa subrasante, que constituye el nexo de unión de entre el pavimento y la terracería, para soportar los esfuerzos transmitidos y transmitir, a su vez, esfuerzos a la terracería a niveles convenientes.

Llenar muy satisfactoriamente los requisitos de capacidad de carga para una cierta capa es hasta cierto punto independiente de su propio espesor, pues este es más bien necesario desde el punto de vista de la transmisión de esfuerzos a capas inferiores; una capa delgada puede soportar en sí misma las cargas impuestas, pero transmitirá altos esfuerzos a las inferiores, en tanto que una capa gruesa, cuya resistencia individual mejora poco con el aumento del espesor, se distinguirá por transmitir esfuerzos de menor nivel a las capas subyacentes, por lo que en este caso a la capacidad de transmitir bajos esfuerzos depende más bien de la resistencia intrínseca de la capa y no de su espesor.

b) Esfuerzos en pavimentos rígidos.

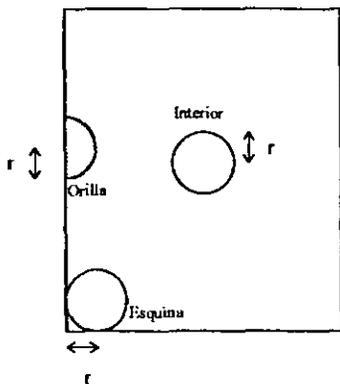
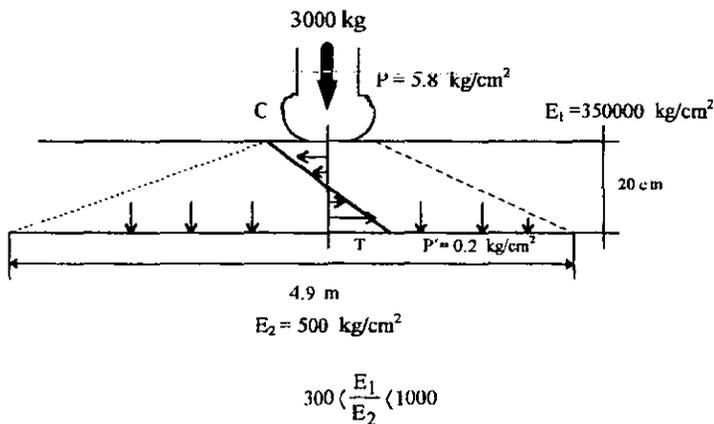
Los esfuerzos se analizan en la losa de concreto y provienen de varios efectos:

1) Por efecto de las cargas.

Donde la losa de concreto esta sujeta a esfuerzos de compresión y de tensión producidos en la flexión de la losa. Dentro de esto se pueden estudiar tres condiciones de carga: en esquina, en el borde y en el centro de la losa.

Para la carga en esquina, la tensión máxima se produce en el plano bisector y en el lecho superior de la losa. La carga en el borde produce la tensión máxima en el lecho inferior y en la dirección paralela al borde de la losa. Cuando la carga obra en el centro, el esfuerzo máximo actúa en el lecho inferior y es, teóricamente el mismo en cualquier dirección.

FIGURA 2.14 DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS PAVIMENTO RIGIDO



Las tres posiciones de las cargas en una losa de concreto

## 2) Esfuerzos por temperatura.

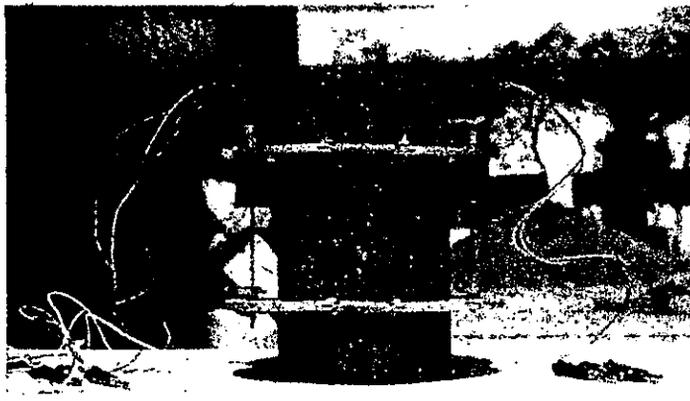
Estos pueden llegar a ser más significativos en la losa que los debidos a las cargas. Son principalmente de dos tipos:

- a) Por alabeo, que se producen cuando el lecho de la losa y el otro están a temperatura diferente, estableciéndose por ende flujo de calor transversalmente a la losa.
- b) Por restricción impuesta por el suelo de apoyo cuando la losa, calentada o enfriada uniformemente, trata de expandirse o contraerse.

Además existen otros esfuerzos posibles en la losa de concreto, tales como los de fraguado inicial, los causados por cambios de humedad en el concreto o los de infiltración, debidos al acuñamiento de agregados y materias extrañas en las grietas que pueden formarse en la losa, siendo esfuerzos de pequeña magnitud y no suelen tomarse en cuenta en los análisis. También debe de observarse las variaciones volumétricas en el suelo soporte pudiendo inducir esfuerzos considerables en la losa de concreto, los cuales deben de evitarse.

### Análisis de la deformabilidad estructural de los pavimentos.

En algunos aspectos importantes el problema de la deformabilidad de los pavimentos tiene un planteamiento opuesto al de la resistencia. Con respecto a la deformación, dada la naturaleza de los materiales que forman las capas del pavimento, la deformabilidad suele crecer mucho más hacia abajo y la terracería es mucho más deformable que el pavimento propiamente dicho y dentro de éste, la subrasante, capa inferior, es mucho más deformable que las capas superiores. Desde éste punto de vista la deformabilidad interesa sobre todo a niveles relativamente fácil que las capas superiores tengan niveles de deformación tolerables aun para los altos esfuerzos que en ellas actúan.



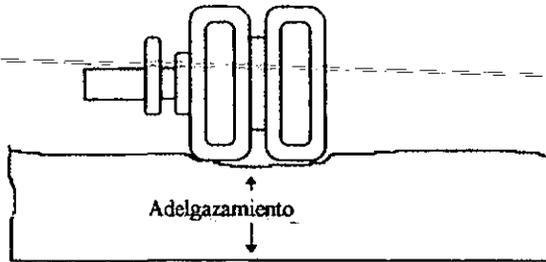
Espécimen instrumentado para medir las deformaciones unitarias elásticas, en pruebas de compresión bajo carga dinámica repetida, para obtener el módulo de rigidez de la muestra.

En los pavimentos las deformaciones interesan, desde dos puntos de vista. Por un lado, porque las deformaciones excesivas están asociadas a estados de falla y, por otro, porque es sabido que un

pavimento deformado puede dejar de cumplir sus funciones, independientemente de que las deformaciones no hayan conducido a un colapso estructural propiamente dicho.

Las cargas de tránsito producen en el pavimento deformaciones de varias clases. Las elásticas son de recuperación instantánea y suelen denominarse plásticas dentro de la tecnología, a aquellas que permanecen en el pavimento después de cesar la causa deformadora. bajo carga móvil y repetida, la deformación plástica tiende a hacerse acumulativa y puede llegar a alcanzar valores inadmisibles. Paradójicamente, este proceso suele ir acompañado de una "densificación" de los materiales, de manera que el pavimento "Fallado" puede ser más resistente que el original.

#### a) DENSIFICACIÓN



#### b) DEFORMACIÓN PLÁSTICA

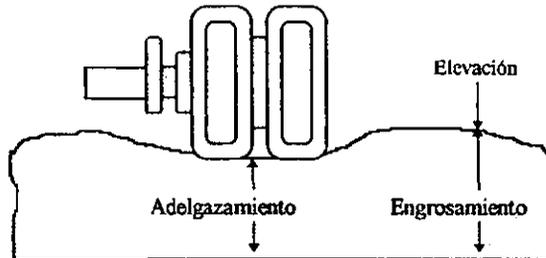


Figura 2.15 Deformaciones del pavimento ocasionadas por tránsito

La deformación elástica repetida preocupa sobre todo en los materiales con resistencia a la tensión, colocados en la parte superior de la estructura, en los que puede llegar a generar falla por fatiga si el momento de la deformación es importante y los materiales son susceptibles. Los materiales que acusan fuertes deformaciones elásticas bajo carga, los más peligrosos a este respecto, son muchas veces de origen volcánico.

Otro problema importante radica en medir la deformación que el pavimento va a sufrir realmente bajo la carga.

Este problema debe considerarse en dos fases:

- I. La estimación de las deformaciones elásticas, que es posible hacer con razonable precisión una vez conocidos los materiales que construirán el pavimento, obteniendo su módulo de deformación por medio de alguna de las diversas pruebas de campo que hoy existen y que pueden realizarse sobre terraplenes de pruebas en las condiciones consideradas críticas. Estas mediciones se realizan en pavimentos construidos, tratando de obtener correlaciones para proyecto entre las deformaciones

elásticas y de clima, tránsito la naturaleza de los materiales. Tampoco faltan intentos de medir el módulo de deformación en el laboratorio (por ejemplo, prueba triaxial de Kansas), tropezando con inconvenientes de tener que realizar un experimento poco representativo, pues es difícil reproducir en el laboratorio las condiciones críticas del campo y superar los problemas de escala. Una vez conocido el módulo de deformación de las diferentes capas, la deformación elástica puede calcularse con base en alguna de las teorías antes mencionadas.

- La base del problema de medición de deformaciones se refiere a las plásticas, efecto acumulativo de la carga repetida. Este aspecto se ha atacado con criterios puramente empíricos, cuyo aprovechamiento por los métodos de diseño requiere de extrapolaciones experimentales; por ejemplo, la diversidad de las cargas se refiere a una carga única, llamada estándar, resultado de estudios estadísticos en tramos experimentales o en carreteras, sometidos a las acción de tránsito real o clasificado. Se intenta que la carga estándar tome en cuenta el efecto de la repetición, pues al definirla se ha correlacionado su propio efecto destructivo con lo que causarían las cargas reales con sus repeticiones respectivas. Una vez fijado el tránsito "de análisis", lo que suele hacerse actualmente en todos los métodos de diseño que toman en cuenta estas cuestiones es prefijar, con base experimental, una deformación permanente máxima y el pavimento se diseña de manera que ésta se presente únicamente al fin de la vida útil prevista.

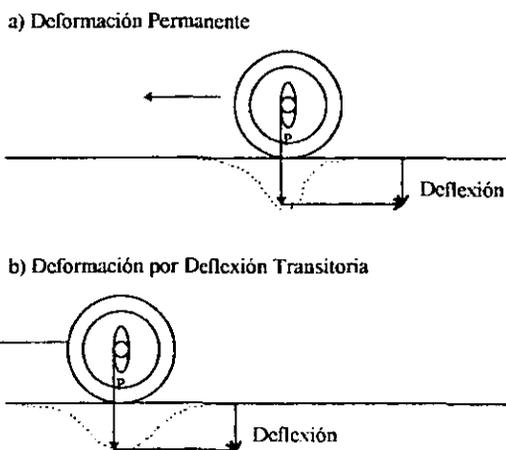


Figura 2.16 Deformaciones Plásticas

Existen dos criterios para fijar la deformación máxima permisible; o bien se habla de la que produce la falla del camino, entendiendo por ésta la condición en la que el pavimento llega a perder las características de servicio para las que fue diseñado (Criterio AASHO o de índice de servicio) o bien se toma en cuenta la deformación que obligue a una reconstrucción de determinada importancia económica (criterio británico).

## 2.7 FACTORES ECONÓMICOS.

Dentro de un estudio de factibilidad se encuentra el "Análisis Económico" que es útil para saber de donde se va a obtener el presupuesto con el que se va a pagar el proyecto en todas sus etapas. En este análisis determinan el origen de los recursos para que la dependencia encargada de la obra pueda asignarlos de acuerdo a un programa de obra.

En el programa se incluyen todos los conceptos y trabajos que intervienen durante la construcción del proyecto además de otros como son: obras inducidas, afectaciones, conceptos extraordinarios e imprevistos.

El análisis es primordial ya que de él depende que exista flujo de dinero para el pago de estimaciones, que se hacen de común acuerdo entre la dependencia y el contratista de la obra ejecutada en un periodo de 15 días aproximadamente, considerando los precios unitarios de los conceptos y el número de unidades ejecutadas, el cual servirá de base para hacer los pagos parciales correspondientes.

De igual manera el análisis considera la inflación en el mercado, la pérdida de poder adquisitivo y la oportunidad de que la dependencia pueda financiar el dinero a lo largo de la obra en proceso y hasta su culminación.

Una vez alcanzada esta etapa de análisis ha sido seleccionada la alternativa de solución a desarrollar y principalmente se ha comprobado que será una adecuada solución de beneficio social y económico, además de rentable.

Con base en el programa de actividades y de trabajo para el desarrollo de las obras se realizará el programa de erogaciones, lo cual es convertir la duración de las diferentes actividades en tiempo de asignación de recursos monetarios. El programa de erogaciones permitirá conocer el flujo de dinero que se deberá mantener durante el desarrollo de la obra, así mismo permitirá la adecuada planeación de los recursos financieros.

Es importante destacar que la adecuada planeación financiera a través del análisis económico permite maximizar los rendimientos financieros al conocer el flujo de efectivo a utilizar.

Una vez que se establece que se puede hacer frente al desarrollo de la obra en el aspecto financiero y se cuenta con la documentación del proyecto ejecutivo, se inicia la planeación del comienzo de las actividades.

En la planeación, diseño, construcción y administración de un pavimento, se deben tomar en cuenta los siguientes costos:

- ⊕ Costos de conservación.
- ⊕ Costos de operación.
- ⊕ Costos de accidentes.

No se debe de pensar que dada una limitación de los recursos financieros, se deben abatir los costos de construcción o inversión inicial sacrificando la calidad de los materiales que formaran la sección estructural pues a futuro, los gastos de conservación se incrementaran más allá de lo normal, así como los gastos de operación que se produzcan en exceso por los deterioros que presente la superficie de rodamiento, propiciarán en un costo mayor de bienes y servicios que se transportarán por esa vía terrestre.

Por lo anterior para una sección estructural, se deben seleccionar los materiales que ofrezcan una adecuada resistencia al esfuerzo cortante y que sufran los menores cambios volumétricos y/o deformaciones con los cambios naturales de contenido de agua.

Se puede concluir que “ahorrar” en los materiales de construcción de las terracerías empleando materiales plásticos o de baja resistencia en aras de tener una inversión inicial pequeña es una idea errónea, pues aun para la inversión inicial los espesores de pavimento son mayores y por lo tanto se propicia un mayor costo, no garantizándose el comportamiento adecuado de la estructura, a través de su vida útil, pues un material plástico es deformable y/o tiene variaciones volumétricas como se ha comentado.

En cuanto el efecto de los costos con el cambio de las cargas máximas autorizadas, inicialmente se tiene un costo de la inversión inicial, a medida que transcurre el tiempo se tiene que considerar los costos provocados por una intervención normal y aquellos originados por reconstrucciones periódicas; pero se autoriza un incremento de las cargas y el pavimento sufre un envejecimiento prematuro, llegando al nivel de rechazo antes de lo calculado en el diseño original, produciéndose un rápido desgaste en la superficie de rodamiento, manifestándose en deterioros y/o fallas lo que obligara a realizar una fuerte inversión en el refuerzo de la estructura, o en caso de ser necesario la reconstrucción total de la sección estructural.

Si el procedimiento de refuerzo fue correcto, los costos de conservación serán reducidos, siempre y cuando no se vuelvan a incrementar las cargas, pero si el refuerzo colocado no fue el requerido y/o no se hizo con materiales de calidad adecuada, los costos de conservación seguirán incrementándose mas allá de lo normal.

## **2.8 OTROS FACTORES.**

Existen otros factores que en ocasiones afectan de manera muy importante el proyecto de un pavimento, como el entorno urbano, las dimensiones de la obra, la experiencia y equipos de las empresas constructoras, algunas medidas de política general o local, etc.

## CAPITULO III.

## ASPECTOS TEÓRICOS Y FUNDAMENTALES EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS.

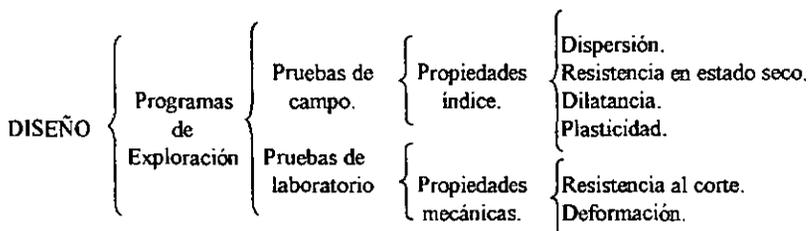
## 3.1 GENERALIDADES Y CONCEPTOS DE DISEÑO.

La estructuración del diseño de un pavimento en una obra vial en términos generales es el resultado de un análisis detallado del estudio de mecánica de suelos, en el cual intervienen de manera importante los resultados obtenidos a partir de las pruebas de laboratorio y con los resultados obtenidos en la aplicación de los programas de exploración y muestreo como pueden ser: los sondeos de pozo a cielo abierto, sondeos de penetración estándar, sondeos de cono eléctrico, instalación de estaciones piezométricas, etc.

Es así como definitivamente se establece una correlación entre el suelo y la estructura, en la que la estructura del pavimento servirá de transición entre los vehículos y el suelo.

Mediante estos estudios se obtienen perfiles estratigráficos del terreno, y características del subsuelo, estas posteriormente son utilizadas para la obtención de las propiedades índice y mecánicas, que son las que finalmente rigen el diseño de la vialidad.

Los pasos a seguir para el diseño de una cimentación se muestran a continuación:



De lo anterior podemos decir que los factores que rigen el diseño de una cimentación son:

- a) Tipo de suelo.
- b) Magnitud de las cargas que soporta.
- c) Comportamiento de las estructuras para permitir deformaciones.

De las propiedades mecánicas es de donde se obtienen los parámetros de diseño para el pavimento, no obstante de que las propiedades índice juegan un papel importante, las que rigen el diseño son las propiedades mecánicas.

Una vez que se obtienen las características más importantes del subsuelo, es necesario aplicar algún procedimiento de diseño que relacione el subsuelo con la nueva estructura de pavimento.

### 3.2 MÉTODOS DE DISEÑO.

Los métodos de diseño de pavimentos, tanto flexibles como rígidos, han sufrido transformaciones a lo largo del tiempo. Desde aquellos primeros métodos de diseño de tipo empírico de principios de siglo, basados en pruebas físicas, así como en un sistema de clasificación de suelos que se relacionen con gráficas o fórmulas para determinar los espesores de las capas de pavimento mas sin embargo no todos toman en cuenta las diferentes propiedades de los materiales que lo componen y como distribuyen las cargas o los apoyados en pruebas de resistencia empíricas, hasta la época actual, estos se han visto enriquecidos por las aportaciones de investigaciones, realizadas en tramos experimentales como el llevado a cabo bajo la dirección de la AASHO, en los USA cuyos resultados se incorporaron en 1962 a la tecnología de los pavimentos. A partir de ese momento y con la introducción de las computadoras, la utilización de instrumentos de medición, equipos de ensayo y procedimientos de análisis como el método del elemento finito, se han desarrollado métodos de diseño mas avanzados, como los denominados mecanístico-empíricos, los cuales tienen una componente teórica, basada en un modelo estructural y una componente empírica, apoyada en resultados de laboratorio y observaciones de comportamiento en el campo, con los cuales se configura un modelo de comportamiento.

Los modelos estructurales de la parte mecanicista están más avanzados que los modelos de comportamiento de la parte empírica. Los primeros están basados en una teoría mecánica, como la elasticidad, por ejemplo, mientras que los segundos son producto de ecuaciones de regresión que pueden dar lugar a dispersiones importantes, por lo que requieren de cuidadosas calibraciones y revisiones para asegurar una concordancia satisfactoria entre la predicción y la realidad, para el desarrollo confiable del método. Los modelos así desarrollados permiten evaluar la variación de los espesores de las capas, de las cargas aplicadas, de la introducción de nuevos materiales, la influencia del medio ambiente, aplicación de medidas de rehabilitación, la predicción del comportamiento de pavimento a través del tiempo, así como su vida remanente, permitiendo obtener un mayor nivel de confianza en el diseño, etc.

En virtud de que no se ha llegado a desarrollar un método científico para el diseño de pavimentos flexibles como ya se ha mencionado, los métodos de diseño normalmente empleados son empíricos y están basados en gran parte en la observación cuidadosa de experiencias y fallas complementados a su vez por las informaciones de pruebas realizadas en caminos y tramos experimentales en los que se usan diversas combinaciones de materiales y espesores de pavimento.

La condición primordial que debe de cumplir un pavimento bien diseñado es que las cargas inducidas por el tránsito, transmitidas de una capa a otras y a la subrasante, sean tales que produzcan durante la vida útil una deformación que se encuentre dentro de los límites aceptables.

A continuación se mencionan algunos métodos para el diseño de pavimentos:

- ⊗ Método de Kansas.
- ⊗ Método de Texas.
- ⊗ Método del estabilómetro de Hveem.
- ⊗ Método del valor relativo de soporte (C.B.R.).

- ⊕ Método AASHTO.
- ⊕ Método del Ing. Rodrigo Padrón Llaca (Porter Modificado).
- ⊕ Método del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M.

Se describirán brevemente los pasos a seguir para la aplicación de los cuatro últimos métodos, siendo que en la actualidad son los que más se utilizan y se toman en cuenta para el diseño de los pavimentos, estos contemplan conceptos y teorías de los métodos antes mencionados.

### Método del Valor Relativo de Soporte (C.B.R.).

Tuvo su origen en California y esta basado en la capacidad de sustentación o valor relativo de soporte del terreno o subrasante (determinado mediante una prueba de penetración), que se relaciona con el espesor necesario de la estructura de pavimento, mediante una serie de curvas de proyecto correspondientes a diferentes volúmenes de tránsito.

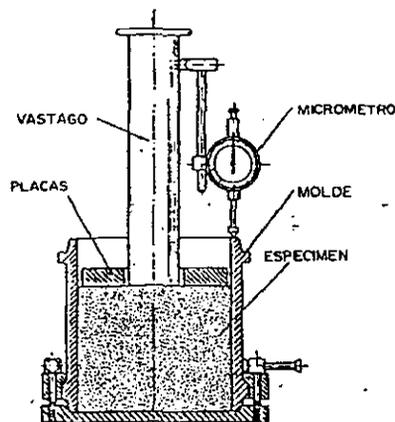


Figura 3.0 Dispositivo para determinar el VRS (Penetrometro).

Estas curvas de proyecto se basan solamente en la experiencia y por consiguiente pueden modificarse periódicamente. Existen algunas variantes en la aplicación del método, ya que algunos criterios dan curvas para obtener los espesores totales del pavimento, otros que determinan espesores de base y carpeta asfáltica, y otros más con los que se obtienen espesores de subbase y base (Instituto del Asfalto Manual Serie MS-1).

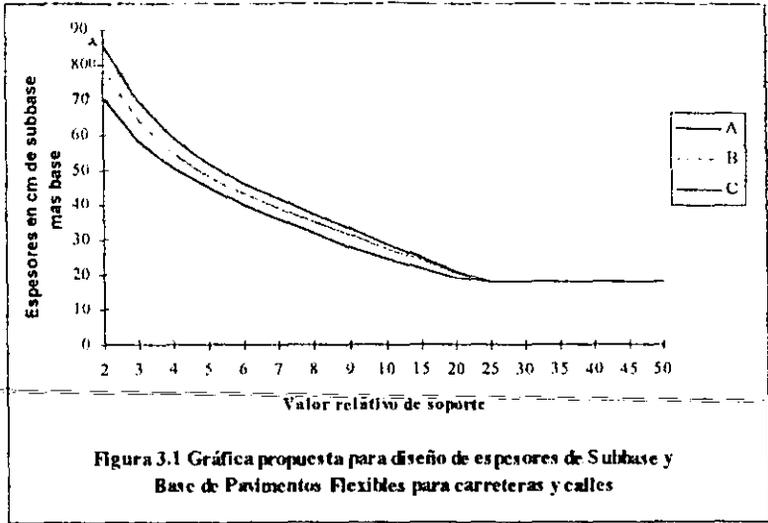


TABLA 3.0

Intensidad del tránsito inicial en un solo sentido, considerando todo tipo de vehículos	Curvas de proyecto	Espesor mínimo de base granular natural DDF (cm)	Espesor mínimo de carpeta de concreto asfáltico DDF (cm)
< de 400 veh/día	C	15	5.0
De 400 a 1500 veh/día	B	15	7.5
De 1500 a 3500	A	15	7.5

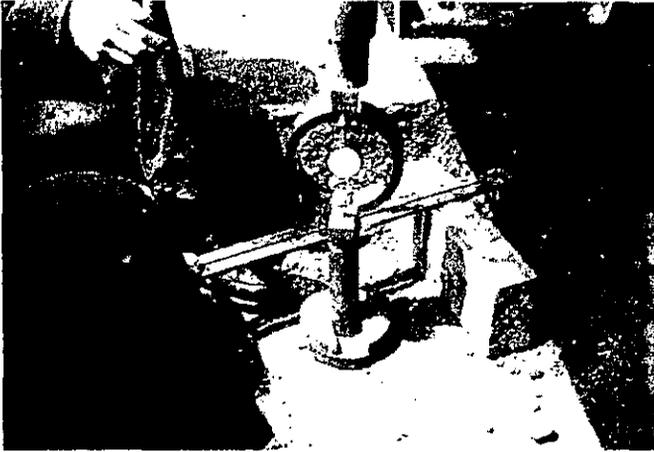


Extracción de la carpeta para efectuar los sondeos en los que se determinaron los espesores y el VRS en el lugar

Para desarrollar este método de diseño, será necesario seguir los siguientes pasos:

1. Determinar el valor relativo de soporte del terreno natural o subrasante.

Las pruebas para la determinación del soporte del terreno se harán en el laboratorio, sobre muestras remoldeadas que presenten una compactación del 90 % de su peso volumétrico seco máximo (P.V.S.M.), que es el grado mínimo especificado para terracerías y una humedad igual a la óptima mas el 3 % para prevenir condiciones de pavimento mal drenados.



Prueba de valor relativo de soporte en el lugar

2. De los valores relativos de soporte se saca un promedio y se multiplica por el 90 %, o también se puede tomar el valor más desfavorable para estar del lado de la seguridad.
3. Tipo de intensidad de tránsito.

Para la aplicación del Valor Relativo de Soporte de California, el tránsito se tomara en cuenta de la siguiente forma:

Los vehiculos de mas de 3 toneladas de peso y su intensidad diaria por carril en un solo sentido, una vez teniendo este dato, se entrara en la Figura 3.1 Gráfica de espesores de pavimento (subbase mas base), con el valor relativo de soporte obtenido y se determinara el espesor de pavimento (no se considera la carpeta asfáltica).

Considerando lo anterior, el espesor total del pavimento se podrá dividir en las siguientes capas de acuerdo con su calidad, costo y tipo de la obra vial, sin tomar en cuenta la capa de rodamiento:

- **Base Asfáltica.** Contiene agregado pétreo y asfalto, cuyo equivalente en espesor es de 1.5 veces el de una base granular. Se empleará en vías de tránsito intenso y pesado exclusivamente.
- **Base Hidráulica.** Formada por grava cementada controlada, colocada sobre la subbase.
- **Subbase.** Grava cementada situada sobre la terracería o mejoramiento.

- **Mejoramiento.** Esta capa del pavimento se emplea cuando el VRS de la subrasante es menor a 5 % y consiste de tepetate limo arenoso, situado directamente sobre el terreno natural cuyo espesor multiplicado por 0.5 sería equivalente al de la subbase.

La suma total de espesores de estas capas deberá ser igual al espesor total del pavimento obtenido en la gráfica de diseño.

**Ejemplo de diseño de espesores de pavimento por el método del VRS.**

Si se tuvieran para dos tipos de obra vial diferentes (A y B) los siguientes valores relativos de soporte, modificados al 90 % y con humedad óptima  $\pm$  el 3%: 5,6,8,9 y 10% se diseñarían los espesores de pavimento en la forma siguiente:

A) Para una Avenida de tránsito intenso, con línea de camiones, se consideraría el criterio mas estricto en la siguiente forma:

- 1) Para este caso se tomara el valor mínimo de VRS para estar dentro del lado de la seguridad o sea el 5%.
- 2) Se considera la curva A de la Fig. 3.1 Gráfica de diseño de espesores, por ser una vialidad con tránsito intenso de 1500 a 3500 vehículos al día.
- 3) Se obtendrá de la gráfica con el VRS antes mencionado, un espesor propuesto de subbase mas base de 51 cm.
- 4) Con el valor de espesor antes propuesto se distribuirán las capas de la estructura del pavimento como se indica a continuación:

TABLA 3.1

Capas	Espesor en cm	Observaciones
Carpeta asfáltica	7.5	No se considera en la suma
Base asfáltica	10.0	Substituirá a 15 cm de base hidráulica
Base hidráulica	15.0	
Subbase	25.0	
<b>Espesor total de subbase + base (equivalentes)</b>	<b>50.0</b>	<b><math>\approx</math> VRS de 51 cm obtenido</b>

- 5) Como resultado de la revisión anterior, se puede decir que la sección propuesta cumple con las especificaciones para formar la estructura de pavimento requerida.
- B) Para una calle o Privada de tránsito mínimo, se considerará el otro criterio de obtener un promedio y multiplicarlo por el 90% en la forma siguiente:
- 1) Con los valores de VRS: 5,6,8,9 y 10% se obtiene un promedio de 7.6 % que multiplicado por el 90% nos dará un total de VRS = 6.84%, redondeado a un VRS = 7.0%.
  - 2) Se considera tomar la curva C, de menos de 400 vehículos diarios por ser una calle.

- l) Entrando en la Fig. 3.1 Gráfica de diseño espesores con un VRS del 7% e intersectando con la curva C se obtendrá un espesor de subbase mas base de 37 cm.
- l) Con el valor de espesor antes propuesto se distribuirán las capas de la estructura del pavimento como se indica a continuación:

TABLA 3.2

Capas	Espesor en cm	Observaciones
Carpeta asfáltica	5.0	No se considera en la suma
Base hidráulica	15.0	
Subbase	20.0	
<b>Espesor total de subbase + base (equivalentes)</b>	<b>35.0</b>	<b>∴ ≡ VRS de 37 cm obtenido</b>

- 5) Con la revisión de la sección estructural de pavimento, se observa que los resultados obtenidos cumplen con los espesores de diseño, así como también con las especificaciones mostradas en la tabla 3.0

Al igual que todos los métodos el método del valor relativo de soporte presenta algunas fallas como son:

- No toma en cuenta las variaciones de la tasa de crecimiento del tránsito.
- La intensidad de tránsito, en el limite superior es abierto pasando de 3500 vehiculos al día en un solo sentido.

A pesar de las observaciones anteriores, se hace notar que el método de diseño de pavimentos actualmente es de los más utilizados en Estados Unidos, Inglaterra y México en virtud de que periódicamente se han realizado modificaciones en las gráficas de diseño.

Para el empleo de este método deberá contar en gran parte la experiencia y criterio para obtener diseños de pavimento adecuados.

### Método AASHTO.

Este método se clasifica dentro de los procedimientos de diseño basados en ecuaciones de regresión desarrolladas a partir de resultados de la investigación efectuada en el tramo de prueba AASHTO, a finales de la década de los 50's, se desarrollo la "AASHTO Interim Guide for the Design of Flexible Pavement Structures", publicada en 1961, en forma semejante publico para el año de 1962 la "AASHTO Interim Guide for the Design of Rigid Pavement Structures". A principios de los 70's, el organismo modifico su denominación a AASHTO y para el año de 1972 ambas publicaciones fueron actualizadas y presentadas en un solo documento, "AASHTO Interim Guide for the Design of Pavement Structures", que ha tenido modificaciones hasta el año de 1993, tales como los niveles de confianza, análisis de costos en el ciclo de vida, administración de pavimentos, capas de refuerzo de los pavimentos, así como en los valores de las constantes de regresión, con base en la teoría y la experiencia. La ecuación para pavimentos flexibles presentada en 1993 es la siguiente:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1.094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07$$

TABLA 3.3

$W_{18}$	Número admisible de ejes equivalentes de 18000 lb.
$Z_R$	Desviación normal estándar.
$S_o$	Desviación estándar integral.
SN	Número estructural del pavimento. $SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$
$\Delta PSI$	Diferencia entre los índices de servicio inicial y terminal ( $P_o - P_t$ ).
$P_o$	Índice de servicio inicial.
$P_t$	Índice de servicio terminal.
$M_R$	Modulo de resiliencia
$m_2 m_3$	Coefficientes de drenaje para las capas de base y subbase.
$a_1 a_2 a_3$	Coefficientes de capas representativos de la carpeta, base y subbase.
$D_1, D_2, D_3$	Espesores de las capas de carpeta base y subbase en pulgadas

Para facilitar la utilización de la fórmula se ha preparado un nomograma, adaptado a unidades del sistema ingles.

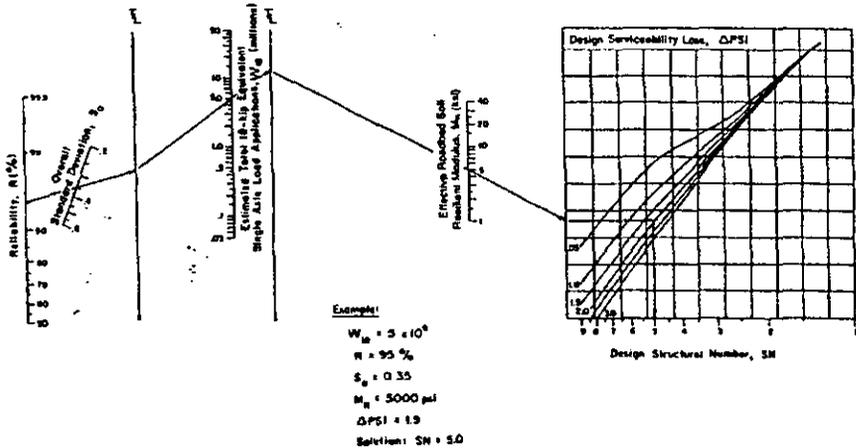


Figura 3.2 Carta de Diseño para Pavimento Flexible Nomograma AASHTO.

➤ Factores que intervienen en la ecuación, necesarios para su adecuada utilización en el proceso de diseño del espesor del pavimento.

a) **Serviciabilidad.**

Capacidad de un pavimento para cumplir con su función, proporcionando al usuario un servicio cómodo y seguro en condiciones normales de tránsito.

• **Calificación actual.**

Promedio de las calificaciones individuales para representar diferentes niveles de calidad, sobre la serviciabilidad de un tramo de pavimento de prueba que desarrolló una escala con valores de 0 a 5 los cuales son raramente alcanzados, manifestado principalmente por la rugosidad de su superficie, definiendo el concepto de Índice de Servicio Actual (PSI, Present Serviciability Index), con los niveles que se indican a continuación:

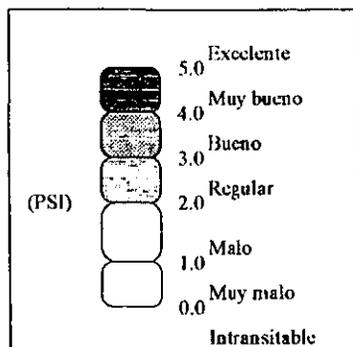


Figura 3.3 Escala del Índice de Servicio Actual (PSI)

• **Índice de Servicio.**

Estimación de la serviciabilidad de un tramo de pavimento, obtenida a partir de mediciones físicas. El índice de servicio inicial,  $P_o$ , representa la condición del pavimento inmediatamente después de su construcción o rehabilitación.

El índice de servicio terminal,  $P_t$ , corresponde al nivel de servicio en el cual el pavimento requiere de algún tipo de rehabilitación para iniciar un nuevo ciclo de vida. El valor del índice de servicio terminal está relacionado con la importancia de la carretera o elemento, mostrándose en la tabla 3.4, el proyectista podrá adaptar el que considere conveniente para un caso en particular.

Tabla 3.4 Valores terminales típicos para el índice de servicio terminal.

Pt	Clasificación
3.0	Autopistas.
2.5	Carreteras principales, arterias urbanas.
2.25	Carreteras secundarias importantes, calles comerciales e industriales.
2.0	Carreteras secundarias, calles residenciales y estacionamientos.

De acuerdo con lo anterior, el parámetro que indica la diferencia entre los índices de servicio inicial y terminal se expresa de la siguiente manera:

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

Por lo tanto es recomendable que el índice  $P_o$  alcance el mayor valor posible con el objeto de incrementar el ciclo de vida del pavimento, lo cual depende de la aplicación de correctas técnicas de construcción, control y supervisión.

Existen factores de tipo ambiental que reducen con el tiempo el valor de dicho índice de servicio, como el tipo de suelo del terreno natural, condiciones de drenaje, etc, cuyo efecto debe tomarse en cuenta para determinar el espesor de pavimento necesario para soportar el efecto combinado del tránsito y factores ambientales. A falta de mejor información y elementos para definir el valor de la reducción producida por factores ambientales,  $\Delta PSI_{SW-FH}$ , puede expresarse que tal valor se encuentre entre 0.0 y 0.7, empleándose la siguiente expresión para valorar la pérdida de índice de servicio total:

$$\Delta PSI = \Delta PSI_{TR} + \Delta PSI_{SW-FH} \text{ en donde:}$$

$\Delta PSI$  : Pérdida de índice de servicio total en el ciclo de vida considerado ( $P_o - P_t$ ).

$\Delta PSI_{TR}$  : Pérdida del índice de servicio debida al efecto del tránsito.

$\Delta PSI_{SW-FH}$  : Pérdida del índice de servicio debida a factores ambientales.

Un aspecto importante en el diseño del pavimento, es el de tratar de reducir al máximo o nulificar la pérdida de índice de servicio debida a factores ambientales.

**b) Tránsito, W-18.**

La aplicación del método AASHTO requiere la transformación a ejes sencillos de 18,000 lb. (8.2 ton) de los ejes de diferentes pesos y configuraciones (sencillos, tandem y tridem) que circularán sobre el pavimento a lo largo del ciclo de proyecto. Para ello, se han incluido una serie de tablas 3.6, 3.7 y 3.8 con los factores de conversión, los que dependen de diferentes factores, como tipo de pavimento (flexible o rígido), tipo de ejes (sencillo, tandem, tridem), magnitud de la carga en el eje, índice de servicio final.

Para determinar el número de ejes acumulados equivalentes de 18,000 lb., el proyectista debe de conocer las características del tránsito que circulará sobre el pavimento en el ciclo de proyecto, esto es, número y tipos de vehículos clasificados de acuerdo a una tipología determinada, las cargas correspondientes a cada tipo de eje, tasa de crecimiento prevista, período o ciclo de proyecto y número de carriles.

Por otro lado debe de tomarse en cuenta la distribución del tránsito transversalmente, considerando el número de carriles de la vialidad, de acuerdo con lo indicado en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Porcentaje de tránsito ( $W_{18}$ ), en el carril de diseño.

Número de carriles en cada dirección.	Porcentaje del número de ejes equivalentes en el carril de diseño.
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

**Tabla 3.6 Factores de carga de ejes equivalentes para pavimento flexible, Eje Sencillos y  $p_i$  de 2.5**

Carga de eje (kips)	Número Estructural del pavimento (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0004	0.0004	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.003	0.004	0.004	0.003	0.002	0.002
6	0.011	0.017	0.017	0.013	0.010	0.009
8	0.032	0.047	0.051	0.041	0.034	0.031
10	0.078	0.102	0.118	0.102	0.088	0.080
12	0.168	0.198	0.229	0.213	0.189	0.176
14	0.328	0.358	0.399	0.388	0.360	0.342
16	0.591	0.613	0.646	0.645	0.623	0.606
18	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
20	1.61	1.57	1.49	1.47	1.51	1.55
22	2.48	2.38	2.17	2.09	2.18	2.30
24	3.69	3.49	3.09	2.89	3.03	3.27
26	5.33	4.99	4.31	3.91	4.09	4.48
28	7.49	6.98	5.90	5.21	5.39	5.98
30	10.3	9.5	7.9	6.8	7.0	7.8
32	13.9	12.8	10.5	8.8	8.9	10.0
34	18.4	16.9	13.7	11.3	11.2	12.5
36	24.0	22.0	17.7	14.4	13.9	15.5
38	30.9	28.3	22.6	18.1	17.2	19.0
40	39.3	35.9	28.5	22.5	21.1	23.0
42	49.3	45.0	35.6	27.8	25.6	27.7
44	61.3	55.9	44.0	34.0	31.0	33.1
46	75.5	68.8	54.0	41.4	37.2	39.3
48	92.2	83.9	65.7	50.1	44.5	46.5
50	112	102	79	60	53	55

**Tabla 3.7 Factores de carga de ejes equivalentes para pavimento flexible, Ejes en Tandem y  $p_t$  de 2.5**

Carga de eje (kips)	Número Estructural del pavimento (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0.001	0.0001	0.0001	0	0	0
4	0.0005	0.0005	0.0004	0.0003	0.0003	0.0002
6	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001
8	0.004	0.006	0.005	0.004	0.003	0.003
10	0.008	0.013	0.011	0.009	0.007	0.006
12	0.015	0.024	0.023	0.018	0.014	0.013
14	0.026	0.041	0.042	0.033	0.027	0.024
16	0.044	0.065	0.070	0.057	0.047	0.043
18	0.070	0.097	0.109	0.092	0.077	0.70
20	0.107	0.141	0.162	0.141	0.121	0.110
22	0.160	0.198	0.229	0.207	0.180	0.166
24	0.231	0.273	0.315	0.292	0.260	0.242
26	0.327	0.370	0.420	0.401	0.364	0.342
28	0.451	0.493	0.548	0.534	0.495	0.470
30	0.611	0.648	0.703	0.695	0.658	0.633
32	0.813	0.843	0.889	0.887	0.857	0.834
34	1.06	1.08	1.11	1.11	1.09	1.08
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.75	1.73	1.69	1.68	1.70	1.73
40	2.21	2.16	2.06	2.03	2.08	2.14
42	2.76	2.67	2.49	2.43	2.51	2.61
44	3.41	3.27	2.99	2.88	3.00	3.16
46	4.18	3.98	3.58	3.40	3.55	3.79
48	5.08	4.80	4.25	3.98	4.17	4.49
50	6.12	5.76	5.03	4.64	4.86	5.28
52	7.33	6.87	5.93	5.38	5.63	6.17
54	8.72	8.14	6.95	6.22	6.47	7.15
56	10.3	9.6	8.1	7.2	7.4	8.2
58	12.1	11.3	9.4	8.2	8.4	9.4
60	14.2	13.1	10.9	9.4	9.6	10.7
62	16.5	15.3	12.6	10.7	10.8	12.1
64	19.1	17.6	14.5	12.2	12.2	13.7
66	22.1	20.3	16.6	13.8	13.7	15.4
68	25.3	23.3	18.9	15.6	15.4	17.2
70	29.0	26.6	21.5	17.6	17.2	19.2
72	33.0	30.3	24.4	19.8	19.2	21.3
74	37.5	34.4	27.6	22.2	21.3	23.6
76	42.5	38.9	31.1	24.8	23.7	26.1
78	48.0	43.9	35.0	27.8	26.2	28.8
80	54.0	49.4	39.2	30.9	29.0	31.7
82	60.6	55.4	43.9	34.4	32.0	34.8
84	67.8	61.9	49.0	38.2	35.3	38.1
86	75.7	69.1	54.5	42.3	38.8	41.7
88	84.3	76.9	60.6	46.8	42.6	45.6
90	93.7	85.4	67.1	51.7	46.8	49.7

Tabla 3.8 Factores de carga de eje equivalente para Pavimento Flexible, Eje Triple y  $p_t$  de 2.5

Carga de eje (kips)	Numero Estructural del Pavimento (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0	0	0	0	0	0
4	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001
6	0.0006	0.0007	0.0005	0.0004	0.0003	0.0003
8	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
10	0.003	0.004	0.003	0.002	0.002	0.002
12	0.005	0.007	0.006	0.004	0.003	0.003
14	0.008	0.012	0.010	0.008	0.006	0.006
16	0.012	0.019	0.018	0.013	0.011	0.010
18	0.018	0.029	0.028	0.021	0.017	0.016
20	0.027	0.042	0.042	0.032	0.027	0.024
22	0.038	0.058	0.060	0.048	0.040	0.036
24	0.053	0.078	0.084	0.068	0.057	0.051
26	0.072	0.103	0.114	0.095	0.080	0.072
28	0.098	0.133	0.151	0.128	0.109	0.099
30	0.129	0.169	0.195	0.170	0.145	0.133
32	0.169	0.213	0.247	0.220	0.191	0.175
34	0.219	0.266	0.308	0.281	0.246	0.228
36	0.279	0.329	0.379	0.352	0.313	0.292
38	0.352	0.403	0.461	0.436	0.393	0.368
40	0.439	0.491	0.554	0.533	0.487	0.459
42	0.543	0.594	0.661	0.644	0.597	0.567
44	0.666	0.714	0.781	0.769	0.723	0.692
46	0.811	0.854	0.918	0.911	0.868	0.838
48	0.979	1.015	1.072	1.069	1.033	1.005
50	1.17	1.20	1.24	1.25	1.22	1.20
52	1.40	1.41	1.44	1.44	1.43	1.41
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.93	1.90	1.90	1.91	1.93
58	2.29	2.25	2.17	2.16	2.20	2.24
60	2.67	2.60	2.48	2.44	2.51	2.24
62	3.09	3.00	2.82	2.76	2.85	2.95
64	3.57	3.44	3.19	3.10	3.22	3.36
66	4.11	3.94	3.61	3.47	3.62	3.81
68	4.71	4.49	4.06	3.88	4.05	4.30
70	5.38	5.11	4.57	4.32	4.52	4.84
72	6.12	5.79	5.13	4.80	5.03	5.41
74	6.93	6.54	5.74	5.32	5.57	6.04
76	7.84	7.37	6.41	5.88	6.15	6.71
78	8.83	8.28	7.14	6.49	6.78	7.43
80	9.92	9.28	7.95	7.15	7.45	8.21
82	11.1	10.4	8.8	7.9	8.2	9.0
84	12.4	11.6	9.8	8.6	8.9	9.9
86	13.8	12.9	10.8	9.5	9.8	10.9
88	15.4	14.3	11.9	10.4	10.6	11.9
90	17.1	15.8	13.2	11.3	11.6	12.9

c) Tipología de vehículos.

En la tabla 3.9, se indican los diferentes tipos de vehículos autorizados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, para circular por las vialidades nacionales.

Tabla 3.9 Tipología de vehículos autorizados por la SCT para circular por las vialidades nacionales.

Tipología de vehículos autorizados por la SCT		Peso por eje, ton				
Vehículo	Designación	1	2	3	4	5
Automóvil	A2	1.0	1.0			
Camión ligero	A*2	1.7	3.8			
Autobús de 2 ejes	B2	5.5	10.0			
Autobús de 3 ejes	B3	5.5	14.0-D			
Autobús de 4 ejes	B4	7.0-D	14.0-D			
Camión de 2 ejes	C2	5.5	10.0			
Camión de 3 ejes	C3	5.5	18.0-D			
Camión de 4 ejes	C4	5.5	22.5-T			
Tractor de 2E con S de 1E	T2-S1	5.5	10.0	10.0		
Tractor de 2E con S de 2E	T2-S2	5.5	10.0	18.0-D		
Tractor de 3E con S de 2E	T3-S2	5.5	18.0-D	18.0-D		
Tractor de 3E con S de 3E	T3-S3	5.5	18.0-D	22.5-T		
Camión de 2E con R de 2E	C2-R2	5.5	10.0	10.0	10.0	
Camión de 3E con R de 3E	C3-R3	5.5	18.0-D	10.0	18.0-D	
Tractor 2E con S1 y R 2E	T2-S1-R2	5.5	18.0-D	10.0	10.0	
Tractor 2E con S2 y R 2E	T2-S2-R2	5.5	10.0	18.0-D	10.0	10.0
Tractor 3E con S1 y R 2E	T3-S1-R2	5.5	10.0	10.0	10.0	10.0
Tractor 3E con S2 y R 2E	T3-S2-R2	5.5	18.0-D	18.0-D	10.0	10.0
Tractor 3E con S2 y R 3E	T3-S2-R3	5.5	18.0	18.0	10.0	18.0
Tractor 3E con S2 y R 4E	T3-S2-R4	5.5	18.0	18.0	18.0	18.0

D: Eje doble o tandem, E: Eje, R: Remolque, S: Semiremolque, T: Eje triple o tridem.

d) Período o ciclo de proyecto.

Es importante definir la magnitud de este, ya que el número de ejes equivalentes deberá acumularse en dicho ciclo. Generalmente se consideran periodos de diseño de 10 a 20 años, lapso en el cual se espera que el pavimento alcance el índice de servicio terminal elegido. Dicho periodo puede ser asignado en función de la experiencia, tipo de carretera, etc, pudiendo utilizar como guía los periodos presentados en la tabla 3.10.

Tabla 3.10 Periodos o ciclos de proyecto de acuerdo con el tipo de vialidad.

Tipo de vialidad	Periodo de proyecto (años)
Urbana, con elevado nivel de tránsito	30 - 50
Principal, con elevado nivel de tránsito	20 - 50
Secundaria, con bajo nivel de tránsito	15 - 25
Terciaria, con mínimo nivel de tránsito	10 - 20

**e) Volumen de Tránsito y Tasa de Crecimiento.**

El número inicial de vehículos que opera en el pavimento es proporcionado por el organismo que requiere el proyecto, así como la respectiva tasa de crecimiento, que deberá considerarse aplicada en el período de análisis.

El proyectista puede recurrir a la información de estudios de tránsito para vialidades semejantes a la estudiada y a información estadística.

En cuanto al incremento en el volumen de tránsito, en el Apéndice D de la guía AASHTO de referencia, se presentan los lineamientos útiles para tal objeto, recurriendo a factores de incremento desde 0 a 10 y períodos de análisis de 1 a 35 años. Los factores propuestos multiplicados por el volumen de tránsito inicial, proporcionará el volumen total de tránsito esperado en el período de análisis.

**f) Coeficiente de drenaje (  $C_d$  ).**

Como ya se menciona anteriormente el agua es uno de los factores que contribuye al deterioro de los pavimentos, bien sea por la saturación y reducción de la resistencia de los materiales de las capas subrasante y de subbase, o por favorecer el fenómeno de bombeo con la expulsión de las partículas finas de las bases granulares a través de grietas y juntas, lo que conduce a una degradación de la capacidad de soporte estructural, oxidación y envejecimiento de las carpetas asfálticas, e inestabilidad y agrietamientos por cambios volumétricos debidos a cambios de humedad. En climas fríos ocurre el fenómeno de congelamiento-deshielo.

Para mejorar las condiciones de drenaje, se sugiere el empleo de subdrenes y capas de subbase permeable, para prevenir además el bombeo prematuro y los deterioros asociados en el pavimento.

El coeficiente (  $m_1$  ), que pretende tomar en cuenta los efectos de buenas o malas condiciones de drenaje en el diseño del pavimento. Para seleccionar el valor del coeficiente, se deben considerar las condiciones de saturación a que están expuestas las capas de subbase y capa subrasante, debiendo consultarse la tabla 3.11, para determinar el valor del coeficiente en cada caso particular.

Tabla 3.11 Valores recomendados del coeficiente de drenaje para diseño de pavimentos flexibles.

Condición de drenaje	Lapso para que el suelo sea drenado hasta alcanzar 50 % de saturación	Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento se encuentra expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación.			
		Menor 1 %	1 - 5 %	5 - 25 %	Mayor al 25 %
Excelente	2 horas	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.2
Buena	1 día	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.0
Regular	7 días	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Mala	1 mes	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy mala	Infinito	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

En el caso de que  $m_1 = 1$ , se estima que las condiciones del drenaje no causan ningún impacto en el espesor del pavimento; si es menor que la unidad, el espesor se incrementa y para valores superiores a la unidad, el espesor decrecerá.

g) Confiabilidad (  $R$ ,  $Z_R$ ,  $S_0$  ).

Puede definirse como la probabilidad estadística de que el pavimento cumpla con la vida de diseño. El comportamiento de un pavimento a lo largo del tiempo se representa por medio de un curva, que manifiesta la forma en que el pavimento progresivamente pierde alguna de sus cualidades, por ejemplo su serviciabilidad. La ecuación de diseño propuesta por la AASHTO propiamente define la forma de la curva de comportamiento del pavimento atendiendo al concepto de serviciabilidad, con el nivel de confianza ( $R$ ) de 50 %. El nivel de confianza para un proyecto en especial, debe seleccionarse de acuerdo con el tipo e importancia de la carretera o vialidad, teniendo en cuenta lo recomendado en la tabla 3.12. Debe notarse que los valores mayores se recomiendan para vialidades sujetas a un uso intenso y con mayores exigencias de un mantenimiento mínimo.

Tabla 3.12 Niveles de confianza sugeridos para diferentes tipos de vialidades y carreteras.

Tipo de Vialidad	Nivel de confianza	
	Vialidades urbanas	Carreteras
Autopistas y carreteras de 1er orden	85 - 99.9	80 - 99.9
Carretera y vialidades principales	80 - 99	75 - 95
Carreteras y vialidades secundarias	80 - 95	75 - 95
Vialidades de acceso y calles en general	50 - 80	50 - 80

Los niveles de confianza propuestos indican propiamente el porcentaje del área comprendida en la curva de distribución normal de serviciabilidad, a la derecha del nivel de confianza elegido. La distancia entre el valor medio, equivalente a un nivel de confianza  $R = 50\%$  y el correspondiente al nivel de confianza elegido para un caso en particular, es igual al producto  $Z_R$  por  $S_0$ , en donde:

$S_0$ : Desviación estándar total, que considera el monto del error estadístico incluido en la ecuación, como resultado de la variabilidad inherente a los materiales y a la construcción.

$Z_R$ : Desviación normal estándar para la distribución normal, para un nivel de confianza determinado.

Determinar el valor de  $S_0$  es difícil, pues requiere conocer la desviación estándar para cada parámetro involucrado, teniendo en cuenta las condiciones locales, razón por la cual se ha considerado a  $S_0$  dentro de un rango entre 0.3 y 0.4, recomendándose un valor de 0.45, para tomar en cuenta además el error relativo a la predicción del tránsito.

Por lo que respecta al parámetro  $Z_R$ , su valor depende del nivel de confianza elegido, pudiendo determinarse en tablas de tipo estadístico. Para efectos de su aplicación práctica, la tabla 3.13 presenta los valores de  $Z_R$  para los niveles de confianza recomendados en la tabla 3.12.

Tabla 3.13 Relación entre el nivel de confianza y la desviación normal estándar,  $Z_R$ .

Nivel de confianza, R	Desviación normal estándar, $Z_R$	$Z_R S_0$
50	0.00	0.0
75	-0.674	-0.236
80	-0.841	-0.294
85	-1.037	-0.363
90	-1.282	-0.449
95	-1.645	-0.576
99.9	-3.090	-1.082

#### h) Módulo de resiliencia ( $M_r$ ).

Este elemento ha sustituido el valor de CBR y al valor de "R" o módulo de reacción del estabilómetro de Hveem, aunque se establecen correlaciones al respecto y se obtiene de acuerdo con la especificación AASHTO T-274 como una medida de las propiedades elásticas del suelo.

Las razones principales por las que se adopta esta característica, son las siguientes:

1. Indica la propiedad básica del material que puede utilizarse en el análisis mecanístico del sistema multicapa para predecir la rugosidad, agrietamiento, rodaderas, deterioros, etc.
2. Es una característica reconocida internacionalmente, como dato para la evaluación y diseño de pavimentos.
3. Se emplea una técnica de pruebas no destructivas que permite estimar el  $M_r$  de varios materiales directamente en el lugar.

Sin embargo, se han establecido correlaciones razonables con el CBR y el valor de "R" y que están dadas por las siguientes expresiones:

$$M_r (\text{psi}) = 1500 \times \text{CBR}$$

$$M_r (\text{psi}) = 1000 + 555 \times R$$

Estas expresiones son válidas, básicamente para suelos finos o granulares, que cubren una amplia gama de materiales de terreno natural o terracerías, de soporte para pavimentos.

En aquellos casos especiales de suelos finos arcillosos y expansivos de muy bajo CBR, habrá que tomar las precauciones del caso, y hacer un análisis más detallado para determinar el  $M_r$ , con las debidas reservas en la aplicación de las expresiones anteriores.

Por otra parte el diseñador deberá tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Asegurar que la compactación o densidad relativa del suelo de soporte cumpla, ya que de ello depende el Mr. En el caso de no lograrse la compactación deseada, ajustar el valor de Mr.
2. Suelos muy expansivos o resilientes deberán recibir especial atención, manteniendo el contenido de humedad bajo límites razonables que no afecten sustancialmente su comportamiento. Para ello, se analizarán cuestiones de drenaje y subdrenaje; o bien procedimientos de estabilización con algún aditivo (cemento o cal); asimismo el uso de geotextiles puede ayudar en la solución de un buen diseño.
3. Problemas de suelos de alto contenido de materia orgánica, extremadamente compresibles, requieren de soluciones especiales como sustitución por materiales adecuados, técnicas de preconsolidación, geotextiles, etc.
4. Atención a suelos de características variables, con tratamientos de escarificación recompactación, mezclado, como es el caso de zonas de cortes y rellenos y tratar adecuadamente las zonas de transición.
5. A pesar de que en el diseño de pavimentos se involucran consideraciones de drenaje, debe ponerse especial atención en aquellas zonas de alta precipitación pluvial donde los escurrimientos (superficiales y subterráneos) son considerables en época de lluvias. Al respecto, el diseñador debe considerar soluciones especiales de obras complementarias de subdrenaje, capas drenantes, filtros, tuberías de drenaje adicionales, canales, etc., sobre todo donde existan suelos susceptibles a los cambios de humedad que afecten su capacidad de soporte.
6. En suelos donde se dificulte la construcción, como son los suelos cohesivos que retienen mucho tiempo la humedad y no se puedan compactar adecuadamente, habría que adoptar soluciones especiales, como mezclado con materiales granulares, con arena o material seco, que aceleren el secado, o bien colocar la capa subrasante sobre dicho suelo con material adecuado para trabajar sobre ella y que sirva de desplante al pavimento.

Se hace énfasis en el criterio de elegir el módulo resiliente adecuado, pues son muchos los factores asociados a él; no se debe de limitar a contar con pocos valores de Mr, debiendo siempre obtener los suficientes para obtener un factor adecuado de confiabilidad.

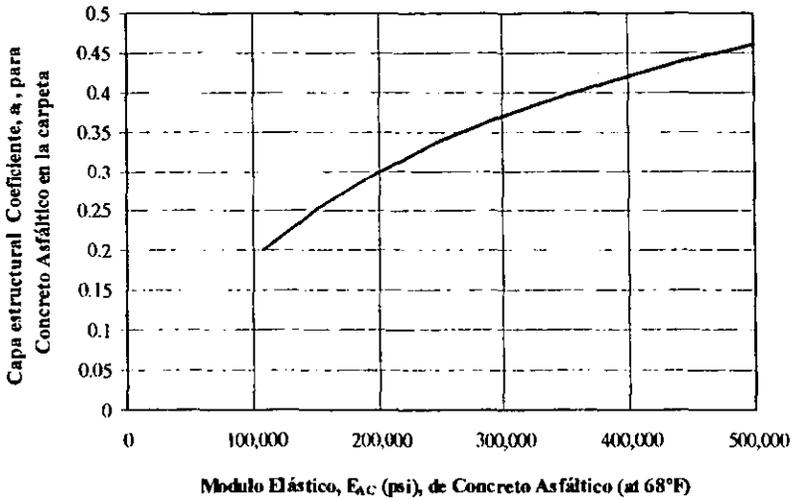
Por lo que respecta a los materiales de subbase y base el método reconoce la dificultad actual de determinar el uso de correlaciones con pruebas más accesibles, como el CBR, presentando gráficas en que se correlacionen dichos parámetros para materiales granulares estabilizados, incluyendo además correlaciones con otros parámetros.

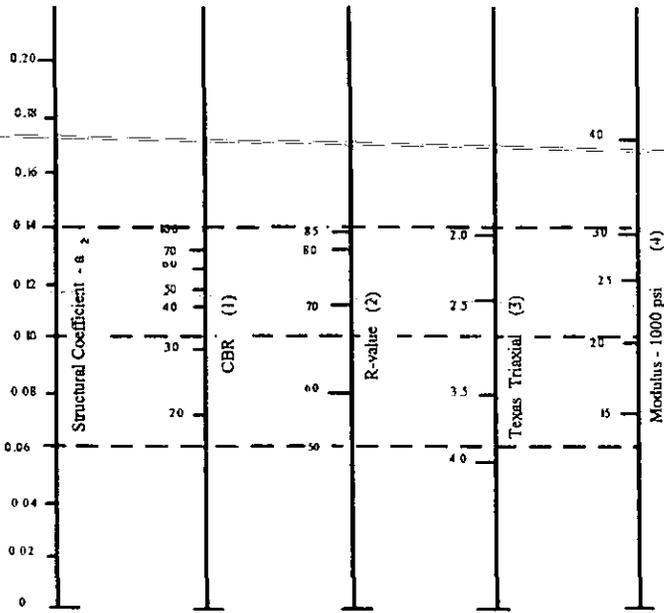
#### **i) Coeficiente de capa ( $a_i$ ).**

El método proporciona gráficas en las que puede obtenerse los coeficientes de capa aplicables a los diferentes materiales de las capas consideradas de la estructura del pavimento, en función del Mr correspondiente.

Tabla 3.14 Coeficientes (a) Propuestos por el comité de diseño de AASHO.	
Componente	Coefficiente
<b>Carpeta:</b>	
Mezcla en el lugar (Bajo estabilidad)	0.2
Mezcla en planta (Alta estabilidad)	0.44
<b>Base:</b>	
Grava arenosa	0.07
Roca triturada	0.14
<b>Subbase:</b>	
Grava arenosa	0.11
Arena o arcilla arenosa	0.05 - 0.1

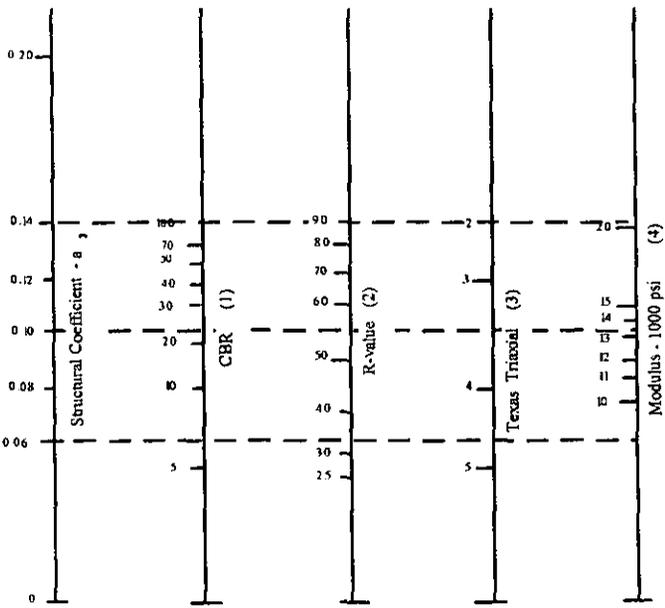
Figura 3.4 Carta para estimación del grado de densidad, coeficiente de capa estructural de concreto asfáltico basado en el Modulo Elástico (Resiliencia)





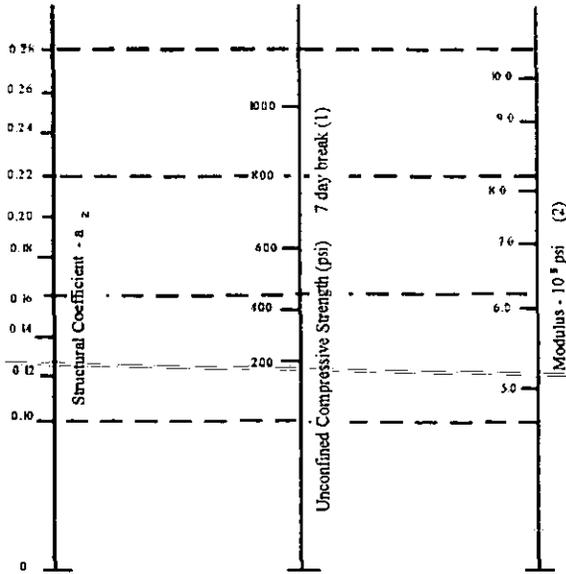
- (1) Scale derived by avering correlations obtained from Illinois.
- (2) Scale derived by avering correlations obtained from California, New Mexico and Wyoming.
- (3) Scale derived by avering correlations obtained from Texas.
- (4) Scale derived on NCHRP project.

Figura 3.5 Gráfica de la capa de base granular, coeficiente (a<sub>2</sub>) con varios parámetros de graduación base



- (1) Scale derived by averaging correlations obtained from Illinois.
- (2) Scale derived by averaging correlations obtained from California, New Mexico and Wyoming.
- (3) Scale derived by averaging correlations obtained from Texas.
- (4) Scale derived on NCHRP project.

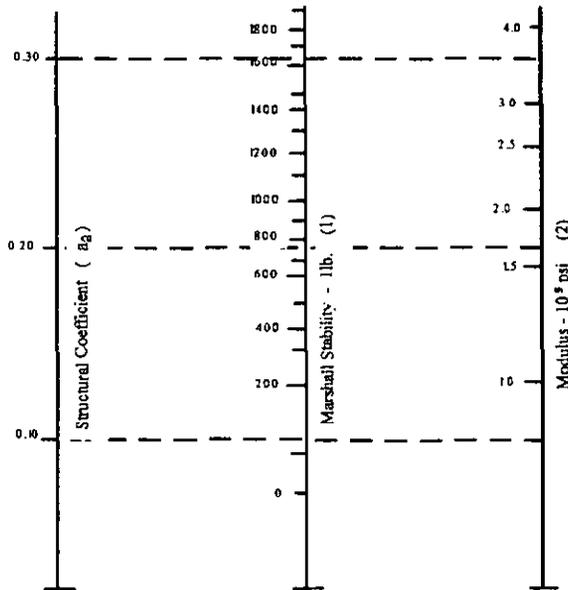
Figura 3.6 Gráfica de la capa de subbase, coeficiente (a<sub>3</sub>) con varios parámetros de graduación base



(1) Scale derived by averaging correlations from Illinois, Louisiana and Texas.

(2) Scale derived on NCHRP project.

Figura 3.7 Variación en  $a_2$  para bases tratadas con cemento en base a parametros de graduación.



(1) Scale derived by correlation obtained from Illinois.

(2) Scale derived on NCHRP project.

Figura 3.8 Variación en  $a_2$  para bases bituminosas tratadas en base a parametros de graduación

**Procedimiento de diseño.**

1. Se utiliza el nomograma propuesto por el método asignando valores convenientes al nivel de confianza,  $R$ , y a la desviación estándar,  $S_0$ .

El nivel de confianza se elige de acuerdo con el tipo de vialidad considerada (tabla 3.12), y el valor de  $S_0$  debe determinarse experimentalmente en función de la vialidad observada en los materiales y en la calidad de la construcción, lo cual requiere de un seguimiento constante por lo cual, en caso de no contar con la experiencia local, puede tomarse un valor de 0.45.

2. A continuación se deberá aplicar el tránsito equivalente acumulado, determinando para el carril de diseño. Es conveniente señalar que la capacidad de la escala es de 50 millones de ejes acumulados equivalentes, siendo necesario en caso de rebasar este valor, reconsiderar la distribución del tránsito, por ejemplo aumentando el número de carriles, etc. Para elegir los factores de equivalencia, deberá considerarse el valor terminal del índice de servicio considerado,  $P_t$  y partir de un número estructural adecuado, en función del espesor esperado de pavimento, o considerando un valor de 5 si no se puede estimar y repetir el proceso si el número estructural obtenido implica una diferencia en espesor de 2.5 cm. con relación al valor estimado.

3. Enseguida se utilizará el módulo de resiliencia de la capa de apoyo del pavimento, para determinar el valor de  $SN$ , considerando además el decremento en la serviciabilidad teniendo en cuenta el valor terminal de diseño y un valor inicial, que dependerá de la calidad de la construcción y que es conveniente que sea el mayor posible, para cumplir satisfactoriamente con la vida de diseño.

4. Finalmente se procederá a determinar los espesores de las capas restantes considerando los coeficientes de cada capa y los números estructurales a diferentes niveles.

Deberán tenerse en cuenta además los valores mínimos de espesor recomendados:

Tabla 3.15 Espesor mínimo, cm. ( 1 ) o tratamiento superficial.

<b>Tránsito acumulado equivalente</b>	<b>Concreto asfáltico</b>	<b>Base granular</b>
< 50,000	2.5 ( 1 )	10
50,001 - 150,000	5.0	10
150,001 - 500,000	6.5	10
500,001 - 2,000,000	7.5	15
2,000,001 - 7,000,000	9.0	15
> 7,000,000	10.0	15

Debe hacerse notar que los módulos de resiliencia  $M_r$ , y los respectivos coeficientes estructurales  $a_i$ , que intervienen como factores de diseño, corresponden a los diferentes materiales disponibles, los cuales deberán satisfacer adicionalmente las especificaciones de calidad establecidas por el organismo (DDF, SCT, IMT, AASHTO, etc.). Por otra parte, es conveniente plantear y analizar varias alternativas y definir sus correspondientes curvas de degradación y por consiguiente sus ciclos de vida, teniendo en cuenta además los trabajos de conservación y rehabilitación de cada una de las alternativas, para efectuar un análisis beneficio-costos, mediante el cual pueda determinarse la

alternativa más económica o que corresponda a la utilización más conveniente de los recursos dentro de un presupuesto definido.

Es conveniente señalar que en este método se consideran y aplican los conceptos derivados del experimento llevado a cabo por la AASHO, tales como la diferencia entre falla estructural y funcional, índice de espesor y carga equivalente, conceptos, que por otro lado, son también utilizados por la moderna tecnología de pavimentos.

**Ejemplo de Método AASHTO.**

Determinar el espesor requerido de pavimento para una vialidad principal, teniendo una vida de servicio establecida.

**Datos y limitantes de diseño para una vialidad principal:**

- ⊗ Valores de soporte, S  
 Subrasante: ..... 3.0 ( VRS = 3 % )  
 Subbase : ..... 6.0 ( VRS = 20 % )  
 Base: ..... 9.0 ( VRS = 100 % )
- ⊗ Número de ejes equivalentes:  $EWL_{18} = 5.8 \times 10^6$
- ⊗ Vida de servicio (a 800 ejes, diarios) propuesta para un periodo de 20 años.
- ⊗ Coeficientes estructurales (a) propuestos para diseño tomados de la tabla 3.14.  
 Concreto asfáltico:  $a_1 = 0.44$   
 Base:  $a_2 = 0.14$   
 Subbase:  $a_3 = 0.11$
- ⊗ Factor regional:  $R = 1.5$
- ⊗ Nivel de rechazo o Índice de servicio:  $P_1 = 2.5$

➤ **Dimensionamiento:**

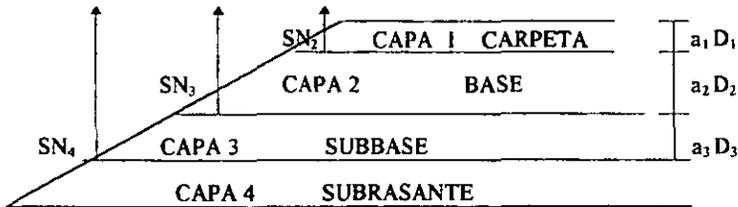


Figura 3.9 Dimensionamiento de la sección estructural de pavimento

**Solución:**

1) Usando la siguiente carta de diseño y las limitantes del problema, se obtendrán los números estructurales para las diferentes capas del pavimento:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

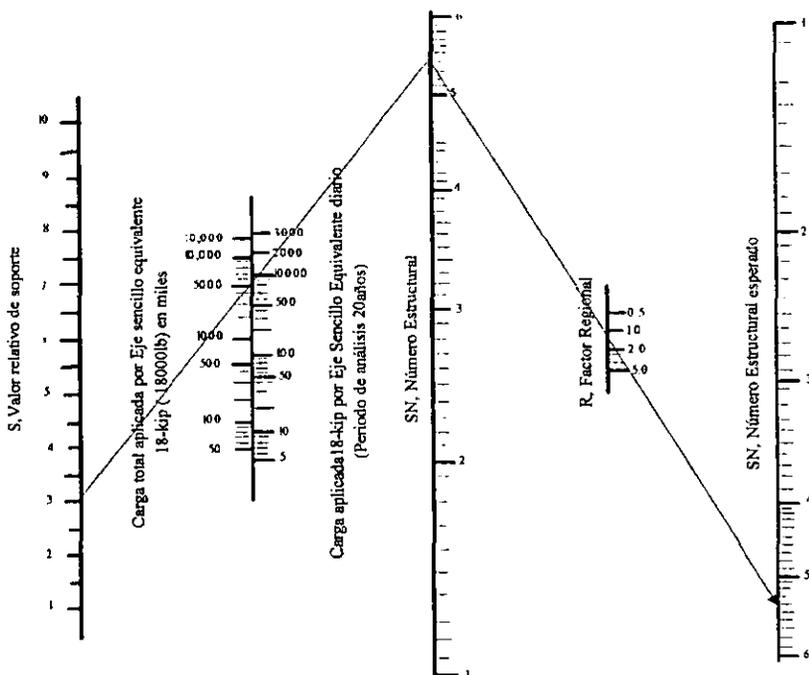


Figura 3.10 Carta de diseño para pavimento flexible,  $P_t = 2.5$

2) Entrando en la carta con los valores relativos de soporte y teniendo el número de ejes equivalentes, la vida de servicio para un periodo de análisis de 20 años y el factor regional tendremos que:

- A partir de la Subrasante,  $SN_4 = 5.4$
- Para la Subbase,  $SN_3 = 3.7$
- Y para la Base,  $SN_2 = 2.5$

3) Una vez obtenidos estos datos, se revisaran los espesores mínimos requeridos:

• Para la carpeta:

$$D_1 \geq \frac{SN_2}{a_1} \geq \frac{2.5}{0.44} \geq 5.7 \text{ pu lg} \cong 6 \text{ pu lg.}$$

$$SN_2 = a_1 D_1 = 0.44(6) = 2.64 \geq 2.5$$

• Para la base:

$$D_2 \geq \frac{SN_3 - SN_2}{a_2 m_2} \geq \frac{3.7 - 2.64}{0.14} \geq 7.6 \text{ pu lg} \cong 8 \text{ pu lg}$$

$$SN_3 - SN_2 + a_2 D_2 = 2.64 + 0.14(8) = 3.76 \geq 3.7$$

• Para la Subbase:

$$D_3 \geq \frac{SN_4 - SN_3}{a_3 m_3} \geq \frac{5.4 - 3.76}{0.11} \geq 14.9 \text{ pu lg} \cong 15 \text{ pu lg}$$

$$SN_4 = SN_3 + a_3 D_3 = 3.76 + 0.11(14.9) = 5.399 \cong 5.4$$

4) Diseño final de los espesores de la estructura del pavimento:

TABLA 3.16

Capas	Espesores	
	Pulg	cm
Carpeta Asfáltica	6 "	15.24
Base granular	8 "	20.32
Subbase granular	15 "	38.1
<b>Total</b>	<b>29 "</b>	<b>73.66</b>

**Método Porter Modificado.**

A continuación se describirá en forma breve el **Método del Ing. Padrón Liaca (Porter Modificado)**, para esto se busco un proyecto que decidió basar la mayor parte de su teoría en el método del diseño mexicano en la construcción de la vialidad del tramo de Cuernanco a Canal de Chalco en el año de 1991, dicho análisis se presenta a manera de ejemplo en los siguientes párrafos.

1. En primera instancia es necesario obtener el valor relativo de soporte, tanto del cuerpo del terraplén como el de la capa subrasante.

Este se obtiene de las pruebas de laboratorio de muestras remoldeadas, así se tiene:

V.R.S. para el cuerpo del terraplén:..... 5 %

V.R.S. para la capa de subrasante:..... 10 %

2. De los datos obtenidos en los aforos vehiculares, tenemos que el volumen de vehículos diarios que transitaron en los dos sentidos de circulación fueron los siguientes:

De Cuernanco al Toreo: ..... 39740 veh / día.

De Toreo a Cuernanco:..... 11255 veh / día.

**Haciendo un total de:..... 50995 veh / día.**

Es importante mencionar que estos datos son los reales en el momento de estar ejecutando el proyecto, por lo que será necesario hacer una proyección a futuro, por lo tanto este volumen se corregirá en pasos subsecuentes.

3. A continuación se elige la cantidad de vehículos que circularán por el carril de diseño, tomando en cuenta el coeficiente de distribución a usar por número de carriles, siendo para este caso en particular el 40 % del volumen de vehículos diarios.

$$(0.40) \times (50995) = 20398 \text{ veh/día.}$$

4. Eligiendo un periodo de 10 años de acuerdo a un estudio de factibilidad realizado y una tasa de crecimiento anual de 7 %, se procederá a obtener la proyección a futuro del tránsito diario promedio anual (T.P.D.A.).

En primera instancia se debe distribuir el volumen de vehículos según el tipo y por ende el peso y dimensiones de cada medio de transporte, para realizar esta distribución se utiliza la siguiente tabla:

TABLA 3.17

Tipo de vehículos	Distribución del tránsito (%)	Distribución del tránsito (VEH)	Coefficiente de equivalencia	Ejes sencillos equivalentes a 8.2 ton
Vehículos hasta 5 ton	85	17338	0.06	1040
Autobuses	5	1020	2.1	2142
Camiones (15 a 23 ton)	4	816	2.1	1713
Tractor con semiremolque (25 a 33 ton)	2	408	4.1	1673
Camión con remolque (35 a 55 ton)	2	408	6.4	2611
Tractor con semiremolque (65 a 85 ton)	2	408	8.4	3427
<b>Totales</b>	<b>100</b>	<b>20398</b>		<b>12606</b>

5. El factor de proyección a futuro esta dado por la siguiente expresión:

$$C_T = 365 \left[ \frac{(1+r)^n - 1}{r} \right] = 365 \left[ \frac{(1+0.07)^{10} - 1}{0.07} \right] = 5043$$

Siendo:

$C_T$ : Factor de proyección a futuro.

r: Tasa anual de crecimiento.

n: Periodo de diseño.

Por lo que la proyección a futuro del tránsito acumulado de vehículos es la siguiente:

$$\Sigma Ln = 5043 \times (12606) = 63572058$$

Se debe de mencionar que el coeficiente de equivalencia es un factor, con el cual se calcula el tránsito equivalente de ejes de 8.2 toneladas, utilizando factores de la AASHO (que prácticamente son los propuestos por la UNAM) esto es debido a los volúmenes tan grandes con los que se cuenta hoy en día.

Con las gráficas propuestas por el Ing. Padrón se podrían calcular espesores para volúmenes muy pequeños, por lo que se hizo necesario actualizar estas gráficas utilizando el factor de equivalencia descrito.

FIGURA 3.11 GRAFICA PARA LA ESTRUCTURA DE UNA OBRA VIAL EN BASE AL VRS OBTENIDO DE LA PRUEBA PORTER MODIFICADA

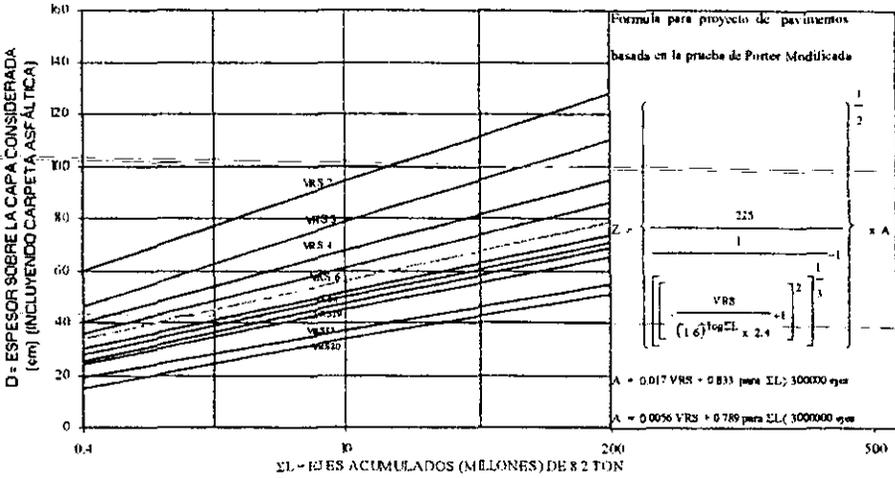


TABLA 3.18

TIPO Y ESPESORES DE CARPETA ( D = ad+ad+ad...)	
a = factor de equivalencia	d = espesor de la capa
a = 2 Carpeta de concreto asfáltico	a = 1.3 a 1.6 Mezclas asfálticas
a = 1.8 Base mejorada con cemento Pt	a = 1.0 Materiales naturales o tratados mecánicamente
a 0 1.5 Base mejorada con cal	a = 0 Carpeta de un riego
<b>TPDA (Vehículos pesados)</b>	<b>Tipo y Espesores</b>
Menos de 500	Carpeta de un riego
De 500 a 2000	Carpeta de 2 riegos o mezcla en el lugar de 5 a 7 cm
De 2000 a 3000	Carpeta de 3 riegos o mezcla en el lugar de 7 a 10 cm
Mas de 3000	Carpeta de concreto asfáltico de 8 a 10 cm sobre base mejorada con cemento Pt

6. Con el resultado de esta gráfica se obtiene el espesor total sobre la capa considerada (en este caso la subrasante y el cuerpo del terraplén) en cm., incluyendo la carpeta asfáltica.

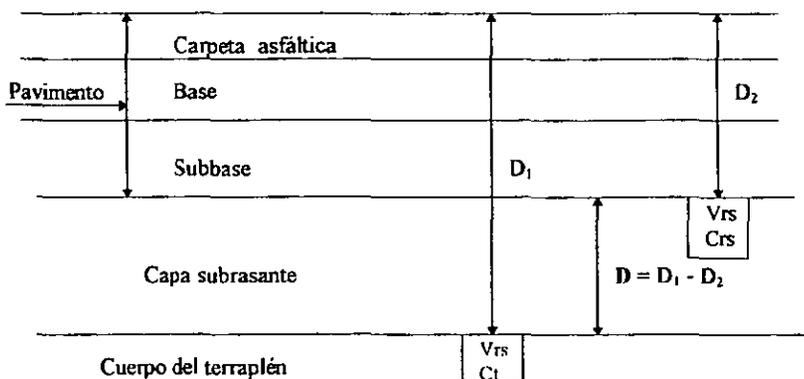
Es así como se obtienen los siguientes resultados mostrados en el dimensionamiento de la figura 3.12:

**Cuerpo del terraplén:**

V.R.S. = 5 %, Suma de ejes acumulados de 8.2 ton = 63.572 millones.

**Capa Subrasante:**

V.R.S. = 10 %, Suma de ejes acumulados de 8.2 ton = 63.572 millones.



De donde se obtiene que:  $D_1 = 76 \text{ cm. aprox.} = 80 \text{ cm.}$

$D_2 = 58 \text{ cm. aprox.} = 60 \text{ cm.}$

Hasta el momento tenemos calculado con  $D_1$  y  $D_2$  los espesores de pavimento desde el cuerpo del terraplén y desde la capa subrasante respectivamente.

La capa subrasante tendrá entonces un espesor de  $D = 80 - 60 = 20 \text{ cm.}$  Mas sin embargo debido a las características de esta capa, es necesario que tenga un espesor de 30 cm como mínimo, así lo especifican las normas del método.

7. Para el calculo de la carpeta asfáltica se tendrá que analizar la cantidad de vehiculos con peso mayor a las cinco toneladas, se tiene entonces un porcentaje del 15 % según datos de campo (tabla 3.17) arrojándonos el siguiente resultado:

$$0.15 (50995) = 77649.25 \text{ aprox.} = 7650 \text{ veh / dia.}$$

Con este dato y de la tabla 3.18 mostrada anteriormente se obtiene el espesor de la carpeta asfáltica para mas de 3000 vehiculos por día; se recomienda que el espesor de esta se encuentre entre los 8 y 10 cm., tomaremos el mayor, quedando la carpeta asfáltica de 10 cm.

El espesor mínimo de la base según las recomendaciones del autor es de 15 cm., por lo tanto se tomara el valor de 15 cm..

Debido a que en los pavimentos se utilizan materiales estabilizadores en forma química o con material asfáltico ya que tienen una mayor resistencia que los materiales naturales, que son los que

utilizan en el método Porter modificado (materiales naturales o grava), se usa entonces un factor de equivalencia que interviene para dar más capacidad al material, dichos coeficientes se muestran en la tabla siguiente:

TABLA 3.19

Factores de Equivalencia	
Tipo de material	Factor de equivalencia
Carpeta de concreto asfáltico	2.0
Base estabilizadora con cemento	1.8
Base estabilizadora con cal	1.5
Material natural	1.0

8. Con los factores obtenidos se plantea la siguiente igualdad.

$$D_2 = a_1 \cdot d_1 + a_2 \cdot d_2 + a_3 \cdot d_3$$

Siendo:

$D_2$ : Espesor de grava necesaria en el pavimento.

$a_1, a_2, a_3$ : Factores de equivalencia correspondientes a la carpeta, subbase y base.

$d_1, d_2, d_3$ : Espesores reales de carpeta, base y subbase.

Utilizando el mismo factor de conversión para la base y la subbase, obtenemos sustituyendo en la igualdad.

$$D_2 = 2(10) + 1.5(15) + 1.5B, \text{ como } D_2 = 60 \text{ cm.}$$

$$60 = 20 + 22.5 + 1.5B, \text{ despejando obtenemos: } B = 11.67 \text{ cm. aprox.} = 15 \text{ cm.}$$

Para la subbase.

$$D_1 = 2(10) + 1.5(15) + 1.5SB, \text{ como } D_1 = 80 \text{ cm.}$$

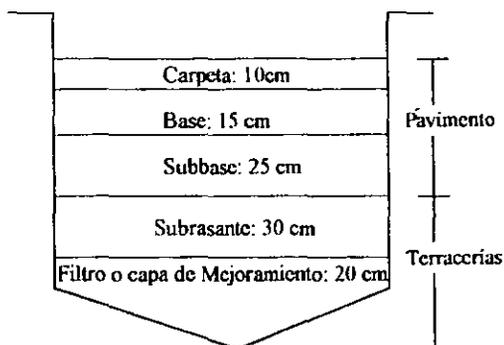
$$80 = 20 + 22.5 + 1.5SB, \text{ despejando obtenemos: } SB = 25 \text{ cm.}$$

Por lo que los espesores finales son:

TABLA 3.20

Capas	Espesores
	cm
Carpeta asfáltica	10
Base	15
Subbase	25
Subrasante	30

En el siguiente esquema se presenta el diseño de la estructura del pavimento resultado de la interacción suelo - estructura en el tramo Cuemanco-Chalco.



### Método del Instituto de Ingeniería.

Este método, toma en cuenta las siguientes características para llevar a cabo el diseño de la sección estructural de un pavimento:

1. Sección estructural de resistencia relativa uniforme.
2. Comportamiento a fatiga de las diferentes capas.
3. Criterio de falla funcional, en términos de deformaciones permanentes acumuladas.
4. Coeficientes de daño en términos de esfuerzos a diferentes profundidades.
5. Tratamiento probabilístico para establecer niveles de confianza respecto a la falla.

Para el análisis de este método se abordan las siguientes variables de diseño:

- El tránsito diario promedio anual, la composición del tránsito o tipo de vehiculos.
- Los años de servicio esperados y la tasa de crecimiento anual para obtener el coeficiente de acumulación de tránsito, ( $C_T$ ).
- El número de carriles y el coeficiente de distribución.
- El Valor relativo de soporte critico esperado en el lugar durante la vida de servicio ( $VRS_k$ ).
- El número de aplicaciones de carga producidas por el tránsito, siendo el tránsito acumulado ( $\Sigma Ln$ ).
- Así como el nivel de confianza, ( $Q_u$ ).

Con las variables antes mencionadas se podrá llevar a cabo el diseño de la sección estructural de pavimento, dar los espesores recomendados y los materiales indicados para la construcción de esta.

**Ejemplo del Método del Instituto de Ingeniería.**

Con el calculo del tránsito acumulado en función de ejes sencillos equivalente de 8.2 ton. Diseñar la sección estructural del pavimento considerando que en el sitio se cuenta con todos los materiales para formar las distintas capas de la sección en terraplén.

**Datos:**

TDPA = 2000 Vehículos

Camino tipo A

Composición	
A2:	50%
C2:	25%
C3:	20%
T3-S2:	5%

Tramo: Km: 22+500 - 30+000

Años de servicio: 15 Años  
 Tasa de crecimiento anual: 5%  
 No. de carriles: 2  
 Coeficiente de distribución: 50%

Por normas S.C.T. la sección se diseñara con las siguientes limitantes:

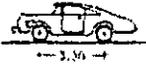
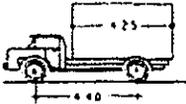
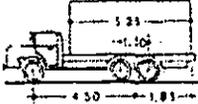
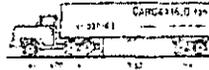
Cuerpo del Terraplén: VRS estructural  $\geq$  10%, LL  $\leq$  100%, Exponente lineal  $\leq$  3%  
 Subrasante : VRS estructural  $\geq$  10%, LL  $\leq$  100%, Exponente lineal  $\leq$  3%  
 Subbase : VRS estructural  $\geq$  50%, LL  $\leq$  30%  
 Base : VRS estructural  $\geq$  100% , LL  $\leq$  30%

**Solución:**

Utilizando el instructivo para diseño estructural de pavimentos flexibles para carreteras. Manual 444. Instituto de Ingeniería, UNAM México, 1981, de donde se tomaran para realizar el diseño los valores de las siguientes tablas y gráficas.

- 1.- Número de vehículos a cada lado (# v.a.l.) = TPDA x Composición.
- 2.- Número de vehículos en el carril de proyecto (# v.c.p.) = # v.a.l. x Coeficiente de distribución.
- 3.- Los coeficientes de daño bajo carga máxima son tomados del manual 444 de acuerdo al tipo de vehículo de la composición mostrada y el tipo de camino: "A"

TABLA 3.21

Eje	Peso, ton		P kg/cm <sup>2</sup>	d <sub>m</sub> = Coeficientes de daño cargado				d <sub>v</sub> = Coeficientes de daño vacío			
	Cargado	Vacío		Z = 0	Z = 15	Z = 30	Z = 60	Z = 0	Z = 15	Z = 30	Z = 60
<b>A2</b> 	1.0	0.8	2.0	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
<b>2*</b>	1.0	0.8	2.0	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
<b>Σ</b>	<b>2.0</b>	<b>1.6</b>		<b>0.004</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.004</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
<b>C2</b> 	5.5	3.5	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.079	0.019	0.010
<b>2*</b>	10.0	3.0	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.044	0.009	0.004
<b>Σ</b>	<b>15.5</b>	<b>6.5</b>		<b>2.000</b>	<b>1.890</b>	<b>2.457</b>	<b>2.939</b>	<b>2.000</b>	<b>0.123</b>	<b>0.028</b>	<b>0.014</b>
<b>C3</b> 	5.5	4.0	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.126	0.036	0.021
<b>2**</b>	18.0	4.5	5.8	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.028	0.003	0.002
<b>Σ</b>	<b>23.5</b>	<b>8.5</b>		<b>3.000</b>	<b>2.817</b>	<b>2.457</b>	<b>2.940</b>	<b>3.000</b>	<b>0.154</b>	<b>0.039</b>	<b>0.023</b>
<b>T3-S2</b> 	5.5	4.0	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.126	0.036	0.021
<b>2**</b>	18.0	4.0	5.8	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.017	0.002	0.001
<b>3**</b>	18.0	4.0	5.8	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.017	0.002	0.001
<b>Σ</b>	<b>41.5</b>	<b>12.0</b>		<b>5.000</b>	<b>5.285</b>	<b>4.747</b>	<b>5.761</b>	<b>5.000</b>	<b>0.160</b>	<b>0.040</b>	<b>0.023</b>

+ Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D.F., 1978.

\* Eje Sencillo.

\*\* Eje Doble.

\*\*\* Eje Triple.

4.- El número de ejes equivalentes se obtiene = # v.c.p. x Coeficiente de daño por tránsito.

5.- Se obtiene el tránsito equivalente medio diario en el carril de proyecto, durante el primer año de servicio (T<sub>1</sub>..T<sub>n</sub>).

TABLA 3.22

Vehículos	# v.a.l.	# v.c.p.	Coeficientes de daño por tránsito				# de ejes equivalentes de 8.2 Ton			
			Z = 0 cm	Z = 15 cm	Z = 30 cm	Z = 60 cm	Z = 0 cm	Z = 15 cm	Z = 30 cm	Z = 60 cm
A2:	1000	500	0.004	0.000	0.000	0.000	2.00	0.00	0.00	0.00
C2:	500	250	2.000	1.890	2.457	2.939	500.00	472.50	614.25	734.75
C3:	400	200	3.000	2.817	2.457	2.940	600.00	563.40	491.40	588.00
T3-S2:	100	50	5.000	5.285	4.747	5.761	250.00	264.25	237.35	288.05
T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> , T <sub>3</sub> , T <sub>4</sub> =							1352.00	1300.15	1343.00	1610.80

6.- Obtenemos el coeficiente de acumulación de tránsito, para n años de servicio y una tasa de crecimiento anual r

**Coeficiente de acumulación de tránsito.**

$$C_T = 365 \left[ \frac{(1+r)^n - 1}{r} \right]$$

$$C_T = 7876.176$$

7.- Se calcula el tránsito acumulado, para los espesores equivalentes a encontrar.

**TRANSITO ACUMULADO.**

$$\Sigma Ln_1 = C_T T_1 = 7876.176 (1352.00) = 10,648,589.56, Z = 0$$

$$\Sigma Ln_2 = C_T T_2 = 7876.176 (1300.15) = 10,240,209.85, Z = 15$$

$$\Sigma Ln_3 = C_T T_3 = 7876.176 (1343.00) = 10,577,703.98, Z = 30$$

$$\Sigma Ln_4 = C_T T_4 = 7876.176 (1610.80) = 12,686,943.83, Z = 60$$

**DIMENSIONAMIENTO:**

8.- Por ser un camino principal tipo A de alto tránsito podrá proyectarse con un nivel de confianza de  $Q_u = 0.9$ , utilizando la figura 3.14 de la gráfica para diseño estructural del pavimento flexible.

**Especificaciones y limitantes:**

9.- Para el **Cuerpo del terraplén** se supondrá de un espesor de  $h = 1.0$  m, no es una regla que el espesor sea de esta dimensión, solo para el ejemplo tomaremos dicho valor propuesto por el diseñador.

Espesores mínimos: 12 cm y múltiplos de 3.

Para Subrasante se puede tomar:  $Z_4 = 30$  cm espesor mínimo.

Para carpeta se recomienda:  $Z_1 = 10$  cm.

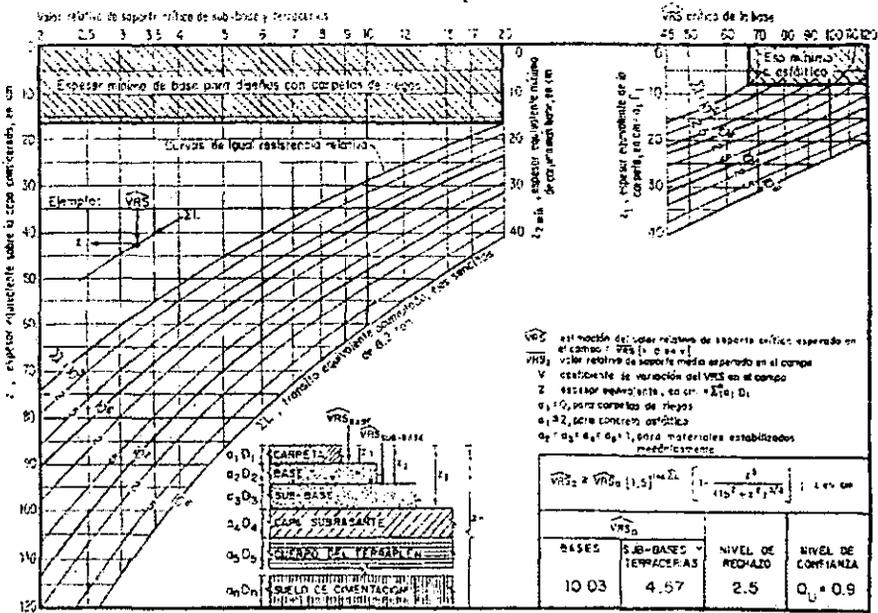


Figura 3.14 Gráfica para diseño estructural de carreteras con pavimento flexible

10.- Para la Subrasante y con la gráfica para diseño del pavimento obtendremos un espesor equivalente de:

$Z = 60, SR: VR_{Sest} \geq 10\% \text{ y } \Sigma Ln_4 = 1.27 \times 10^7, Z_{e4} = 49 \text{ cm}$

Suponer una estructura de sección y revisar de gráfica con las limitantes:

TABLA 3.23

$a_1 = 2$	Para Concreto Asfáltico.
$a_1 = 1.5$	Para Emulsiones
$a_2 = a_3 = a_4 = a_5 = 1$	Para materiales estabilizados mecánicamente.

- Carpeta :  $D_1 = 8 \text{ cm}, a_1 = 2, \text{Espesor equivalente de grava} = 16 \text{ cm}$
- Base :  $D_2 = 15 \text{ cm}, a_2 = 1, \text{Espesor equivalente} = 15 \text{ cm}$
- Subbase:  $D_3 = 18 \text{ cm}, a_3 = 1, \text{Espesor equivalente} = 18 \text{ cm}$

$Z_{e4} = \sum_{i=1}^n a_i D_i = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3 = 2(8) + 15 + 18 = 49 \text{ cm} \therefore \text{Cumple.}$

11.- Para la Subbase y con la gráfica de diseño:

$Z = 30, SB: VR_{Sest} \geq 50\% \text{ y } \Sigma Ln_3 = 1.06 \times 10^7, Z_e = 30 \text{ cm}, Z_{e3} = 49 - 30 = 19 \text{ cm} \approx 18 \text{ cm}$

12.- Para la Base y con la gráfica:

$Z = 15$  , B:  $VRS_{est} \geq 100\%$  y  $\Sigma L_{n_2} = 1.02 \times 10^7$ ,  $Z_e = 16$  cm,  $Z_{e_2} = 30 - 16 = 14$  cm  $\cong 15$  cm

13.- Para la Carpeta Asfáltica suponiendo un VSR igual al de la base y con la gráfica:

$Z = 0$  , CA:  $VRS_{est} \geq 100\%$  y  $\Sigma L_{n_1} = 1.06 \times 10^7$ ,  $Z_e = 16$  cm,  $Z_{e_1} = 16$  cm

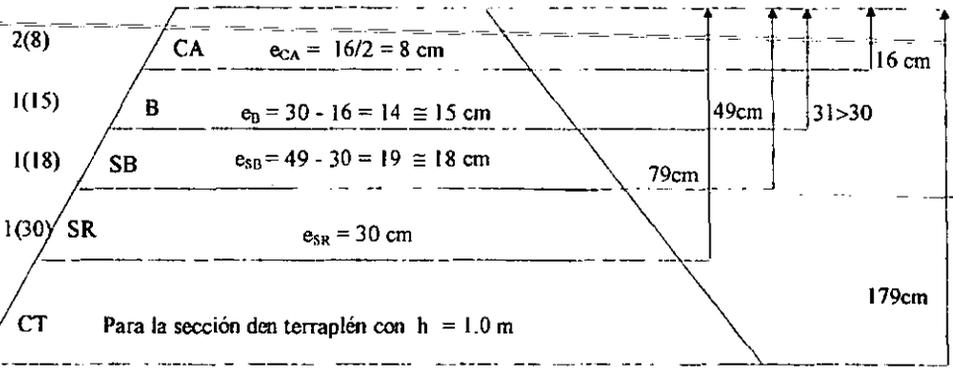


Figura 3.15 Dimensionamiento de la Sección

### 3.3 COSTOS DE LOS PAVIMENTOS.

Como todas las estructuras un pavimento representa un balance entre la satisfacción de requisitos de resistencia y estabilidad en general, por un lado y el costo, por otro. Un diseño correcto será el que llegue a satisfacer los necesarios requerimientos del servicio a costo mínimo. Naturalmente que para lograr el equilibrio podrán seguirse una gran cantidad de posibles líneas de conducta y de aquí emana uno de los aspectos de diseño más inciertos y de los que demandan mayor criterio.

De hecho, la primera disyuntiva se tiene al elegir el tipo de pavimento a emplear en cada caso.

Desde el año de 1870 la Ciudad de Londres aplica el concepto de **análisis del costo de vida** de un camino para seleccionar la alternativa mas favorable en la construcción del mismo. A la fecha existen diversos modelos que aplican este concepto.

El concepto del costo del ciclo de vida involucra todos los **costos del ciclo de vida**, así como todos los costos que se deben de tomar en consideración para la selección de una alternativa en la construcción de una obra vial, tales como:

- a) Costos de construcción inicial (geometría del camino, diseño del pavimento y drenajes).

Costos de deterioro y conservación (por tipo de pavimento y por rugosidad).

Costo del usuario (costo de operación de los vehículos, consumo de combustibles, composturas, tiempos de recorrido y accidentes).

La relevancia del análisis del costo de ciclo de vida como herramienta para la toma de decisiones en la inversión de proyectos y los estudios demuestran de manera cuantitativa la importancia que reviste el costo de operación de un vehículo por el deterioro de un camino y sus efectos en los niveles de inversión.

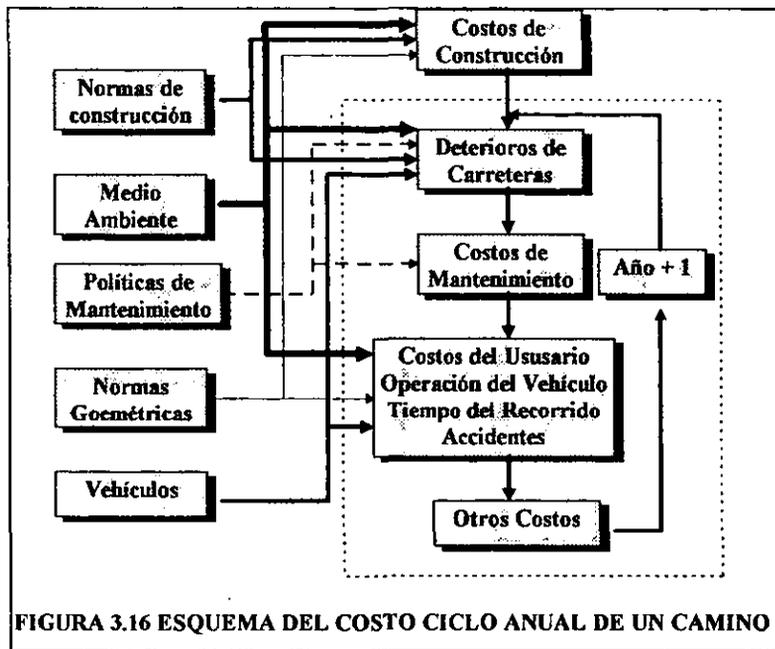


FIGURA 3.16 ESQUEMA DEL COSTO CICLO ANUAL DE UN CAMINO

Puesto que el impacto de los costos de transporte en el Producto Interno Bruto de una nación es sumamente significativo (para el caso de México 5 % del PIB), se debe considerar el concepto de Costos de Ciclo de Vida para la selección de la mejor alternativa de construcción de un camino y no sólo el costo inicial de construcción.

Con la aplicación de este concepto la alternativa de construcción de pavimentos flexibles se vuelve relevante, por su alto costo de conservación y el poco ahorro sustancial de combustible de los vehículos.

El costo de construcción inicial de una carretera debe ser visto como parte del costo total del proyecto. Su importancia es relativa si consideramos los datos del Banco Mundial: en un camino por el que circulan más de 50 vehículos diarios, los costos de operación serán mayores que la suma de los costos de construcción inicial y de conservación durante su vida útil.

Lo anterior queda ampliamente demostrado a través de los siguientes datos proporcionados por el Instituto Mexicano de Transporte: "Para una vialidad con un tránsito de 3000 vehículos diarios y una tasa de crecimiento usual en México, si el 1 representa el costo de construcción en 30 años, 10 representará el de conservación (incluyendo modernizaciones y ampliaciones) y 200 o más el de operación".

Los costos de operación son difíciles de calcular por la gran variedad en el tipo de vehículos, por la determinación exacta de los tiempos de demora, la valorización en los costos de accidentes, las condiciones topográficas del camino y el estado superficial del mismo. Sus cifras alcanzan billones de dólares, sumas que desgraciadamente no provienen de algún presupuesto, provienen del bolsillo de la población en pequeñas cantidades que sumadas alcanzan estas cifras.

Para el cálculo de los costos de operación habrá que tomar en cuenta los indicadores de estado superficial del pavimento como son:

**Índice de Servicio:** Corresponde a la valuación de la comodidad del viaje en una escala de 0 a 5, en auto en buenas condiciones de suspensión y alineación, circulando a velocidad normal de operación.

**Índice Internacional de Rugosidad:** Se define como la suma de las irregularidades verticales (en valor absoluto) a lo largo de la zona de rodadura de un tramo homogéneo de carretera entre la longitud del mismo y su unidad de medida es m/km, por lo cual es una medida entendida como las deformaciones verticales de la superficie del camino con respecto a la superficie plana, mismas que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de viaje, las cargas dinámicas y el drenaje superficial del camino.

A partir de estos datos el Instituto Mexicano del Transporte decidió utilizar su metodología e información aplicándola a un programa de cómputo, con lo cual se obtienen gráficas que relacionan diferentes tipos de vehículos, los índices antes mencionados y a partir de estos se obtienen las velocidades de operación, así como también factores del costo de operación base, para diferentes pendientes y curvaturas representativas de un tipo de terreno.

**Ejemplo del calculo de los Costos de Operación Anual.**

Un camino en terreno plano de dos carriles en el primer año alcanza la calificación de índice de servicio de 4.2 para reconstrucción y 2.6 a nivel de rechazo.

Con el calculo de los volúmenes de tránsito acumulados y composiciones aforadas del tramo de carretera San Juan del Río - Xilitla, se obtendrán los costos de operación anuales para cada tipo de vehículo.

**Datos:**

TDPA = 4156 Vehículos

Composición	
2:	74.6%
2:	3.0%
2:	21.7%
3-S3:	0.7%

Camino tipo A

Tramo: Km. 22+500 - 30+000

Año de servicio: 1997

Terreno plano

ISA reconstrucción: 4.2

ISA Actual: 2.6

) Para el calculo de los costos de operación anual por kilómetro en cada tramo se calculara para cada tipo de vehículo, de acuerdo a la siguiente formula:

$$COA = F_{COB} \times COB \times TDPA \times 365$$

Donde:

**COA** = es el costo de operación anual por kilómetro para todos los vehiculos de un mismo tipo.

**F<sub>COB</sub>** = es el factor del Costo de Operación Base que se lee de las gráficas para el tipo de vehículo, tipo de terreno y estado superficial deseado.

**COB** = es el Costo de Operación Base del vehículo que transita sobre una carretera, dicho costo se calcula como la suma de los productos de los diferentes consumos del vehiculo en un kilómetro de recorrido, por sus respectivos costos unitarios.

**TDPA** = es el Tránsito Diario Promedio Anual.

**365:** corresponde al numero de días del año.

Con respecto al COB, el uso de este concepto bastará actualizar los costos unitarios periódicamente, utilizando precios promedio nacionales de los vehículos y consumos que se indicaran más adelante, para actualizar el costo base.

Los costos unitarios no deberán incluir impuestos como IVA, el impuesto Sobre Adquisición de Vehículos Nuevos (ISAN), etc. Esto se debe a que desde una perspectiva nacional, interesan los costos y beneficios de la construcción y operación de los caminos representa para el país en su conjunto y en este sentido, los impuestos son sólo transferencias de dinero que el país no gasta, pues no forman parte del costo de producción de insumos o de los vehículos. Para los combustibles, derivados de un recurso cuyos precios se fijan en el ámbito internacional, debería tomarse,

teóricamente un precio internacional libre de impuestos; sin embargo, se considera que es razonablemente aproximado tomar el precio con el que se expende al público en México.

Otra consideración se refiere al cargo por concepto de intereses sobre el capital invertido en los vehículos, el cual puede fluctuar debido a la variabilidad de las tasas de interés e inflación. Para su actualización se incluye la siguiente tabla, donde puede leerse para diferentes valores de la tasa real anual, el consumo correspondiente en porcentaje del precio del vehículo. La tasa real anual se calcula como la diferencia entre la tasa anual de interés bancario, menos la inflación en el año.

**Tabla 3.24 Cargo por concepto de intereses para diferentes tasas reales**  
 (% del precio del vehículo nuevo por cada 1000 veh-km)

Tasa real	Vehículo Ligero	Camión Ligero	Autobús Foráneo	Camión de dos ejes	Camión Articulado
2	0.03	0.01	0	0.01	0.01
4	0.06	0.02	0.01	0.01	0.01
6	0.10	0.03	0.01	0.02	0.02
8	0.13	0.04	0.02	0.03	0.03
10	0.16	0.05	0.02	0.04	0.03
12	0.19	0.06	0.03	0.04	0.04
14	0.22	0.07	0.03	0.05	0.05
16	0.26	0.08	0.04	0.06	0.05
18	0.29	0.09	0.04	0.06	0.06
20	0.32	0.10	0.05	0.07	0.07
22	0.35	0.11	0.05	0.08	0.07
24	0.38	0.13	0.06	0.09	0.08
26	0.41	0.14	0.06	0.09	0.08
28	0.45	0.15	0.06	0.10	0.09
30	0.48	0.16	0.07	0.11	0.10
32	0.51	0.17	0.07	0.12	0.10
34	0.54	0.18	0.08	0.12	0.11
36	0.57	0.19	0.08	0.13	0.12
38	0.61	0.20	0.09	0.14	0.12
40	0.64	0.21	0.09	0.14	0.13
452	0.67	0.22	0.10	0.15	0.14
44	0.70	0.23	0.10	0.16	0.14
46	0.73	0.24	0.11	0.17	0.15
48	0.77	0.25	0.11	0.17	0.16
50	0.80	0.26	0.12	0.18	0.16

## 2) Calculo de los Costos de Operación Base.

Tabla 3.25 Costos de operación vehicular en la carretera : San Juan del Rio-Xilitla Vehículo Ligero, 1997		
<b>Consumos por cada 1000 vehículo-km</b>		
Consumo de combustible	litros	199.36
Uso de lubricantes	litros	1.85
Consumo de llantas	No. equivalente de llantas nuevas	0.06
Tiempo de operador	horas	10.73
Tiempo de pasajeros	horas	34.33
Retención de la carga	horas	10.73
Mano de obra de mantenimiento	horas	2.10
Refacciones	% precio vehículo nuevo	0.14
Depreciaciones	% precio vehículo nuevo	0.72
Intereses	% precio vehículo nuevo	0.27
<b>Costos Unitarios</b>		
Precio del vehículo nuevo	\$	60,000.00
Costo del combustible	\$/litro	3.09
Costo del lubricante	\$/litro	18.00
Costos por llanta nueva	\$/llanta	450.00
Tiempo de operador	\$/hora	35.0
Tiempo de pasajeros	\$/hora	15.00
Retención de la carga	\$/hora	0.00
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	6.00
Tasa de interés anual real	%	17.00
Costos indirectos por vehículo-km	\$	0.29
<b>Costo de Operación por 1000 vehículo-km</b>		<b>2,546.34 100%</b>
Consumo de combustible	\$	616.02 24.2%
Uso de lubricantes	\$	33.33 1.3%
Consumo de llantas	\$	26.93 1.1%
Tiempo de operador	\$	375.47 14.7%
Tiempo de pasajeros	\$	514.93 20.2%
Retención de la carga	\$	0 0.0%
Mano de obra de mantenimiento	\$	12.59 0.5%
Refacciones	\$	82.46 3.2%
Depreciaciones	\$	434.28 17.1%
Intereses	\$	160.33 6.3%
Costos indirectos	\$	290.00 11.4%

**Tabla 3.26 Costos de operación vehicular en la carretera : San Juan del Rio-Xilitla  
Autobús de dos ejes, 1997**

<b>Consumos por cada 1000 vehículo-km</b>		
Consumo de combustible	litros	383.54
Uso de lubricantes	litros	3.37
Consumo de llantas	No. equivalente de llantas nuevas	0.26
Tiempo de operador	horas	10.73
Tiempo de pasajeros	horas	278.92
Retención de la carga	horas	10.73
Mano de obra de mantenimiento	horas	10.79
Refacciones	% precio vehículo nuevo	0.13
Depreciaciones	% precio vehículo nuevo	0.06
Intereses	% precio vehículo nuevo	0.04
<b>Costos Unitarios</b>		
Precio del vehículo nuevo	\$	468,000.00
Costo del combustible	\$/litro	2.46
Costo del lubricante	\$/litro	18.00
Costos por llanta nueva	\$/llanta	1700.00
Tiempo de operador	\$/hora	70.0
Tiempo de pasajeros	\$/hora	9.38
Retención de la carga	\$/hora	0.00
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	5.50
Tasa de interés anual real	%	17.00
Costos indirectos por vehículo-km	\$	0.06
<b>Costo de Operación por 1000 vehículo-km</b>		<b>6,009.28      100%</b>
Consumo de combustible	\$	943.51      15.7%
Uso de lubricantes	\$	60.66      1.0%
Consumo de llantas	\$	442.00      7.4%
Tiempo de operador	\$	751.1      12.5%
Tiempo de pasajeros	\$	2616.27      43.5%
Retención de la carga	\$	0      0.0%
Mano de obra de mantenimiento	\$	59.35      1.0%
Refacciones	\$	608.40      10.1%
Depreciaciones	\$	280.80      4.7%
Intereses	\$	187.20      3.1%
Costos indirectos	\$	60.00      1.0%

**Tabla 3.27 Costos de operación vehicular en la carretera : San Juan del Rio-Xilitla  
Camión de dos ejes, 1997**

Consumos por cada 1000 vehículo-km		
Consumo de combustible	litros	326.53
Uso de lubricantes	litros	3.37
Consumo de llantas	No. equivalente de llantas nuevas	0.16
Tiempo de operador	horas	15.46
Tiempo de pasajeros	horas	0.00
Retención de la carga	horas	15.46
Mano de obra de mantenimiento	horas	8.47
Refacciones	% precio vehículo nuevo	0.16
Depreciaciones	% precio vehículo nuevo	0.10
Intereses	% precio vehículo nuevo	0.07
Costos Unitarios		
Precio del vehículo nuevo	\$	230,000.00
Costo del combustible	\$/litro	3.09
Costo del lubricante	\$/litro	18.00
Costos por llanta nueva	\$/llanta	1250.00
Tiempo de operador	\$/hora	50.0
Tiempo de pasajeros	\$/hora	0.00
Retención de la carga	\$/hora	0.00
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	5.50
Tasa de interés anual real	%	17.00
Costos indirectos por vehículo-km	\$	0.09
<b>Costo de Operación por 1000 vehículo-km</b>		<b>2,938.22      100%</b>
Consumo de combustible	\$	1008.98      34.3%
Uso de lubricantes	\$	60.66      2.1%
Consumo de llantas	\$	200.00      6.8%
Tiempo de operador	\$	773.00      26.3%
Tiempo de pasajeros	\$	0.00      0.0%
Retención de la carga	\$	0.00      0.0%
Mano de obra de mantenimiento	\$	46.59      1.6%
Refacciones	\$	368.00      12.5%
Depreciaciones	\$	230.00      7.8%
Intereses	\$	161.00      5.5%
Costos indirectos	\$	90.00      3.1%

**Tabla 3.28 Costos de operación vehicular en la carretera : San Juan del Rio-Xilitla  
Camión Articulado, 1997**

Consumos por cada 1000 vehículo-km			
Consumo de combustible	litros	799.63	
Uso de lubricantes	litros	5.45	
Consumo de llantas	No. equivalente de llantas nuevas	0.50	
Tiempo de operador	horas	19.49	
Tiempo de pasajeros	horas	0.00	
Retención de la carga	horas	19.49	
Mano de obra de mantenimiento	horas	30.48	
Refacciones	% precio vehículo nuevo	0.27	
Depreciaciones	% precio vehículo nuevo	0.08	
Intereses	% precio vehículo nuevo	0.07	
Costos Unitarios			
Precio del vehículo nuevo	\$	668,300.00	
Costo del combustible	\$/litro	3.09	
Costo del lubricante	\$/litro	18.00	
Costos por llanta nueva	\$/llanta	2000.00	
Tiempo de operador	\$/hora	60.0	
Tiempo de pasajeros	\$/hora	0.00	
Retención de la carga	\$/hora	0.00	
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	5.50	
Tasa de interés anual real	%	17.00	
Costos indirectos por vehículo-km	\$	0.06	
Costo de Operación por 1000 vehículo-km		7,835.76	100%
Consumo de combustible	\$	2470.86	31.5%
Uso de lubricantes	\$	98.10	1.3%
Consumo de llantas	\$	1000.00	12.8%
Tiempo de operador	\$	1169.40	14.9%
Tiempo de pasajeros	\$	0.00	0.0%
Retención de la carga	\$	0.00	0.0%
Mano de obra de mantenimiento	\$	167.64	2.1%
Refacciones	\$	1824.70	23.3%
Depreciaciones	\$	564.90	7.2%
Intereses	\$	480.16	6.1%
Costos indirectos	\$	60.00	0.8%

Una vez obtenidos los Costos de Operación Base, se podrá obtener el Factor del Costo de Operación Base, que se lee de las gráficas de acuerdo al tipo de vehículo, entrando con los datos proporcionados al inicio, como son el tipo de terreno e índices de servicio anual.

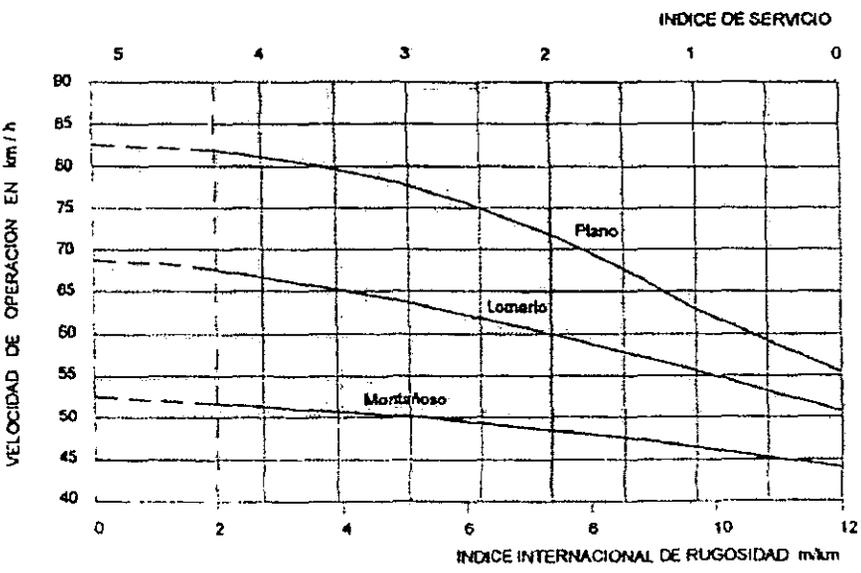
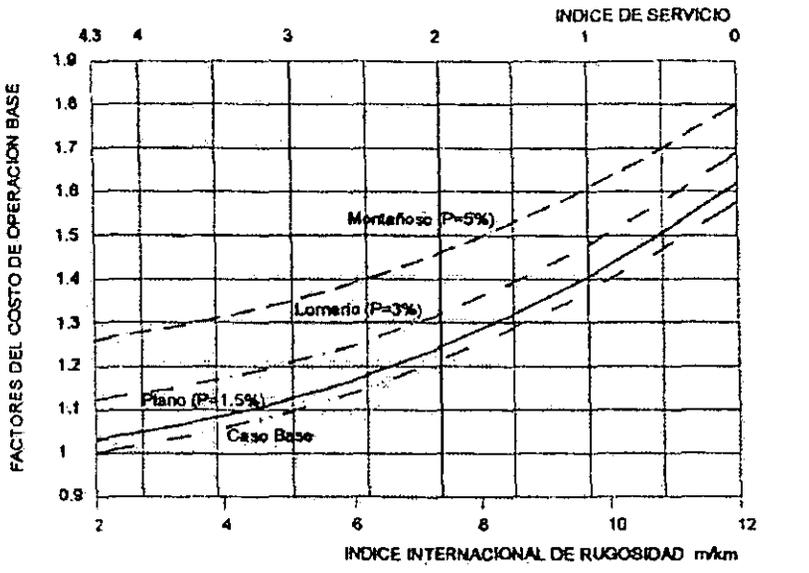


Figura 3.17 Gráficas, Vehículo Ligero

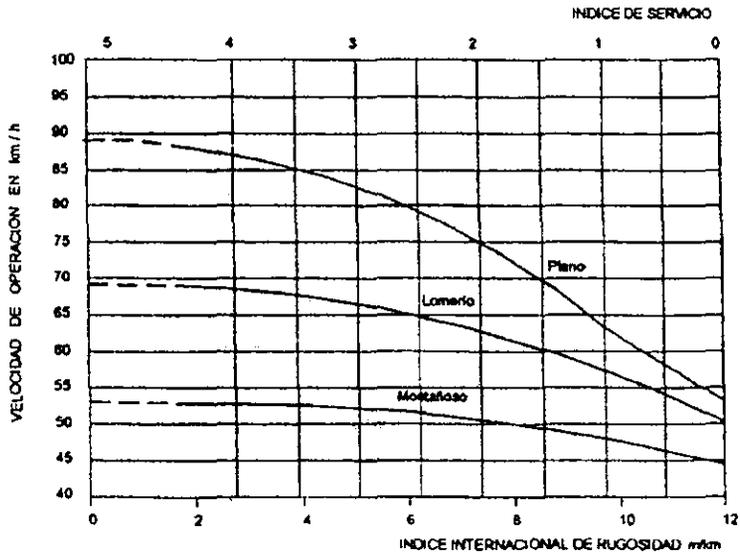
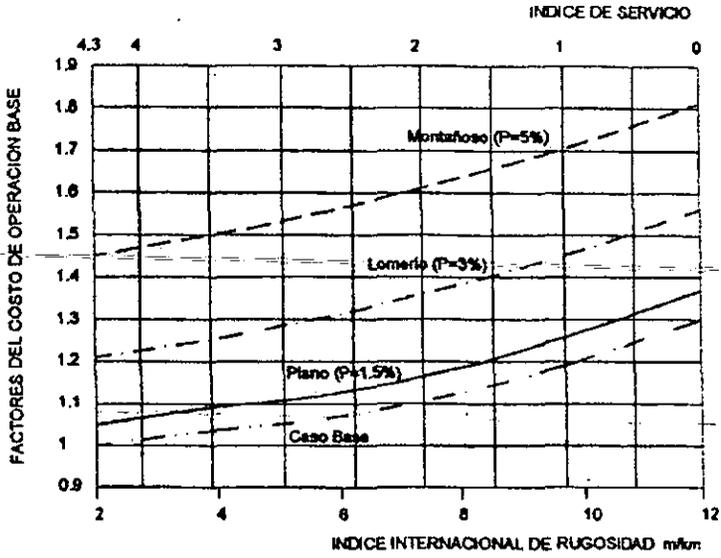


Figura 3.18 Gráficas, Autobús Foráneo

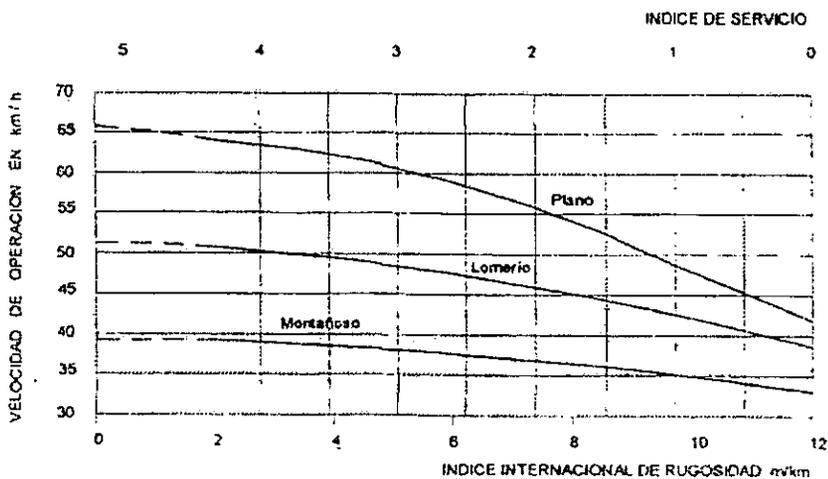
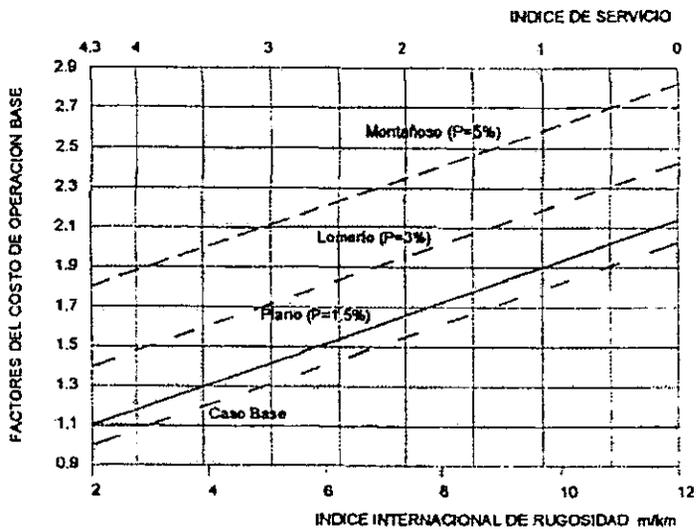


Figura 3.19 Gráficas, Camión de Dos Ejes

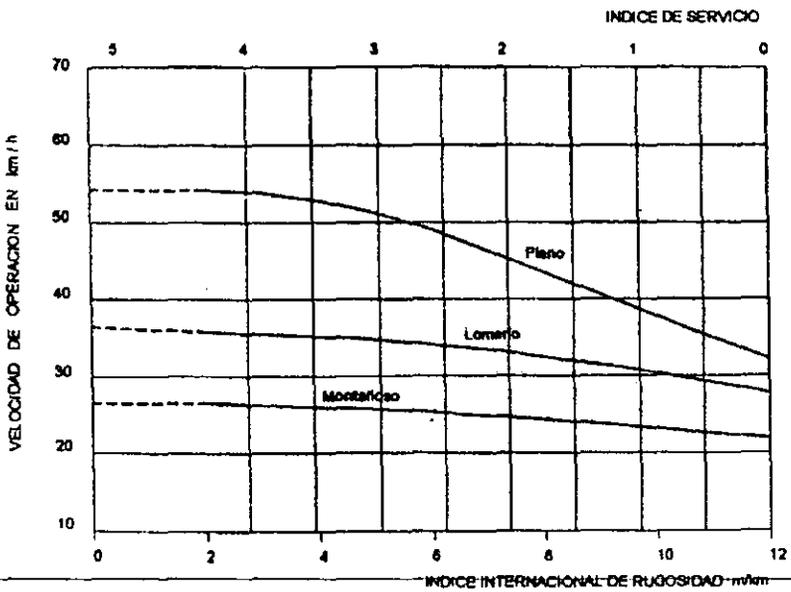
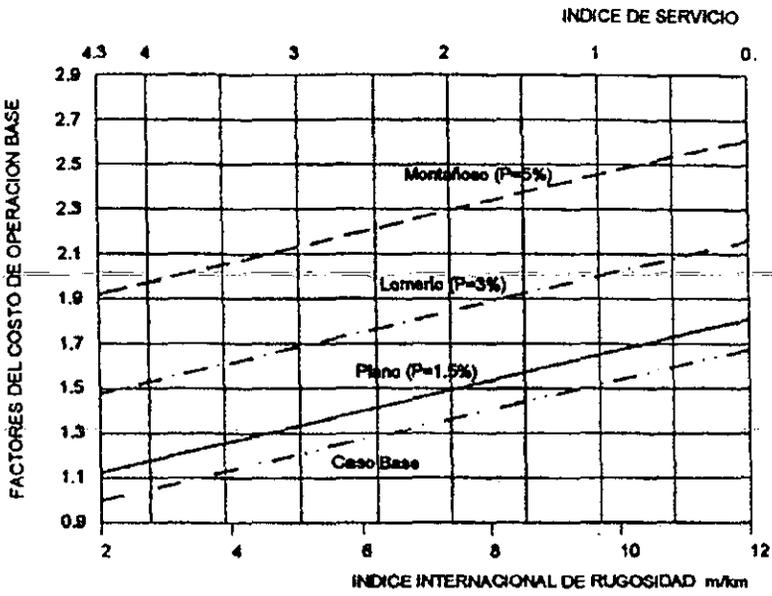


Figura 3.20 Gráficas, Camión Articulado

1. Resultados de gráficas para:

TABLA 3.29

Terreno plano	ISA		F <sub>COB</sub>	
	Reconstrucción	Actual	Reconstrucción	Actual
A2	4.2	2.6	1.035	1.173
B2	4.2	2.6	1.05	1.13
C2	4.2	2.6	1.075	1.23
T3-S3	4.2	2.6	1.14	1.33

5. Una vez que se obtienen todos estos datos podrá conformarse la siguiente tabla:

6. Se calculara el Número de vehículos a cada lado (# v.a.l.) = TPDA x composición, el cual sustituirá al TDPA en la formula para el calculo del COA.

TABLA 3.30

Vehiculos	# v.a.l.	ISA (Terreno plano)		F <sub>COB</sub> (de tablas)		COB(\$/km)	Días	COA\$/km	
		Recons	Actual	Recons	Actual			Reconstruido	Actual
A2:	3100	4.2	2.6	1.035	1.17	2546.34	365	2,982,389,547.8	3,380,041,487.6
C2:	125	4.2	2.6	1.05	1.13	6009.28	365	287,145,235.3	309,022,967.5
C3:	902	4.2	2.6	1.075	1.23	2938.22	365	1,039,731,762.0	1,189,646,574.2
T3-S2:	29	4.2	2.6	1.14	1.33	7835.76	365	94,853,248.8	110,662,123.6

7. En resumen el COA/km en el 1er año de servicio para cada vehículo será:

TABLA 3.31

Vehiculos	Reconstruido	Actual
A2:	2,982,389,547.8	3,380,041,487.6
C2:	287,145,235.3	309,022,967.5
C3:	1,039,731,762.0	1,189,646,574.2
T3-S2:	94,853,248.8	110,662,123.6
Tránsito Anual	4,404,119,793.9	4,989,373,152.8

8. Finalmente para obtener lo que serían los beneficios por kilómetro, se calcularan como el resultado de la diferencia de los Costos de Operación del camino Actual y el Reconstruido en el primer año de servicio, para llegar a un total, con la sumatoria de estos.

$$\text{Beneficios (\$/km)} = \text{COA}_{(\text{Actual})} - \text{COA}_{(\text{Reconstruido})}$$

TABLA 3.32

COA\$/km		
Reconstruido	Actual	Beneficios\$/km
2,982,389,547.8	3,380,041,487.6	397,651,939.7
287,145,235.3	309,022,967.5	21,877,732.2
1,039,731,762.0	1,189,646,574.2	149,914,812.2
94,853,248.8	110,662,123.6	15,808,874.8
<b>Total de Beneficios/km = \$ 585,253,358.9</b>		

El ejemplo es una estimación burda, destinada a dar ordenes de magnitud, todo lo anterior representa para el país un sobre costo de operación por mal estado del pavimento, dentro de los límites realistas, puede llegar a costar al país una cifra total anual que en muy pocos años iguala al costo total de construcción del tramo.

En conclusión conviene entonces, en términos generales, aplicar diseños con períodos útiles prolongados cada vez que sea posible pues, por alto que sea su costo rápidamente será recuperado por el país, al reducirse los costos de operación de los usuarios.

En consecuencia se vuelve tarea prioritaria mantener costos de operación lo más bajo posibles para incrementar la productividad y competitividad de un país.

El costo del pavimento dentro del costo total de un proyecto de una vialidad fluctúa entre un 18 % a un 25 % los diferenciales encontrados en los costos iniciales de construcción no representan un incremento significativo en el costo total del proyecto.

El mercado de la construcción de las vialidades se ve afectado por diversas circunstancias, principalmente por aquellas de orden económico, por lo que es imperativo mantener un monitoreo constante de sus precios para conocer sus tendencias.

Como lo demuestran los datos anteriores, el no considerar todos los costos que afectan la vida de un camino redundará a corto plazo en altos costos de conservación-operación.

En cuanto al análisis de costos para su actualización se monitorean los precios de diversas propuestas económicas en los concursos que ha llevado a cabo el sector público. Donde para la descripción del análisis se toman en cuenta todos los puntos mencionados en los subcapítulos II y III de esta tesis.

Todo lo anteriormente mencionado requiere una planificación de la infraestructura vial en cuanto a su construcción (calidad en los trabajos, control en las especificaciones y aplicación de nuevas tecnologías), mantenimiento con programas de aplicación de recursos económicos en los tiempos requeridos con los trabajos adecuados y de calidad, seleccionados a través de una metodología que permita aplicar conceptos de beneficio/costo.

### **Análisis de Beneficio - Costo.**

Dentro de los análisis que se deben de llevar a cabo, una vez que se realizó la selección de la alternativa de solución, se encuentra el estudio Beneficio-Costo, el cual es necesario en la realización de cualquier proyecto, el propósito fundamental de la evaluación Beneficio-Costo es medir si los beneficios superan o no a los costos.

El concepto de costo y beneficio económico se refiere a aquel generado por la sociedad en su conjunto e incluye los beneficios y costos comúnmente conocidos como sociales.

Para medir los costos y beneficios económicos, estos deben de expresarse en términos monetarios, ya que este es el único común denominador práctico para la evaluación directa entre ambos. Esto sin embargo puede representar un problema, ya que los precios del mercado no necesariamente reflejan los costos reales en la medida en que no existe competencia perfecta en la mayor parte de los sectores de la economía, ni tampoco permiten evaluar la rentabilidad de la inversión desde el punto de vista de la economía nacional.

### **Indicadores de la Evaluación.**

Los indicadores de la evaluación económica utilizados son el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la relación Beneficio/Costo (B/C).

**“Valor Presente Neto”.**

Este es el indicador mas comúnmente utilizado para fines de evaluación y se define como la diferencia entre los beneficios y los costos actualizados al año de inicio de proyecto, mediante la utilización de una tasa de actualización adecuada.

**“Tasa Interna de Retorno”.**

Es aquella tasa de actualización que permite igualar los costos y los beneficios actualizados es decir, es la tasa de actualización para el cual el valor presente del proyecto es nulo.

Es conveniente señalar que el valor presente neto proporciona el valor presente neto de los flujos a una rentabilidad prefijada, mientras que la tasa interna de retorno proporciona el valor del rendimiento esperado del proyecto.

**“Relación Beneficio-Costo”.**

Indica en que medida los beneficios actualizados obtenidos a lo largo de la vida útil del proyecto son mayores que los costos actualizados. Esta relación es una medida de la rentabilidad de un proyecto respecto a la tasa de actualización.

**Identificación de los Beneficios y Costos.**

Beneficios. Los beneficios se determinan en base en los ahorros obtenidos en diferentes conceptos que son:

- a) Ahorros en los costos de operación de los vehículos que circularan en la vialidad. Estos se refieren al ahorro en combustibles y lubricantes, mantenimiento y costos de oportunidad de la rotación del vehículo. Los beneficios están relacionados directamente en la distancia a recorrer y la velocidad promedio alcanzada.
- b) Dentro de los beneficios al llevar a cabo cualquier proyecto vial se encuentra un menor desgaste en todos los vehículos que utilizaran la vialidad , ya que por ejemplo al tener una vía de acceso controlado, tener una nueva carpeta de rodamiento por la que circulen los vehículos y no tener baches, topes, resultara en una mayor fluidez a todo lo largo de su vida útil.
- c) Al mismo tiempo el desgaste de la infraestructura será menor desde el momento en que es una Vía de acceso controlado por ejemplo, que cumple con las especificaciones para ser considerada como tal y que implica menor inversión a lo largo de su vida útil.
- d) Ahorro en tiempos de pasajeros. Se define como la diferencia de entre el tiempo que cada persona tardara en llegar al punto terminal del recorrido en caso en que se realice el proyecto y el tiempo que tardara actualmente. Esta diferencia deberá multiplicarse por el número de personas beneficiadas, esto es, por la ocupación promedio del vehículo y el número de vehículos.

El valor monetario del tiempo ahorrado puede calcularse tomando el valor de una hora-hombre en términos del salario que este generaría si dedicara el tiempo ahorrado al trabajo.

La presente evaluación se considero que cada hora ahorrada en el transporte equivale únicamente a una hora del salario mínimo restándola adicionalmente con un 50 % dado que se considera que el tiempo no dedicado al trabajo no vale igual que el tiempo efectivamente laborado, de tal manera que los beneficios estimados por este concepto representan una cuota inferior de los beneficios para la hipótesis de trafico correspondiente.

De los costos de mantenimiento y reposición requeridos a lo largo del periodo evaluado. Los primeros se estiman en un 3 % de la inversión y los segundos se refieren básicamente al costo de reencarpetado cada 5 años.

Por lo que se refiere a los precios sombra, que son los precios que reflejan en forma justa el valor económico real de un bien o servicio y que excluyen las distorsiones provocadas por el mercado, como son monopolios, impuestos, subsidios controles, etc., prácticamente todos los conceptos de inversión y ahorros se refieren a materiales nacionales, por lo que se refleja que los precios de mercado reflejan adecuadamente los precios para el país, con excepción de la gasolina y lubricantes que tienen un porcentaje de precio sombra por subsidio.

## EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES Y ESTRUCTURALES DE LOS PAVIMENTOS.

### 4.1 ALCANCES.

La evaluación de los pavimentos se describe como el conjunto de actividades que se realizan para determinar las condiciones estructurales y funcionales en que se encuentra un pavimento.

Constituye un aspecto que ha adquirido una gran importancia en la tecnología de los pavimentos, que empieza desde la misma ejecución de la obra, su puesta en operación y durante el ciclo de vida mediante mediciones periódicas del comportamiento del pavimento, investigando la evolución, en el tiempo y en el espacio, de los deterioros, capacidad estructural, calidad de rodamiento, seguridad, costos asociados a la conservación y operación del pavimento, por lo que tiene un importante papel dentro de la aplicación de los sistemas de administración de los pavimentos.

La información adquirida en el proceso de evaluación tiene aplicaciones en la verificación de la eficiencia con que el pavimento cumple con sus funciones desde el ciclo de vida, efectuar la planeación y programación racional de las obras de mantenimiento y rehabilitación a futuro, así como la introducción de mejoras tecnológicas en los aspectos de diseño, construcción, control de calidad, mantenimiento y operación, con énfasis en los aspectos económicos y de relaciones con el usuario, generado así mismo los aspectos relevantes que constituyan temas específicos de investigación.

### 4.2 EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL.

La evaluación de un pavimento tiene como propósito conocer el estado actual del mismo desde los puntos de vista superficial y estructural, además de establecer las razones por las que se encuentra en esa condición. Con la finalidad de simular lo mejor posible el efecto producido por el tránsito de vehículos, se han diseñado diversos equipos con la finalidad de determinar la condición estructural de un pavimento a través de índices, calificaciones, para posteriormente, conocer los módulos elásticos de las diferentes capas que lo forman.

En el campo de la evaluación se ha desarrollado una importante tecnología para la auscultación de los pavimentos, mediante la aplicación de dispositivos clasificados dentro de la ejecución de pruebas no destructivas y destructivas, mediante dispositivos de categoría convencional así como los

que utilizan los más recientes conceptos tecnológicos, gracias a lo cual es posible obtener información con alta densidad de medidas, registro continuo y en algunos de ellos captada a las velocidades de operación del pavimento. La selección de dispositivos por emplear depende de la política establecida por el organismo, tomando en cuenta su propia organización, manejo de datos, costo de los equipos y de su operación, etc.

Las características que se evalúan generalmente son las deformaciones en coincidencia con las rodadas (roderas), agrietamientos, rugosidad, resistencia al derrapamiento, así como las características físicas y mecánicas de los materiales, incluyendo su respuesta bajo la acción de cargas.

#### Dispositivos para la evaluación de pavimentos

TABLA 4.0

Aspecto por investigar	Dispositivo
Control de compactación, contenido de agua o asfalto	Densímetro nuclear
Resistencia de las capas subrasante, subbase y base, respuesta a la aplicación de cargas estáticas.	CBR in situ, Prueba de placa, Viga Benkelman
Módulos elásticos obtenidos mediante las deformaciones producidas por cargas dinámicas.	Dynalect (FWD) deflectómetro de impacto
Espesor de las capas de la estructura del pavimento	Radar de penetración terrestre (RPT)
Estado superficial, determinación de deterioros.	Gerpho
<b>Características superficiales:</b>	
Microtextura	Péndulo de fricción
Macrotextura	Prueba de la mancha de arena
Resistencia al derrapamiento	Mumeter Perfilógrafo de California Mays Ride Meter (CRM) Road surface tester (RST)
Rugosidad	Rugosímetro del BPR Perfilómetro CHLOE Perfilómetro británico RRL Perfilómetro dinámico SDP
Perfil transversal	Perfilógrafo LCPC Perfilógrafo Láser

Al respecto de algunos de los dispositivos de pruebas no destructivas antes mencionados se puede decir:

#### Viga Benkelman.

Es un aparato que sirve para medir las deflexiones de un pavimento flexible bajo una carga estática. Esta compuesta como se muestra en la figura por un brazo D fijo se sitúa nivelado sobre el pavimento apoyado en tres puntos (un punto A y dos puntos B). Un brazo móvil D<sub>1</sub> está acoplado al brazo fijo por una articulación rotatoria en el punto que se señala. Cuando las llantas duales de un camión cargado se coloca de manera que el punto C del brazo móvil quede centrado entre ellas (nótese que no es esa la posición que se muestra en el esquema), dicho punto bajará una cierta cantidad por la deformación del movimiento vertical provocada en el pavimento por el peso de las llantas. Por tal causa el brazo D<sub>1</sub> da origen a un movimiento rotacional que girará en torno a la articulación con respecto al brazo D, previamente nivelado (se supone que las dimensiones de la viga

on tales que la posición el brazo D no es afectada por la deformación causada por las llantas) y de esta manera el extensómetro que se señala hará una lectura. Si se retiran ahora las llantas cargadas, el punto C se recuperará en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior el extensómetro hará otra lectura.

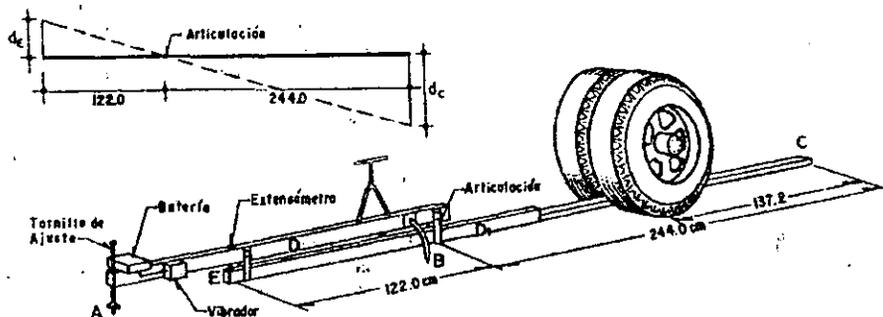


Figura 4.0 Esquema del deflectómetro Benkelman

Con las dos lecturas del extensómetro es posible saber cuánto se movió el punto E en la operación y con la geometría de la viga se obtendrá correspondientemente la recuperación elástica de C al quitar las llantas, tal como se ilustra en el croquis operativo que aparece. Nótese que en realidad se ha medido la recuperación de C al remover la carga y no la deformación al colocar esta.

El método en sí es simple y rápido pero tiene la desventaja de utilizar vehículos de prueba a velocidades relativamente pequeñas. Las deflexiones obtenidas sirven para determinar espesores de refuerzo o valores de deflexión permisibles, en función del volumen de tránsito y los espesores actuales del pavimento, dependiendo del método que se use. Con este aparato es posible realizar de 300 a 400 medidas individuales por jornada de trabajo.

Existen otros dos aparatos que operan bajo el mismo principio:

El **Deflectómetro viajero** desarrollado por la división de carreteras de California funciona de manera automatizada y utilizando dispositivos electrónicos, viaja a una velocidad del orden de 1 km./hr.

La versión europea de este dispositivo lo constituye el **Deflectógrafo Lacroix**, que se desplaza a una velocidad tres veces mayor. Dichos instrumentos tienen un rendimiento aproximado de 2000 mediciones individuales por jornada de trabajo.

### Dynalect.

Es un sistema electromecánico que mide la deflexión dinámica de la superficie del pavimento cuando se le aplica una carga oscilatoria (senoidal). El aparato medidor, consiste en un generador de fuerza dinámica, un aparato móvil de medición, una unidad de calibración y una serie de cinco geófonos móviles, montados en un pequeño remolque el cual estando en posición fija, ejerce sobre la superficie del pavimento, mediante dos ruedas de acero cubiertas de hule, una carga oscilatoria cuya intensidad es de 1000 lb. en los puntos máximos. La amplitud resultante de la deflexión provocada por las fuerzas dinámicas ejercidas sobre el pavimento (impactos), cuyos efectos se recogen por el sistema de sismógrafos alineados (geófonos), estos dan lecturas más bajas según van estando más alejados del

impacto. Generalmente se utiliza la lectura del primer geófono como valor de cálculo, pero al dibujar las lecturas en un aparato colocado dentro de la cabina del vehículo remolcador, donde se obtiene una gráfica cuya inclinación, quiebres y cambios de pendiente puedan dar a un intérprete experimentando una imagen cualitativa muy clara del estado en que se encuentra el pavimento, en el espesor de influencia del proceso dinámico; desde el punto de vista el Dynaflect realiza una especie de estudio geofísico del espesor influido. Una ventaja importante del aparato es el no requerir ningún punto de referencia fijo en la superficie en la que se realizan las mediciones y otra es la operación automática, libre de errores de operación y susceptible de ser realizada a una velocidad relativamente alta del remolque.



Pruebas no destructivas de deflexión con el equipo dinámico Dynaflect

Los **Perfilómetros**, (CHLOE, RRL), antes mencionados en la tabla 4.0, están montados en marcos metálicos de 6 a 10 m de largo, se desplazan sobre ruedas y se usan para calcular la variación de la pendiente longitudinal del camino, es decir miden la deformación longitudinal o desplazamientos verticales acumulativos por el cambio de ángulo entre dos líneas de referencia, y están dotados de dispositivos registradores y graficadores, no obstante, estos dispositivos tienen limitaciones como son lentitud de operación, tienen poca aproximación cuando miden longitudes de onda menores que la distancia entre las dos ruedas medidoras y carencia de información sobre las ondulaciones mayores que dicha distancia.

Los equipos de tipo dinámico, (SPD), son de alto rendimiento y en general muy sofisticados registran el perfil real del pavimento, se desplazan a la velocidad normal de operación y pueden detectar y analizar grandes longitudes de onda, lo que es sumamente útil en el caso de vialidades de alta velocidad. Finalmente tienen una alta repetibilidad y pueden usarse como instrumentos de calibración para otros equipos. Como desventaja principal están sus costos de adquisición, operación y análisis por computadora, además de la complejidad de sus sistemas que requieren de personal altamente calificado. Pueden mencionarse dentro de este tipo los perfilómetros Surface Dynamics, e GMR, y los de ondas de alta frecuencia y rayos láser.

**Perfímetro Láser** es un sistema de dispositivos de medición cuyo objetivo es obtener un diagnóstico de la superficie de rodamiento de una carretera a altas velocidades (de hasta 110 km/h.).

Tal diagnóstico se efectúa a través del perfil longitudinal, secciones transversales, profundidades de rodaderas y el cálculo del índice de irregularidad internacional (IRI).

Este sistema esta formado por cinco emisores láser y cinco fotocaptosres que van tomando lecturas a cada 10 cm., esta información es enviada a un procesador y posteriormente a una computadora portátil instalados ambos dentro de un vehículo. Cabe mencionar que este tipo de equipos puede llegar a tener hasta 11 emisores láser.

Los sensores láser se encuentran alojados en una barra de aluminio de una longitud de 2.9 m., la cual está montada en la defensa delantera de una camioneta tipo "van". Así que para poder medir la sección en todo lo ancho del carril, estos se colocan en forma angulada para de esta manera tener mayor cobertura.

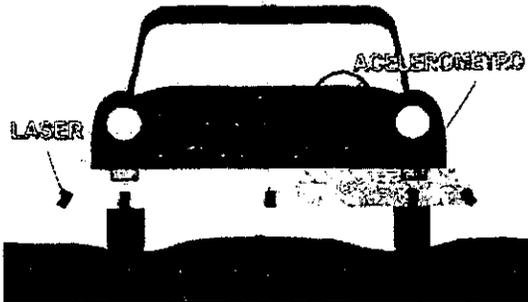


Figura 4.1 Ubicación de los sensores LÁSER y acelerómetros

Para obtener el perfil longitudinal en ambas rodadas del carril, el equipo cuenta con 2 acelerómetros de alta precisión, los cuales tienen como función determinar la aceleración vertical cuando el vehículo está en movimiento. A partir de este perfil se calcula el IRI, el modelo físico que se sigue es el conocido como cuarto de coche, siendo una rueda que soporta dos masas. Este modelo trata de reproducir el comportamiento de un vehículo circulando a una velocidad determinada e ir siguiendo las irregularidades de la superficie, así que las masas se mueven verticalmente. Dicho movimiento es medido en forma de aceleración por los acelerómetros antes mencionados.

Este equipo se caracteriza por su alto rendimiento y versatilidad, ya que puede efectuar mediciones a las velocidades de operación del camino en cuestión, es decir, en vialidades (zonas urbanas), carreteras y autopistas.



Figura 4.2 Vista del Láser angulado

Los **rugómetros tipo Mays** que es un vehículo el cual utiliza recientemente una cámara fotográfica adaptada para levantar inventarios en las carreteras, registrando, además de la rugosidad, aspectos de visibilidad, pendiente, fuerza centrífuga, etc. Están además capacitados para proporcionar alto volumen de información, producen poca o nula interferencia con el tránsito y tienen una repetibilidad adecuada. Este dispositivo electromecánico que mide el número y magnitud de las deformaciones verticales a que se da lugar entre el cuerpo del vehículo que lo transporta y el centro del diferencial del mismo vehículo. Un sistema de cables y poleas transmiten estos movimientos y los registra un contador accionado por un interruptor de rodillo dividido en segmentos de un octavo de pulgada. El sistema de calificación se establece en función de la frecuencia y la magnitud de las deformaciones. Este aparato tiene las ventajas de que su operación es sencilla, su costo es relativamente bajo y su rendimiento diario alto, puesto que el vehículo en el cual va montado puede viajar a una velocidad de 50 a 60 km./hr. Las desventajas de este estriban en la necesidad de calibrarlo frecuentemente y en la imposibilidad de medir perfiles del pavimento o grandes ondulaciones y la influencia que las características del propio vehículo imprimen en las mediciones.

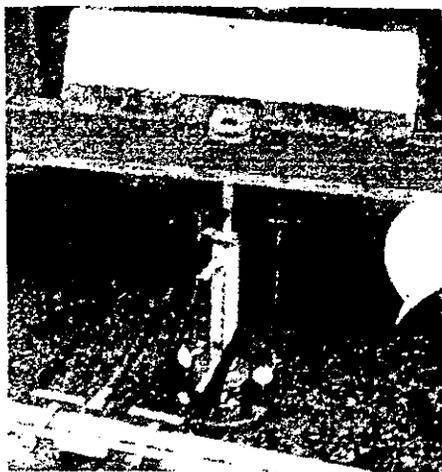
El **Gerpho** es un vehículo que dotado de una cámara cuya velocidad se sincroniza con la de desplazamiento, toma una fotografía continua de la superficie del pavimento. Este dispositivo se desplaza a la velocidad de operación, sin interferencias con el tránsito y es alto el rendimiento. Como desventaja principal se tiene su alto costo.

### **Pruebas de laboratorio y de campo.**

**Prueba de placa.** Esta se realiza para valuar la capacidad de soportante de las subrasantes, las bases y en ocasiones, los pavimentos completos. Se utiliza tanto en el diseño de pavimentos rígidos como flexibles.

La prueba consiste en cargar una placa circular, en contacto estrecho con el suelo por probar, midiendo las deformaciones finales correspondientes a los distintos incrementos de carga utilizados.

Es frecuente el uso de placas de 30.5 cm. (12 pulg.), de diámetro o de placas de área igual a contacto de una llanta. Para impedir la flexión del elemento se colocan encima otras placas de diámetros decrecientes, que dan al conjunto la rigidez deseada. La carga se transmite con gatos hidráulicos con reacción dada generalmente con camiones cargados. Las deformaciones de la placa suelen medirse en cuatro puntos, dos a dos opuestos y dispuestos ortogonalmente (en cruz), por medio de extensómetros ligados a un puente, cuyo apoyo se coloca lo suficientemente lejos de la placa como para poder considerarlo fijo. Como se muestra esquemáticamente:



Pruebas de placa en la estructura de pavimento

La carga unitaria que se puede considerar que aplica la placa depende de la relación entre su perímetro y su área, así como de lo resistente que sea el suelo. La carga unitaria (presión normal) que la placa transmite, para una deflexión dada, corresponde a la siguiente expresión:

$$\sigma = n + m \frac{p}{A}$$

Donde :

$\sigma$ : es la presión normal transmitida por la placa.

$n, m$ : son coeficientes empíricos obtenidos experimentalmente.

$p/A$ : es la relación entre el perímetro y el área de la placa.

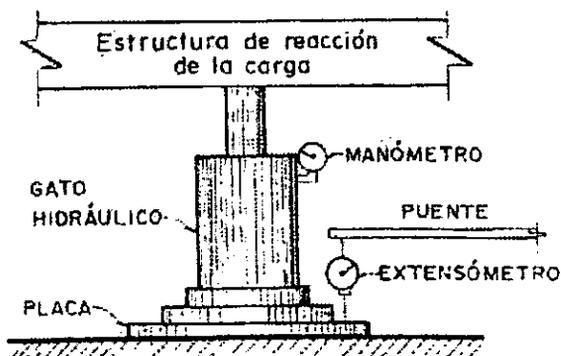


Figura 4.3 Esquema del dispositivo para la prueba de placa

La fórmula se basa en relaciones empíricas y no presupone para el suelo ningún modelo especial de comportamiento (por ejemplo, elástico). Los valores de  $n$  y  $m$  han de determinarse

haciendo por lo menos dos pruebas con placas diferentes, con la misma deflexión y midiendo la presión de cada una.

Por medio de una prueba de placa puede calcularse el módulo de reacción de una subrasante dada. Este concepto se define como la presión que ha de transmitir la placa para producir en el suelo una deformación fijada previamente.

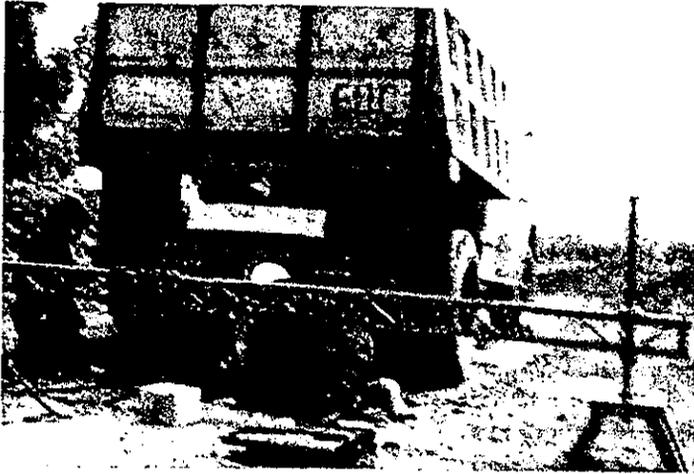
$$k = \frac{p}{\Delta} \left[ \frac{\text{Fuerza}}{\text{Long}^3} \right]$$

Donde:

k: es el módulo de reacción.

p: es la presión que se aplica al suelo.

$\Delta$ : es la deformación correspondiente.



Equipo de medición utilizado en la prueba de placa

Es obvio que el módulo de reacción así definido depende del diámetro de la placa que se use para calcularlo, pues como se ha indicado, a presión constante, el asentamiento de una placa circular crece con el diámetro de la misma, por lo que si se fija un asentamiento dado, la presión necesaria para obtenerlo será mayor cuanto más pequeño sea el diámetro de la placa; esta es una de las razones por las que conviene estandarizar el diámetro de las placas que se utilicen. A pesar del amplio uso que sea hecho del concepto módulo de reacción en la tecnología de los pavimentos, ha de señalarse su falta de significación intrínseca como medida de cualquier propiedad fundamental de los suelos; su valor estriba más bien en servir como parámetro de cálculo, al comparar módulos obtenidos de la misma manera en suelos diferentes.

Es obvio que el módulo de reacción, como cualquier otro parámetro de comportamiento de la subrasante, depende de la humedad del suelo. En el laboratorio o en una prueba de campo debería trabajarse con la humedad que llegue a tener el suelo en el pavimento, la llamada humedad de equilibrio (en general diferente de la óptima de compactación), pero ésta no se conoce a priori. Lo que se hace es trabajar en el laboratorio con alguna humedad que se considera crítica; algunas instituciones lo hacen con el que corresponde a la saturación.

**Prueba de valor relativo de soporte o prueba CBR.** Esta prueba fue descrita anteriormente en el capítulo III de esta tesis en lo que respecta a métodos de diseño, por lo que no se considera necesario volver a describirla, solo cabe mencionar que el procedimiento para la obtención de la resistencia del suelo es la importancia central de esta prueba y puede ejecutarse en campo como en laboratorio, su utilización es sumamente amplia hoy en día, pese a que se le consideran bases empíricas.

### 4.3 CRITERIOS DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL PARA PAVIMENTOS.

Los estudios efectuados para la evaluación de un pavimento pueden clasificarse o tomar en cuenta dos criterios:

- Evaluación cualitativa.
- Evaluación cuantitativa.

**1. Evaluación cualitativa** que son los estudios del comportamiento funcional, desde el punto de vista de su operación y servicio, estos proporcionan un juicio para valorar el grado en que un pavimento es adecuado para su transitabilidad.

#### **Estudios de comportamiento - servicio.**

Comprenden estudios de evaluación de las condiciones superficiales que guarda un pavimento, estableciendo una apreciación de su capacidad para presentar servicio desde el punto de vista de su transitabilidad. La evaluación de esta cualidad es un problema complejo en el intervienen tres sistemas de interacción entre sí: el usuario, el vehículo y la rugosidad del pavimento, entendiéndose por esto último, como las irregularidades en la superficie de un pavimento que influyen en la calidad del rodamiento.

Los estudios a realizar son los siguientes:

- a) La apreciación subjetiva de la transitabilidad del pavimento, efectuada mientras se conduce un vehículo a una velocidad normal.
- b) La medición de la rugosidad del pavimento.
- c) Valoración de los deterioros superficiales, mostrando la ubicación y extensión de los aspectos observados.

Los ingenieros de la prueba AASHO desarrollaron un método para la apreciación del estado superficial del pavimento, basado en el concepto de servicio actual, de acuerdo con el cual, para un tramo específico de pavimento, el servicio actual es la capacidad que tiene, según la opinión del usuario, para proporcionar un tránsito suave y cómodo en condiciones normales de operación.

El método requiere que un grupo de cinco personas, como mínimo, efectúe un recorrido por el pavimento, previamente dividido en secciones. Basándose exclusivamente en las condiciones superficiales del pavimento y en el hecho de que este deberá presentar servicio a un volumen de tránsito mezclado bajo cualquier condición de tiempo, las personas que integran el grupo, deberán emitir una calificación del pavimento, variable entre 0 para muy malo y 5 para excelente.

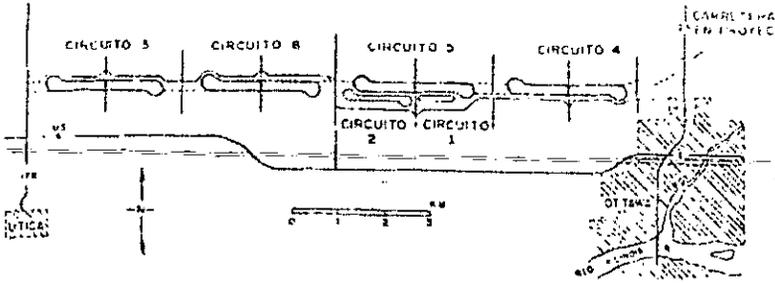


Figura 4.4 Tramo de prueba AASHO.

Las bases en que se apoya este método son las siguientes:

- Las vialidades se construyen para conveniencia y comodidad del usuario.
- La opinión del usuario en torno a la forma en que le da servicio a una vialidad, es eternamente subjetiva.
- Las características que pueden medirse en una vialidad, analizadas y manejadas convenientemente, pueden relacionarse con la opinión subjetiva del usuario.
- El servicio dado por una vialidad puede expresarse por el promedio de la evaluación efectuada por los usuarios de la misma.
- El comportamiento de un pavimento puede establecerse a partir de las observaciones periódicas del servicio desde el momento de su construcción hasta el momento que se deseé.

De los resultados de la prueba AASHO se obtuvo que la rugosidad de un pavimento o su perfil, se encuentran estrechamente relacionados con la apreciación de su servicio y que el comportamiento del pavimento evaluado en esta forma, se encuentra correlacionado con ciertos factores de diseño.

Para la medición de la rugosidad o bien, de las deformaciones de la superficie del pavimento se han diseñado dispositivos que permiten la evaluación superficial en forma rápida y mecánica. Los valores obtenidos en esta forma han sido correlacionados con las calificaciones obtenidas en la forma antes descrita, obteniéndose un valor numérico llamado Índice de Servicio Actual.

2. **La evaluación cuantitativa** o evaluación mecanicista, lleva a cabo un análisis desde el punto de vista de su capacidad estructural, la cual permite evaluar estructuralmente al pavimento, proporcionando la información suficiente para poder diseñar el refuerzo que en su caso llegara a requerir.

El examen de las condiciones que exhibe un pavimento, constituye en sí la primera forma de investigación, que permitió la acumulación de la experiencia, a través de la observación del comportamiento del pavimento bajo diferentes situaciones. Este análisis proporciona la información necesaria para valorar el papel que desempeña cada elemento que lo constituye, en el comportamiento integral del pavimento, constituyendo una de las herramientas básicas en el conocimiento de la ingeniería de los pavimentos, utilizando dispositivos que miden físicamente y valoran numéricamente diversos conceptos como son los deterioros o fallas, las deformaciones, resistencia al deslizamiento, deflexiones, etc.

Los pavimentos fracasan a menudo debido a una combinación de varias razones, en ocasiones difíciles de determinar, siendo por lo tanto necesario que las inspecciones del estado del pavimento se realicen por personal experimentado, para conocer las causas o causa del fracaso. Al respecto es indispensable conocer los tipos y causas de falla en los pavimentos.

Las inspecciones se realizan con mayor detalle que el requerido para la calificación de un tramo, e incluyen un registro de la ubicación, magnitud y tipo de los deterioros observados, así como tipo y condiciones de los trabajos de mantenimiento.

Para el efecto, existen varias formas usadas para reportar la información recabada en el campo, incluyendo en la actualidad el empleo de tarjetas perforadas, en las que pueden anotarse los datos de construcción. Se está haciendo uso además de fotografías y películas, éstas últimas tomadas desde un camión en movimiento.

#### 4.4 MÉTODOS DE EVALUACIÓN PARA PAVIMENTOS URBANOS.

Dentro de la evaluación cuantitativa, se utilizan dos métodos en general, que son los destructivos y los no destructivos, siendo parte de una evaluación estructural.

##### **Métodos no destructivos.**

Es muy deseable poder efectuar una evaluación de la capacidad estructural de los elementos constituyentes del pavimento, sin alterarlos o destruirlos. De esta manera, las mediciones se realizan en la superficie del pavimento y los resultados se relacionan a las propiedades estructurales de los materiales de las capas inferiores.

Por lo anterior los métodos no destructivos son aquellos en los que no es necesario destruir el pavimento para conocer sus características y propiedades, en éstos encajan los que miden las propiedades superficiales del pavimento y las deflexiones bajo una carga estática o dinámica, las cuales pueden repetirse varias veces en el mismo sitio.

Dentro de los métodos no destructivos, existen tres categorías que son, a saber:

- a) Las medidas de la reacción o respuesta de un pavimento a una carga estática o a una sola aplicación de carga que se mueve lentamente a baja velocidad, a esta deformación que sufre el pavimento, se llama deflexión.

- b) Las mediciones de respuestas del pavimento a repeticiones de cargas dinámicas.
- c) Las mediciones de respuesta del pavimento a radiación nuclear de una fuente controlada (la cual se usa sólo para estimar la densidad de los materiales).

Los métodos descritos proporcionan buena información sobre la capacidad estructural de los pavimentos y del suelo de cimentación, sin embargo ninguno de ellos puede considerarse que proporciona una evaluación precisa de la resistencia de las capas inferiores. Sin embargo los existentes actualmente que emplean métodos electrónicos y nucleares, permiten obtener con mayor precisión la determinación de la capacidad estructural de los elementos que constituyen el pavimento.

### Métodos destructivos.

Son aquellos que requieren de muestreos y pruebas de laboratorio de los materiales que componen una sección estructural, destruyéndola parcialmente por medio los sondeos o calas y la extracción de corazones, con lo que la estructura del pavimento al ser alterada o destruida para conocer los espesores de las capas que la forman, sus propiedades y estado, así como también los tipos de materiales que la constituyen. Cuando se realiza alguna de estas operaciones es necesario que las capas del pavimento destruidas sean repuestas con material de calidad adecuada, dándoles una buena compactación.

La extensión del programa de exploración y muestreo, incluyendo la ubicación, tipo, profundidad y clase de muestras que se desean obtener, se define de acuerdo con la finalidad de la evaluación, extensión del tramo evaluado, aspectos topográficos, geométricos, geotécnicos y ambientales, tránsito y características del pavimento que se va a evaluar. Un aspecto importante que se debe tener en cuenta es la interferencia con el tránsito, lo cual constituye una gran limitación en cuanto al número, posición y tipo de exploración. Así mismo se deben tenerse presente aspectos prácticos, como el manejo del tránsito para que no ocurran accidentes, tapar las excavaciones perfectamente el mismo día, etc.

Estos métodos son utilizados cuando se requiere saber exactamente dónde están ocurriendo las fallas en el pavimento y sus causas, o para determinar los tipos de capas y materiales que constituyen la estructura de la carretera, así como también las características de calidad y sus propiedades como son la tensión, compresión, esfuerzo cortante, flexión y torsión. Adicionalmente se requiere evaluar todas las variables que afectan el comportamiento del pavimento antes de establecer una conclusión.

En el caso de la carpeta lo que se requiere conocer es si el material pétreo es adecuado en su granulometría, dureza, resistencia y tiene adherencia con el material asfáltico empleado, el cual define el tipo de mezcla asfáltica elaborada.

Para bases y subbases se requiere conocer su granulometría, VRS estándar, propiedades índice, clasificación, contracción lineal, contenido natural de agua, etc.

Las terracerías y la capa subrasante también se analizan con mucho detalle, puesto que son las capas de apoyo de la estructura del pavimento.

A estos materiales se les revisa espesores, compactaciones, contenidos natural y óptimo de agua, propiedades índice, VRS estándar, expansiones, contracción lineal y se les clasifica.

Los resultados de las pruebas anteriores se comparan con las requisiciones especificadas para cada capa de la estructura del camino y de esta manera se determina si los materiales son adecuados o no.

Con estas bases se decide, cuando un camino va a ser modificado, si se pueden aprovechar capas del pavimento actual o éste en su totalidad, o se tiene que desechar.

## 4.5 TIPOS DE FALLAS Y CAUSAS.

La mayor parte de la tecnología que el ingeniero de pavimentos ha ido desarrollando tiene por objeto evitar la aparición de todo un conjunto de deterioros y fallas, que se han ido tipificando y describiendo con el mayor detalle compatible con el nivel del conocimiento y lo que es aún más importante, se ha logrado ir estableciendo una relación causa - efecto, que permite desarrollar todo un conjunto de normas de criterio de proyecto y conservación.

TABLA 4.1

Causas de deterioros y fallas	
• Deficiencias en el diseño	Tránsito, materiales, clima y medio ambiente, obras auxiliares y complementarias, estructuración y especificaciones.
• Deficiencias en los materiales	Propiedades intrínsecas inadecuadas, ignorar el comportamiento, deficiencias en manejo, tratamiento y colocación.
• Deficiencias de construcción	Equipos y procesos inadecuados, Falta de experiencia en el manejo de algunos materiales, deficiencia en el control de calidad de acabados
• Deficiencias de mantenimiento	Rezagos, inoportunidad, insuficiencia
• Efectos del tiempo, medio ambiente	Envejecimiento, contaminación, degradación, oxidación, saturación, variaciones volumétricas, reflexión en grietas, juntas, reducción de resistencia a la fricción.

**Funcional:** El pavimento no cumple con su función primordial, provocando incomodidad e inseguridad en el usuario, así como esfuerzos imprevistos en los vehículos, no siempre esta acompañada de falla estructural.

### Tipo de falla:

**Estructural:** Colapso de la estructura del pavimento o algo de sus componentes, de tal manera que el pavimento es incapaz de soportar las cargas o bien, se reduce a una interrupción en su continuidad o integridad, puede degenerar en falla funcional.

Las fallas de los pavimentos pueden posiblemente dividirse en tres grupos, de origen bien diferenciado.

- 1) **Fallas por insuficiencia estructural.** Se trata de pavimentos construidos con materiales inapropiados en cuanto a resistencia o con materiales de buena calidad, pero en espesor insuficiente. En términos generales ésta es la falla que se produce cuando las combinaciones de la resistencia al esfuerzo cortante de cada capa y los respectivos espesores no son adecuados para que se establezca un mecanismo de resistencia apropiado.
- 2) **Fallas por defectos constructivos.** Se trata de pavimentos quizás bien proporcionados y formados por materiales suficientemente resistentes, en cuya construcción se han producido errores o defectos que comprometen el comportamiento conjunto.

3) **Fallas por fatiga.** Se trata de pavimentos que originalmente estuvieron quizá en condiciones apropiadas, pero que por la continuada repetición de las cargas del tránsito sufrieron efectos de fatiga, degradación estructural y, en general, pérdida de resistencia y deformación acumulada, como quiera que estos fenómenos están grandemente asociados al número de repeticiones de la carga, las fallas de fatiga resultan claramente influidas por el tiempo de servicio; son las fallas típicas de un pavimento que durante mucho tiempo trabajó sin problemas.

Además de la anterior descripción, por su origen, conviene agrupar y dar una clasificación de las fallas por el tipo, modo en que suceden y se manifiestan en los pavimentos flexibles.

TABLA 4.2

Tipo	Manifestación	Causa específica que lo produce
Fracturamiento:	Agrietamiento asociado con el tránsito.	Exceso de carga (insuficiencia estructural) Repetición de carga (fatiga) Deslizamiento (esfuerzos al frenar) Grietas de reflexión
	Agrietamiento no asociado con el tránsito	Cambios térmicos Cambios de humedad (defecto constructivo) Contracción de materiales subyacentes. Rodaderas (cargas repetidas)
Deformaciones	Deformaciones permanentes y fallas, asociadas y no asociadas al tránsito.	Flujo plástico (cargas excesivas) Aumento de compacidad (defecto constructivo, rotura de granos) Expansión Consolidación
Desintegración (falla de la carpeta)	Remoción, desprendimiento, se asocia con los materiales	Pérdida de adherencia en la carpeta Reactividad química Abrasión por efecto del tránsito Degradación de los agregados

**Clasificación de Deterioros de los Pavimentos.****1) Fallas por Agrietamiento :**

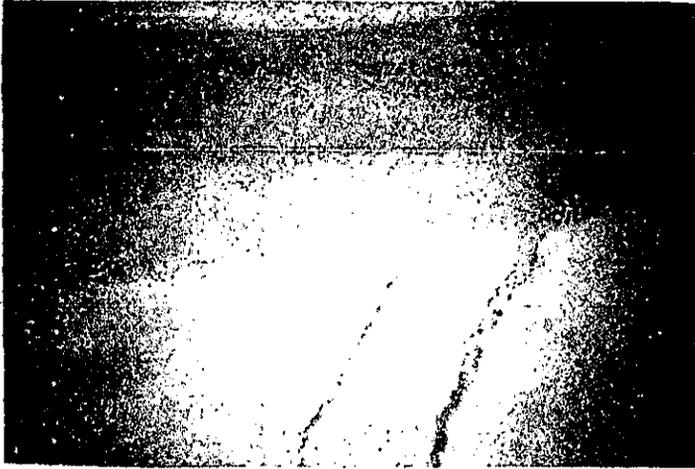
**Piel de cocodrilo o de mapeo.** Este tipo de falla forma polígonos menores de 30 cm., se deben a movimientos verticales excesivos de las capas subyacentes a la carpeta y la fatiga en esta, originados por capas de apoyo resilientes, mal compactadas o con espesores inadecuados.



**Longitudinal.** Grietas paralelas al eje del camino que aparecen a poca distancia del borde del pavimento y que suelen acompañarse con ramificaciones transversales hacia los acotamientos, originadas por falta de soporte lateral, asentamiento de los terraplenes, cambios de humedad y temperatura o uso de materiales con alta contracción. Esta puede aparecer en la carpeta y el acotamiento por causa de no dar a los acotamientos el ancho suficiente para que la grieta se produzca en ellos.



**Transversales.** Conocidas también como de "tabla de lavadero" y son ondulaciones pequeñas transversales el eje del camino que se producen en la superficie de rodamiento. Se originan por inestabilidad de las mezclas o derramamiento de diesel o aceite en la carpeta, así como por procedimientos de construcción deficientes.



**Grietas reflejadas o de reflexión.** Estas sólo ocurren en las sobrecarpetas y son la reflexión de grietas en un pavimento antiguo en la misma sobrecarpeta. Es necesario cuidar que no se permitan infiltraciones de agua por medio de sellados.



**Grietas de contracción.** Se presentan solo en la carpeta y se deben en su mayor parte, a cambios volumétricos debidos a la temperatura en las mezclas asfálticas con granulometrías finas. Se caracterizan por estar interconectadas entre sí y formar grandes áreas, por lo general con ángulos agudos y esquinas.



**Grietas por corrimiento.** Estas suceden en la carpeta por la baja estabilidad de la mezcla a los esfuerzos laterales originados por el tránsito, así como también por el exceso de asfalto en el riego de liga o la apertura de la vialidad al tránsito demasiado pronto sobre la carpeta recién tendida.

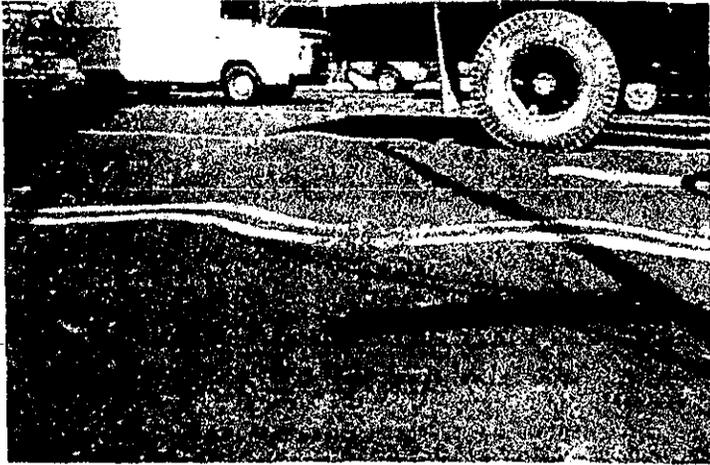
## 2) Fallas por Deformación.

**Asentamientos.** Debidas a movimientos o deslizamientos locales de los terraplenes, que dan lugar a desniveles relativamente fuertes de la superficie del pavimento, manifestándose como la compactación o reacomodo local de una o varias capas del pavimento, o de las terracerías, que produce un descenso pequeño y más o menos uniforme de la superficie.



**Por Consolidación.** Se puede producir en una o varias capas del pavimento y se debe a la falta de acomodo adecuado de los materiales y deficiencias en la compactación o insuficiencia en el volumen de estos, así como a la utilización de materiales degradables, con lo cual se producen depresiones.

**Rodaderas.** Son deformaciones longitudinales que se presentan en la superficie de rodamiento, en la zona de mayor incidencia de las ruedas de los vehículos; si son menores a 1 cm. se deben a deformación de la carpeta asfáltica, pero si son mayores se deben a una insuficiencia en la base, o a que no es de la calidad adecuada.



**Corrimientos o falta de adherencia.** Esta falla se manifiesta por corrimientos en el sentido del tránsito y/o desprendimientos de la capa superior, que pueden ocurrir entre la base y la carpeta o la carpeta y la sobrecarpeta, debidos a falta de liga entre las capas o la baja estabilidad de la mezcla, así como por un tránsito pesado antes de compactar debidamente la mezcla o el exceso en el asfalto del riego de liga.



**Corrugaciones y protuberancias** Consiste en deformaciones cíclicas transversales que se deben a la poca capacidad de esta capa. Se presenta cuando la base no está adecuadamente cementada o cuando los materiales no son de la calidad requerida. Esta se origina por la vibración y

esfuerzos tangenciales provocados por los vehículos y se reflejan hacia la superficie de rodamiento. La falla se observa de inmediato a la apertura al tránsito de la vialidad.

**Deformaciones de la corona junto a las cunetas.** Se debe a un exceso de humedad en el terreno natural por no existir cunetas revestidas y a falta o mal funcionamiento del subdrenaje.



**Ondulaciones.** Es el levantamiento de la superficie en forma de ondas más o menos pronunciadas, transversalmente al sentido de la circulación. Movimientos plásticos de la carpeta en lugares donde se presentan fuertes esfuerzos de arranque y frenaje, como es el caso de zonas cercanas al cruce con vías de ferrocarril.

**Por Cortante.** Esta asociada a la falta de resistencia al esfuerzo cortante en la base o subbase del pavimento y más raramente en la subrasante. Consiste en surcos profundos, nítidos y bien marcados, cuyo ancho no excede mucho del de la llanta. Tiene su origen en la falta de cohesión y fricción interna en la subestructura, se les conoce por el bufamiento o elevación del material a ambos lados de la rodada y el surco, cuando los acotamientos no están bien construidos o diseñados, esta falla ocurre en la rodada exterior, pero la falla se distingue fácilmente de un simple desplazamiento de carpeta por la mayor profundidad afectada.

### 3) Fallas por Desintegración.

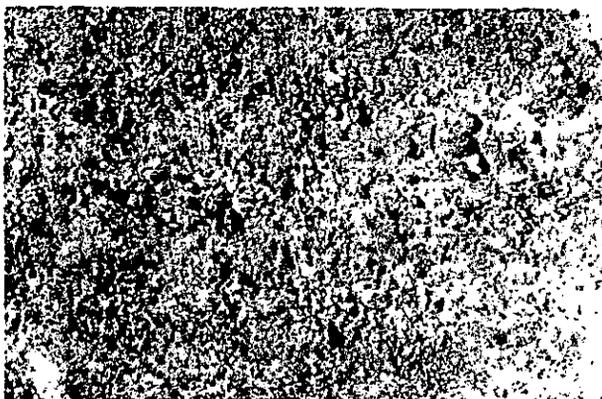
**Baches.** Se deben a la desintegración de la carpeta y base en la mala calidad en los materiales inferiores incluyendo las terracerías con alto contenido de agua. También se pueden deber a la presencia de grietas y calaveras que no fueron tratadas en forma adecuada.



**Calaveras.** Son huecos que se presentan en la superficie de rodamiento y que pueden llegar a ser muy numerosas, su tamaño no es mayor a 15 cm. Se deben a una insuficiente calidad en la base, carpetas con contenido de asfalto menor al óptimo o dada la colocación de una carpeta sobre otra agrietada y calaverada, reflejándose en la nueva las fallas de la anterior.



**Rompimiento de las partículas del material pétreo.** Este es propiciado por el desprendimiento del material suave, que no resiste la acción del tránsito.



**Desprendimiento del material pétreo de la carpeta o del riego de sello.** Esto es debido a la escasa cantidad de asfalto en la mezcla o en el riego de sello, como también a la falta de afinidad del material pétreo con el asfalto y por la falta de compactación de la mezcla o de planchado de los materiales pétreos, según el caso.



**Desprendimiento de la película de asfalto del material pétreo (Mezcla asfáltica).** Ocasionada por la escasa o nula afinidad del material pétreo con el asfalto utilizado en la mezcla.

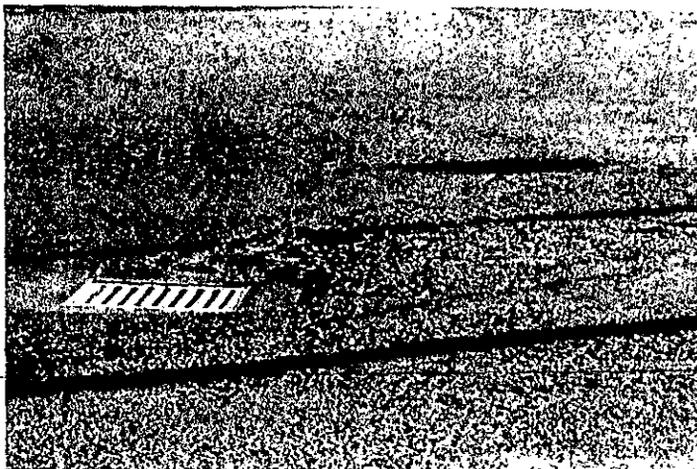
**Desprendimiento de la carpeta como capa.** Por los esfuerzos elevados en la interfase entre la carpeta y la base, así como por un riego de liga insuficiente o anclaje deficiente de la carpeta con la base.

#### 4) Defectos varios.

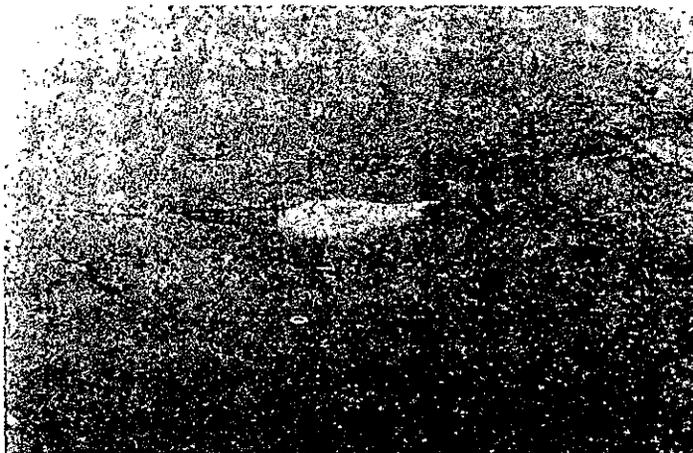
**Superficie lisa o derrapante.** Sucede por excedencia o afloramiento del asfalto de la mezcla y pulido de los pétreos de la superficie, así como el exceso de asfalto en el riego de liga o en el riego de sello. También provocado por el aumento y acción del tránsito se bombea hacia la superficie de rodamiento, provocando su alizamiento y se puede presentar una capa de asfalto de 1 o 2 mm. en forma de nata. Esto es muy peligroso por que los vehículos derrapan con facilidad.



**Descarnado de la carpeta.** Se debe al incorrecto diseño de las mezclas. Se presenta en zonas de fuertes esfuerzos horizontales provocados por el tránsito, como en las zonas de arranque y frenado, en avenidas o calles de ciudades, consiste en desprendimiento de la carpeta en la parte superficial.



**Llorado de asfalto.** Es el flujo de liberación del asfalto hacia la superficie de una carpeta asfáltica, formando una película o capa peligrosa y/o ascenso del asfalto a través de grietas, ocasionado por el exceso de asfalto, excesiva compactación de mezclas ricas, temperatura de compactación muy elevada o por sobredosificación de riego de liga.



**Afloramiento de humedad.** Aparición de zonas húmedas en la superficie, con o sin encharcamiento, debido a la deficiencia de drenaje superficial o escasez de subdrenaje, flujo ascendente de agua a través de grietas zonas mal compactadas, capas porosas o de textura abierta, bases saturadas, flujo capilar de agua y presión hidrostática por efecto del tránsito.

**Marcado de huella.** Impresión en relieve localizada en la superficie de rodamiento, por causa de superficies de rodamiento débiles o suaves, exceso de contenido de asfalto o de riego de liga, altas temperaturas ambientales, estacionamiento prolongado de vehículos pesados, así como por una mezcla de estabilidad deficiente y por huellas de un compactador de neumáticos.

**Contaminación de agregados.** Inclusión de diferentes materiales ajenos a los agregados especificados, tales como la piedra pómez, esto debido a una dosificación inapropiada, un control de calidad pobre y contaminación de bancos de agregados, de diferentes características y propiedades mecánicas.

**Expulsión de finos.** Se observa material fino sobre la superficie de rodamiento, acumulado en zonas adyacentes a las grietas de color blancuzco, por acumulación de agua libre en capas subyacentes, exceso de finos en capas de la sección del pavimento, expulsión de cemento a través de grietas, en bases estabilizadas y por la acción de tránsito intenso.

## CONSTRUCCIÓN, CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS.

### 5.1 PROCESO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS.

En realidad el proceso de construcción de un pavimento puede resultar relativamente fácil, dependiendo del enfoque con el cual se observe, así es como constructivamente la estructura de un pavimento resulta de gran importancia debido a la magnitud de la obra vial que constituye, a los tipos de terrenos que cruza y a la aplicación de un geotextil para mejorar el valor relativo de soporte del suelo.

#### \* Programa de obra.

En la planeación y construcción de una obra vial se tienen que observar aspectos como la magnitud de esta, las decisiones que se tomen y el orden en que se realicen los trabajos que son de gran importancia para ejecutar de manera adecuada la construcción. Se deben plantear adecuadamente los trabajos a realizar en un programa de obra, el cual es elaborado por el contratista. En el se plasma la secuencia de las actividades que se llevaran a cabo para la construcción en este caso de una vialidad, este programa debe de ser presentado por el contratista una vez que se realiza el concurso de la obra, además el programa debe de coincidir con las fechas de inicio y terminación de obra fijadas en el contrato. En el deben de estar bien definidas las actividades y los tiempos de ejecución para cada actividad, a su vez el programa debe ser revisado detenidamente por la dependencia responsable de la obra, así como la supervisión de esta. Una vez que es aceptado y firmado por las tres partes, es responsabilidad de todas ellas que se lleven a cabo de acuerdo a las actividades y tiempos que en el se establecen.

Dentro del programa de obra se tienen que contemplar además de las actividades propias de la construcción, las obras inducidas debido a que juegan un papel muy importante en el desarrollo del mismo. Así es como cualquier interferencia con el trazo de la vialidad puede ser un colector, acueducto o tubería de cualquier índole, hace que las holguras se reduzcan considerablemente ocasionando en la mayoría de las veces atrasos importantes a la obra.

El seguimiento del programa tiene que tener un cuidado especial tanto por el contratista como por la supervisión ya que en la medida que en que se cumpla con este, las actividades llevaran una secuencia lógica beneficiando el desarrollo de la construcción.

#### \* Obras inducidas.

Una de las principales fuentes de atrasos en cualquier obra en la ciudad de México son las obras inducidas, representadas por las siguientes instituciones principalmente: Petróleos Mexicanos (PEMEX), Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), Teléfonos de México (TELMEX), Compañía de Luz y Fuerza (CFE), Sistemas de Transportes Eléctricos y la Dirección General de Operación y Construcción Hidráulica (DGCOH).

Los intereses de cada una de estas instituciones se ven fundamentados en no deteriorar las actuales instalaciones que interfieren con el trazo de las vialidades, para lo cual con frecuencia cada

una de estas instituciones se encarga de supervisar sus propias instalaciones durante la ejecución de la construcción de la obra.

Debido a esto para que exista comunicación entre instituciones, al inicio de la obra la empresa proyectista debe de entregar un juego completo de todas las posibles obras inducidas que intervengan con el trazo de la vialidad. De tal manera que en caso de que alguna de ellas tenga que sufrir alguna modificación como puede ser: reubicación, desviación, renivelación etc., se le notifique a la institución indicada para que realice estos trabajos.

Es importante hacer notar que cualquier trabajo de obra inducida que se realice por la construcción de una vialidad el monto monetario a que asciendan estos trabajos son cargados directamente a la dependencia responsable de la obra, por tal motivo es importante considerar dentro del presupuesto de obra así como dentro del programa los mismos.

Además de contar con los planos correspondientes es necesario ejecutar una serie de sondeos durante la construcción de una vialidad, ya que con frecuencia existen instalaciones municipales que no se tienen ubicadas en los planos y es por los vecinos que conocen la zona que uno se entera de que existen esta instalaciones.

Una vez que se han realizado los sondeos es necesario que se cuente con un registro de todas las instalaciones detectadas en campo, este registro se puede llevar a cabo de la siguiente manera:

TABLA 5.0

REGISTRO DE OBRAS INDUCIDAS			
Croquis de localización	Descripción y ubicación de la Instalación	Dependencia a la que pertenece	Personal autorizado de la dependencia
Ubicación de lugar con calles	Tubería de agua potable de A. C. 36" de $\phi$ a 0.80 m. de profundidad. Localizada en campo por topografía.	SARH	Comunicarse directamente a la dependencia
Ubicación de lugar con calles	Tubería de conducción de gas de 12" de $\phi$ a 1.60 m. de profundidad. Localizada en campo por la dependencia (PEMEX).	PEMEX	Comunicarse directamente a la dependencia

Un aspecto peculiar además de este tipo de obras inducidas es que pueden existir o presentarse algunas otras interferencias que se pueden considerar como motivo de atraso para el desarrollo de la obra, estas son las afectaciones a predios particulares.

#### \* Trazo y Nivelación.

Una vez que se tiene desarrollado en su totalidad el proyecto a nivel ejecutivo, el proyectista tiene la responsabilidad de materializar en campo los puntos que definen la geometría de la vialidad, como son los puntos obligados (P.O.) y los puntos de referencia del trazo de la vialidad. Estos puntos son de vital importancia ya que son el comienzo de la obra.



Nivelación y Trazo de la vialidad

Una vez que se ha elegido a través de un concurso de obra a las empresas encargadas de la construcción de la vialidad, es necesario que la topografía de la empresa de proyecto entregue físicamente el trazo de la vialidad, tanto a la constructora encargada de la construcción, como a la Dependencia encargada de la supervisión.

En lo que es la entrega del trazo se revisan cadenamientos, bancos de nivel (B.N.), P.O. , P.I., P.T. etc., los cuales son los puntos fundamentales para posteriormente obtener secciones, perfiles, y todo lo necesario referente al trazo y nivelación de la zona de trabajo.

Mediante el trazo de la vialidad se pueden identificar las obras inducidas superficiales, tales como la posteria de Telmex, Compañía de Luz, Sistemas de Transportes Eléctricos y otras, así como las obras inducidas subterráneas que se pueden detectar mediante una serie de sondeos enfocados a lo que es la vialidad.

A la par del trazo de la vialidad se lleva a cabo una nivelación por medio de secciones transversales, en las cuales se establecen los niveles de proyecto sobre el eje de la vialidad y sobre la guarnición tomando en cuenta el bombeo transversal.

En la etapa de construcción se utilizan estacas en las secciones transversales, las cuales indican espesores de corte o relleno y los niveles de cada una de las capas del pavimento. Así mismo estas secciones son de gran utilidad en la obra ya que a partir de estas se pueden determinar fácilmente los volúmenes de obra, sirviendo además como guía a los operadores de la maquinaria para llevar a cabo los trabajos indicados en el proyecto.

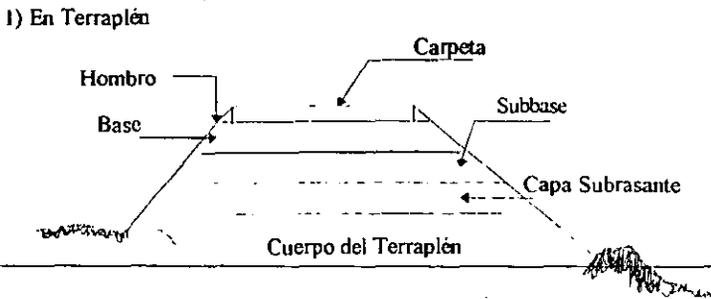


Nivelación de la sección transversal de la vialidad.

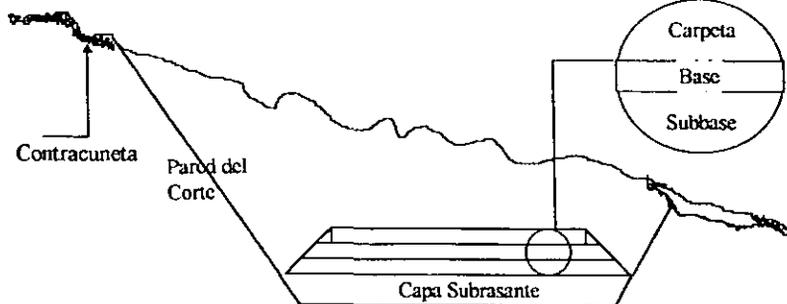
Las secciones transversales típicas en vialidades pueden ser de tres tipos:

- 1) En terraplén.
- 2) En cajón.
- 3) En balcón o mixta.

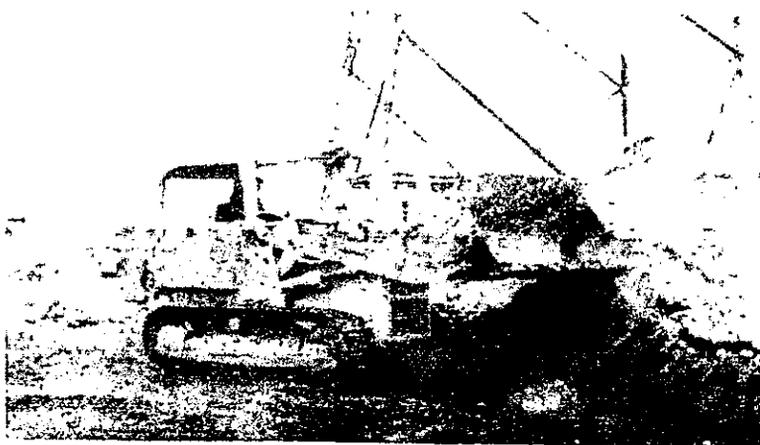
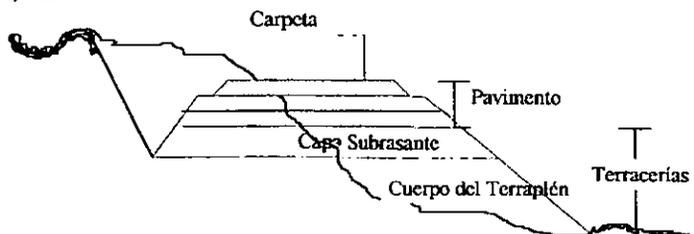
Figura 5.0 Secciones transversales típicas



## 2) En Cajón



## 3) Mixto



Excavación en caja con maquinaria pesada (traxcabo)

Cada una de estas secciones dependen básicamente del proyecto ya que según los niveles especificados se llevara a cabo una excavación en cajón, una excavación mixta o definitivamente en terraplén.

El concepto de trazo y nivelación debe de ocupar en el programa de obra una barra que abarque en tiempo desde el inicio hasta la culminación del mismo, ya que constantemente se tiene que estar verificando las secciones y nivelaciones de cada uno de los trabajos que se realizan dentro del proceso constructivo.

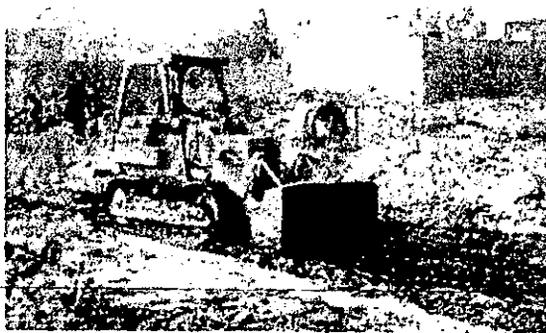
\* **Excavación en caja.**

Una vez que se ha llevado a cabo el trazo y la nivelación es necesario mejorar el soporte relativo de terreno, a fin de aumentar su capacidad de carga si es necesario. Para poder llevar a cabo este mejoramiento es necesario excavar el terreno natural a una profundidad tal que permita el alojamiento de las capas de pavimento que se van a introducir.



Excavación en caja con tractor D9

Debido a que los volúmenes por excavar en el tiempo dispuesto por el programa de obra son considerables, la empresa constructora deberá tener previsto en su precio unitario el movimiento de tierras con maquinaria pesada, para lo cual se pueden utilizar tractores D9, D6 y traxcabos D55-L.



Maquinaria pesada para excavación tractor D6



Tractor D6 utilizando el riper como elemento de ataque en materiales duros

Una vez excavado el terreno natural se llevan a cabo tres actividades importantes antes de comenzar a colocar las capas de la estructura del pavimento, estas actividades son el escarificado a una profundidad de 15 cm., la conformación de toda el área excavada y la compactación del terreno natural al 85% de la prueba proctor estándar. El afine de la sección de pavimento resulta importante puesto que una vez realizadas estas actividades los niveles deben coincidir en su totalidad con los del proyecto.



Suministro de material de mejoramiento (Tezontle)

**\* Filtro o capa de mejoramiento.**

Posterior a la confinación de la caja, se colocara la capa de mejoramiento constituida por tezontle, esta deberá colocarse en espesores de 20 cm. como máximo hasta alcanzar el nivel de proyecto y con una densidad relativa de 75% (mínimo), en el tamaño máximo del agregado es de 4", ya que así lo marca la especificación del Departamento del Distrito Federal.



Conformación del material de filtro

Superficialmente esta capa deberá tener un aspecto cerrado y uniforme que se lograra utilizando el equipo adecuado de conformación y compactación, además se evaluara la incrustación del filtro en el terreno natural, en caso de que esta sea muy abundante se evaluara el uso de una membrana geotextil por ejemplo tipo pavitex 350 o similar que se colocará entre el tezontle y la capa de subrasante (ya sea tepetate o grava controlada).

Hasta este nivel se constituye la subrasante como parte de las terracerías, estructural y mecánicamente esta capa juega un papel muy importante ya que en zonas donde el nivel freático se encuentra muy superficial el filtro rompe la capilaridad del agua y evita la lixiviación de los materiales que se encuentran por encima de el, además estructuralmente tiene la función de aligerar el pavimento para que este sea totalmente compensado evitando mayores espesores de subbase, base y carpeta asfáltica.

**\* Aplicación de la membrana geotextil.**

En algunos casos el colocar una membrana geotextil (pavitex 350) por especificaciones entre las capa de mejoramiento y la subrasante así como la subbase, hace posible que la distribución de cargas sea mas uniforme aumentando el valor relativo de soporte del suelo, además de ayudar a que los materiales finos no se mezclen con el filtro evitando la perdida importante de este material y por consiguiente dando mayor vida útil a el pavimento.

En México, aunque todavía este tipo de técnica de construcción se encuentra muy atrasada, la vialidad de Zaragoza y la de Periférico Arco Oriente son las únicas dos estructuras de pavimento que han utilizado este tipo de membrana para soportar mejor las cargas. A continuación se describirán las características principales de esta membrana asi como la forma correcta de utilizarse en los caminos.

El geotextil llamado pavitex 350 es un producto textil permeable, no biodegradable, 100% poliéster que sustituye en su totalidad y con mucha ventaja a los filtros pétreos, por sus características de continuidad (no se disgrega al colocarse como los filtros comunes de arena y grava), flexibilidad y resistencia en su plano. Durante su fabricación son impartidas sus características filtrantes al colocarse miles de fibras en forma irregular entrelazadas por un efecto de punzonamiento con agujas.

Geotécnicamente el mecanismo de aplicación de pavitex 350 es definido por una interacción entre el suelo que desea proteger y el geotextil, la alta permeabilidad de este material permite la liberación de presiones hidrostáticas.

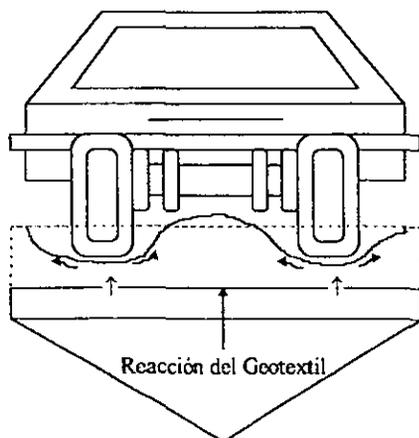
Pavitex 350 posee una relativa facilidad de movimiento lo cual permite al geotextil adaptarse y conformarse a superficies irregulares sin romperse teniendo una muy alta capacidad de elongación que le permite mantener su integridad, ante la imposición de solicitaciones mecánicas en forma de tensiones y alargamientos.

Dentro de las aplicaciones, este material se puede combinar con todo tipo de estructuras construidas para evitar la erosión de suelos, como son los enrocamientos, placas de concreto precoladas, gaviones rectangulares y de colchonetas, y otro tipo de estructuras marítimas y pluviales.

También se puede emplear para proteger taludes y cortes, protecciones marginales, conos de derrame en puentes, rellenos hidráulicos, muros de contención, etc.

Una de las características principales de este geotextil es la capacidad de poder deformarse, siendo esto de gran ayuda para las vialidades, debido a que aumenta considerablemente la capacidad de carga, como se muestra en el siguiente esquema:

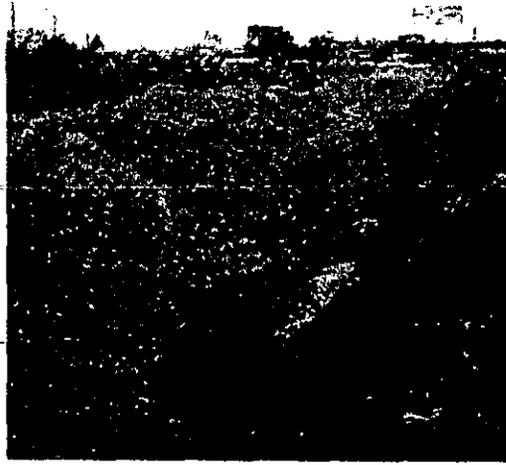
Figura 5.1 Comportamiento del geotextil



Así al tratar de deformarse el geotextil la reacción del pavimento se descompone en dos sentidos (en el plano), formándose a parte del soporte tangencial (características de la membrana) que hace que la capacidad de carga aumente significativamente.

El procedimiento de colocación de este geotextil resulta poco complicado, atendiendo a las siguientes indicaciones:

- 1) Para dar continuidad al geotextil se dejará un traslape de 0.2 m. mínimo, fijando el geotextil con montones de tepetate a cada 3.0 m.. Como alternativa se podrán eliminar estos traslapes uniendo los rollos con costura doble y con un hilo de polipropileno de 1050 denier o poliester 12/4.



Fijación del geotextil con montones de tepetate

- 2) Se colocara el tepetate en una sola capa de 0.3 m. tendido con tractor para proteger el geotextil de posibles perforaciones. Los camiones de volteo deberán depositar el tepetate precisamente en los traslapes , para de esta manera fijarlos y evitar su desplazamiento o que el tepetate penetre por debajo del traslape. El tendido y bandedo deberá de efectuarse con cuidado de manera tal que nunca exista contacto directo entre las orugas del tractor y la membrana geotextil.

Además del pavitex 350 se puede colocar en la losa de aproximación de los puentes vehiculares un geotextil llamado Typar cuya característica principal es la de tener una fuerte resistencia a las deformaciones, por lo que resulta de gran ayuda para tensar la losa de aproximación a los cajones de cimentación.

#### \* Formación de la subrasante y de la subbase.

En caso de que la sección de pavimento así lo requiera, se colocará una capa de tepetate del espesor indicado según el proyecto, esta no deberá tenderse en capas mayores de 15 cm y compactadas al 95 % (mínimo) de la prueba proctor estándar, con un valor relativo mínimo de soporte del 15 %y una expansión máxima de 5 %.

Al comenzar la colocación de este material deben de estar puestas todas las preparaciones proyectadas, tales como: Drenaje, cruce de acometidas, ductos para semáforos, pendientes de proyecto, etc.



Tendido de tubería para drenaje.



Relleno compactado en cepas de drenaje.



Construcción de pozos de visita



Pozo de visita para instalación de drenaje



#### Movimiento y conformación de material de subbase estabilizado con cal

Una vez formada la subrasante se formará la capa de subbase que debe de cumplir con los espesores marcados en la estructura de pavimento de la zona correspondiente, por ejemplo: esta será formada en capas cuyo espesor máximo será de 15cm debiendo compactar la primera capa con equipo neumático, con la finalidad de que la compactación sea uniforme, dado que este equipo permite obtener estos resultados. El grado de compactación de esta capa será del 95 % con respecto a la prueba proctor modificada, la granulometría deberá quedar en la **zona 2 de la gráfica** con un valor relativo de soporte de 50 % mínimo, equivalente de arena de 20 % (mínimo) y el valor cementante de 3 kg/cm<sup>2</sup>, además la fracción que pase la malla No. 40 deberá cumplir con un limite liquido de 30 % (máximo), con un índice plástico de 6 % y una contracción lineal de 3.5 % máximo. No se debe de olvidar que las especificaciones de pavimento exigen que el nivel de piso de la subbase no deberá de variar en mas de 1.0 cm. con respecto a los niveles de proyecto.

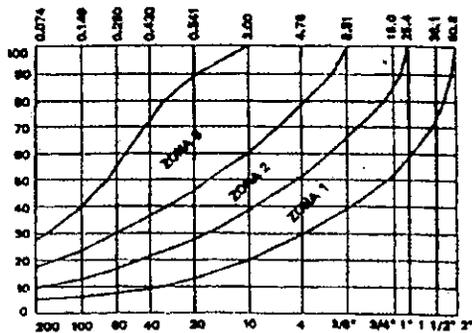
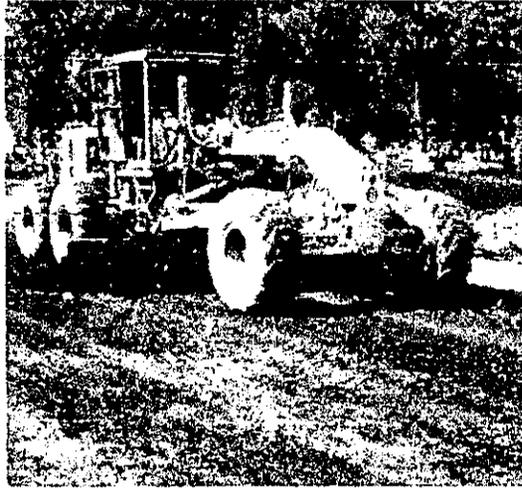


Figura 5.2 Gráfica de composición granulométrica.

**\* Formación de la base y de la carpeta asfáltica.**

La base de un pavimento puede estar conformada por ejemplo de grava controlada y cementada esta se formará en capas no mayores de 15 cm, la compactación será al 100 % de la prueba proctor modificada con la granulometría preferente en la **zona 2 de la gráfica** tamaño máximo del agregado de 1 1/2" con contenido de finos no mayor al 25 %, un valor relativo de soporte del 100 %, un equivalente de arena de 50 % y un valor cementante de 3 kg/cm<sup>2</sup> mínimo.

La variación de esta capa será cuando mucho de 1.0 cm. según lo marcaran las especificaciones del proyecto.



Conformación del material de base

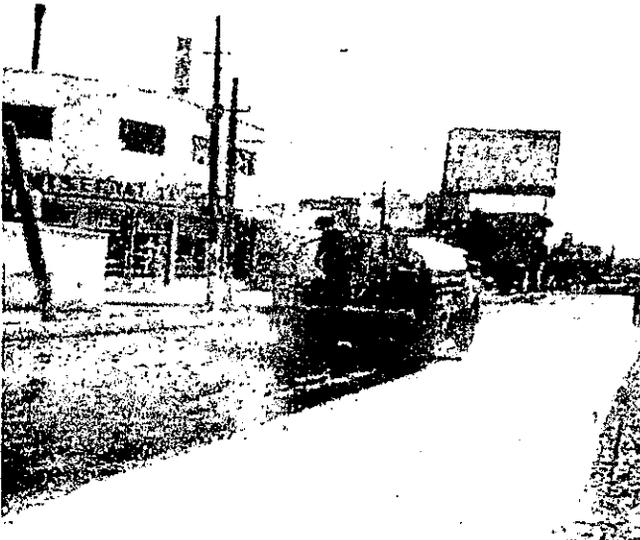


Suministro de agua a la terracería antes de efectuar la compactación



Equipo de compactación en base hidráulica. Rodillos en tandem y triciclo.

Una vez alcanzado el grado de compactación de la base, se deberá dejar secar la superficie de esta durante varios días, se barrera y se dejará la superficie libre de polvo y partículas sueltas, es entonces cuando se aplicará un riego de impregnación, el cual tiene por objeto impermeabilizar y estabilizar la capa antes mencionada y mejorar su adherencia con la carpeta asfáltica, esto a base de producto asfáltico por ejemplo el tipo FM-1 en una proporción de  $1.5 \text{ lt/m}^2$ , con una penetración de 3 mm. mínimo y una absorción total de 24 hrs. máximo.



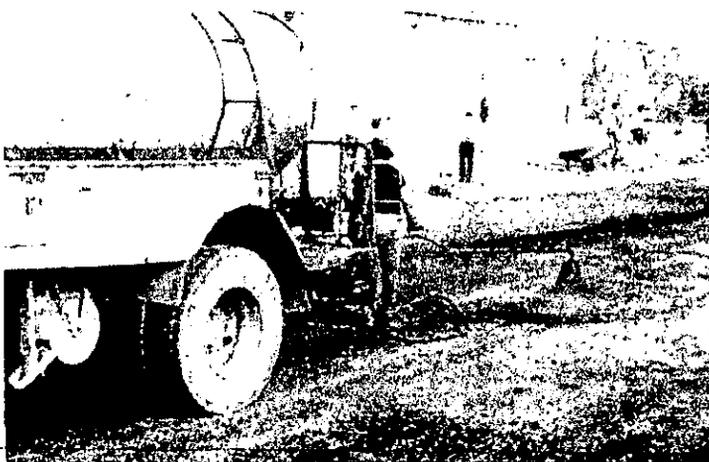
Aplicación del riego de impregnación con petrolizadora.

De preferencia esta actividad deberá realizarse en las horas más calurosas del día, retirándose las partes en donde haya quedado exceso de asfalto, una vez realizada esta actividad se cerrará al tráfico durante 48 hrs. mínimo para asegurar la penetración del riego y la solvencia de algunas emulsiones asfálticas.



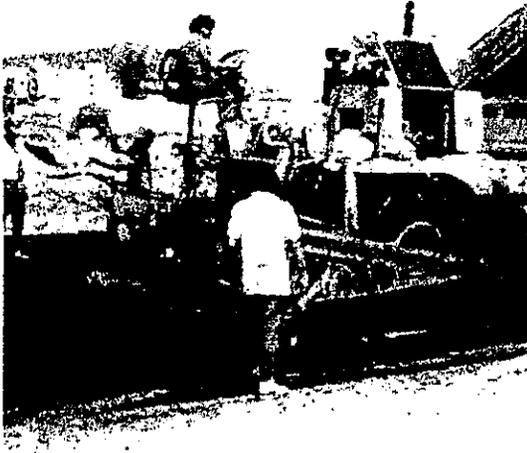
Exposición a la intemperie del riego de impregnación (tiempo mínimo 48 hrs)

Cuando se han realizado las anteriores actividades se procederá a la colocación del riego de liga, el cual tiene como objetivo ligar y proporcionar la adherencia necesaria entre la capa de base y la carpeta asfáltica, esto se llevara acabo por medio del riego de liga con producto asfáltico como el tipo FR-3 y a razón de  $0.7 \text{ lt/m}^2$ . Antes de colocar sobre este riego la carpeta asfáltica se procede a realizar la actividad llamada manto en la cual una capa muy delgada de asfalto es extendida manualmente y cuya función es la de evitar que la maquinaria y los camiones cargados con asfalto desprendan el riego además de evitar que patinen estos.



Aplicación del riego de liga sobre la base impregnada.

Transcurridos 30 min. de la aplicación del riego de liga se colocará la carpeta asfáltica cuyos espesores están marcados en las secciones de pavimento (10 cm.).



Tendido de carpeta asfáltica con el equipo Finisher sobre neumáticos

La compactación Marshall de esta será al 100 % (mínimo 95 %), la temperatura de colocación deberá ser de 120 °C mínimo y la de la carpeta terminada de 70 °C mínimo, compactándola al 90 %.



Compactación de la carpeta asfáltica con rodillo liso

Esta carpeta se colocará en una soia capa y las características del material pétreo, cemento asfáltico y mezcla asfáltica deberán cumplir las especificaciones de proyecto.

Por ultimo se debe de mencionar que cuando la carpeta asfáltica presente una permeabilidad mayor al 10 % aplicará un riego de sello a base de una lechada de cemento en proporción de 0.75 kg/m<sup>2</sup> o 1.0 lt/m<sup>2</sup>.



Colocación de cemento para la aplicación del sello.



Aplicación de agua para el sello con cemento y compactación de la carpeta asfáltica con neumático liso

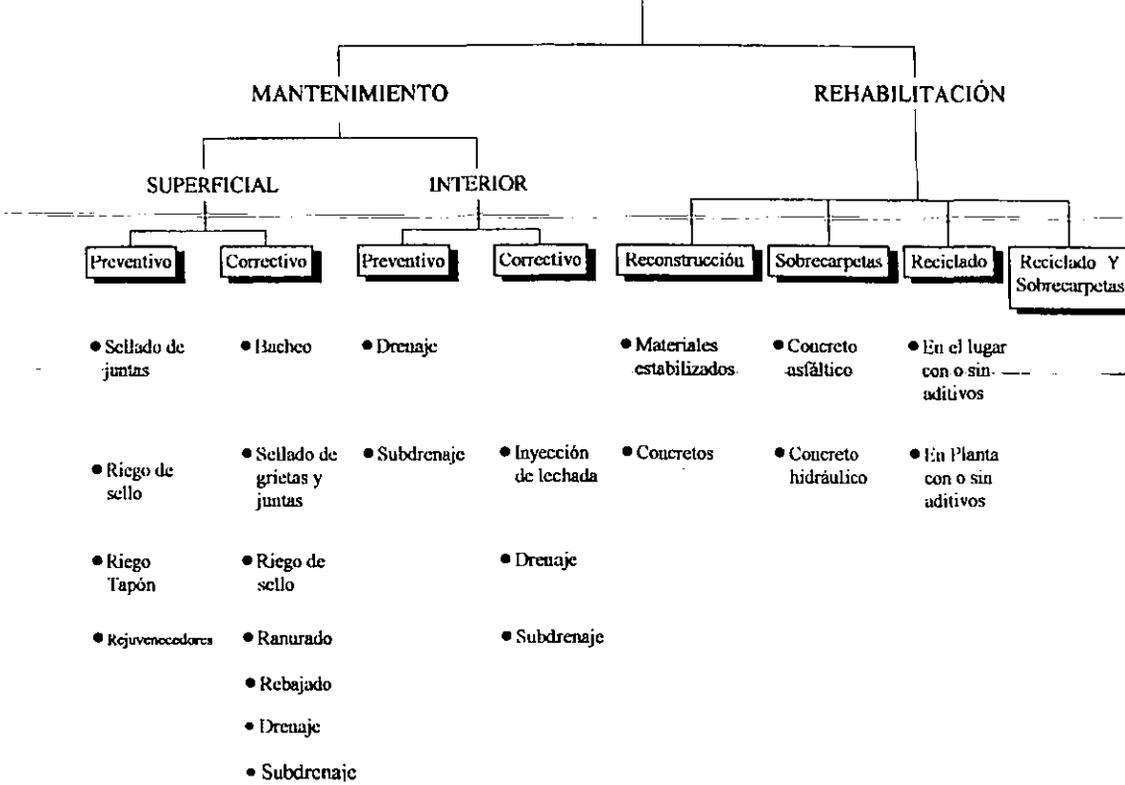
## 5.2 CONSIDERACIONES SOBRE LA CONSERVACIÓN DE VIALIDADES URBANAS.

La conservación significa mantener los elementos e instalaciones de que consta una obra vial 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 .

En general puede decirse que las técnicas de conservación, e inclusive las de rehabilitación de pavimentos urbanos son similares a las empleadas en los pavimentos de carreteras y aeropuertos. Sin embargo, debe mencionarse que existen algunos aspectos, relacionados con lo expuesto en capítulos anteriores, que deben de ser tomados en cuenta, por establecer algunas diferencias en los procedimientos y técnicas de conservación.

1. Puede establecerse que es poco recomendable reforzar los pavimentos con sobrecarpetas o construir capas de renivelación, por afectar otros elementos urbanos, como niveles de banquetas, registros, bocas de tormenta, etc., así como el gálibo de pasos a desnivel, etc.
2. De igual manera, en ocasiones la presencia de instalaciones subterráneas limitan la profundidad de las excavaciones que llegan a requerirse para una reconstrucción integral del pavimento.
3. Los trabajos en vialidades de cierta importancia deben de realizarse de noche, para no interferir con el tránsito, con las desventajas de sobra conocidas. Los trabajos ejecutados en el día causan molestias a los usuarios, vecinos, y es necesario planearlos con anticipación para retirar los vehículos estacionados, notificar a los vecinos, efectuar el retiro de materiales sobrantes, etc. Asimismo se deben proteger los elementos adyacentes, evitando que sean dañados a simplemente manchados, incluyendo la vegetación de jardineras, prados, etc. Además los trabajos deben efectuarse en forma rápida para no afectar a usuarios y vecinos.
4. Es necesario atender áreas en donde se presentan problemas particulares, como carriles preferenciales, estacionamientos, paraderos o zonas de arranque y frenado, en donde se pueden presentar problemas derivados del tránsito pesado y canalizado, derrame de combustible, corrimiento de carpeta, etc.
5. También es conveniente atender las áreas para cruce de peatones, en donde éstos entran en contacto con los vehículos, debiendo atender las condiciones de seguridad para ambos usuarios, peatón y conductor. Deberán evitarse en esta zona condiciones insatisfactorias como pavimento resbaloso, irregular, reflexión de la luz, contraste deficiente con las señales de piso, etc, debiendo incrementarse las medidas de protección con relación al peatón, ya que en general los conductores adecuan su comportamiento más bien según el ambiente que perciben, que respetando las señales de circulación .
6. La conservación y rehabilitación deben de tomar en cuenta la aplicación de técnicas, materiales y procedimientos que proporcionen condiciones adecuadas de resistencia al derrapamiento, de reflexión de la luz, de textura, de bajo nivel de ruido y que además proporcione una superficie durable manteniendo tales propiedades durante el mayor tiempo posible con una conservación mínima y finalmente, compatible con el contexto urbano. En los pavimentos urbanos es muy importante la apariencia, factor que también debe tomarse en cuenta.

**FIGURA 5.3 ACCIONES DE LA CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN**



**5.3 ANÁLISIS DE PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS DE CONSERVACIÓN.**

En general las técnicas de conservación utilizadas en los pavimentos urbanos son muy parecidas a las convencionales, si bien con algunas adecuaciones para tener en cuenta los aspectos antes mencionados. Como se mencionó anteriormente, el proyectista debe de conocer dichas técnicas, puesto que deben asociarse al diseño de la estructura del pavimento para constituir una estrategia que deberá ser analizada económicamente.

Se entiende por conservación de pavimentos al conjunto de trabajos necesarios para mantenerlos en condiciones aceptables de transitabilidad, procurando que su superficie de rodamiento mantenga la geometría adecuada, así como la rugosidad deseable y grado de impermeabilidad especificado, sin descuidar la estabilidad del conjunto de capas que forman el pavimento.

Es importante mencionar la estrecha relación que existe entre los procedimientos para el tratamiento de los problemas que debe afrontar la conservación de pavimentos cuyos trabajos fundamentales son:

- a) Sello
- b) Bacheo
- c) Sobrecarpetas Asfálticas

Con el objeto de analizar y formular adecuadamente los programas de conservación en sus tres tipos, deberá efectuarse un censo que contenga la siguiente información:

- 1) Edad de los pavimentos para fines estadísticos.
- 2) Estado de conservación de la superficie de rodamiento. Indicando el tipo de superficie e ir actualizando estos datos anualmente.
- 3) Indicaciones aportadas por el laboratorio.
- 4) Realización de estudios de evaluación de pavimentos mediante pruebas no destructivas para conocer en detalle su grado de deterioro como las causas de ello y así jerarquizar su conservación y/o reparación.

Todos los datos anteriores deberán de contener el Nombre de la calle, límites, Colonia, Delegación y áreas en m<sup>2</sup>.

## **ANÁLISIS DE LOS PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS DE LOS PROGRAMAS DE CONSERVACIÓN EN SUS TRES TIPOS:**

### **1. SELLO.**

El objeto fundamental de los sellos es alargar la vida útil de los pavimentos flexibles, sellar fisuras o grietas (para impermeabilizar la superficie) y aumentar la rugosidad de la superficie de rodamiento y protegerlo del intemperismo para evitar que avance el envejecimiento.

Los principales tipos de sello son los siguientes:

#### **A) MORTERO ASFÁLTICO (SLURRY SEAL).**

El sello de lechada asfáltica o mortero asfáltico (Slurry Seal), es un tratamiento superficial a base de agregado pétreo graduado, emulsión asfáltica, cal o cemento y agua que tiene por objeto alargar la vida útil de los pavimentos, sellando o taponeando grietas (capas delgadas), así como también el proporcionar superficies de desgaste y antiderrapantes (capas gruesas de 6 a 9 mm.).

Este mortero asfáltico tiene la característica de ser un semifluido de baja tensión superficial que penetra en las grietas de la superficie de rodamiento sellándola y evitando el paso del agua a las capas inferiores de la misma.

El sello debe de formar además una capa protectora de la carpeta asfáltica que la preserve de la oxidación y le proporcione una superficie antiderrapante.

Por su composición este tipo de tratamiento no presentan en general desprendimientos de agregados pétreos evitando que se levante polvo, se azolven los drenajes, etc

El mortero asfáltico como todos los tratamientos superficiales al formar capas de espesores pequeños (3 a 9 mm.) prácticamente no aumenta la resistencia estructural de los pavimentos sobre los que se aplica.

El aspecto básico para obtener buenos resultados en los sellos de lechada asfáltica (bien ejecutados) es la elección de los pavimentos donde deben de aplicarse o zonas recomendables para su aplicación.

Al considerar la aplicación de lechadas asfálticas en sus diferentes calidades deberán tomarse en cuenta los siguientes factores:

- 1) El tipo, la magnitud de las fallas y la textura superficial del pavimento.
- 2) Tipo e intensidad del tránsito que va a circular sobre la superficie.
- 3) Las preparaciones que tendrán que ejecutarse en los pavimentos existentes tales como: bacheo, pequeñas renivelaciones, etc.
- 4) Las condiciones climatológicas de la zona y estación del año en que deberán ejecutarse sellos. En pavimentos muy agrietados no es conveniente aplicar morteros asfálticos inmediatamente después de la temporada de lluvias en virtud de que el agua queda atrapada, pudiendo provocar mayores daños que los originales.

Basándose en sus características y en los factores mencionados anteriormente la lechada asfáltica puede emplearse con éxito, cuando los pavimentos presenten las siguientes condiciones.

- a) Pavimento de cualquier obra vial con grietas provocadas por envejecimiento y contracción, que no presenten fallas estructurales.
- b) Pavimentos deteriorados en calles, privadas y retornos de tránsito secundario, previos trabajos de bacheo.
- c) Pavimentos de concreto hidráulico agrietados cuyas losas no presentan movimientos, evitando de esta manera que aumenten los daños.
- d) En calles, estacionamientos y andadores de tránsito mínimo y ligero se puede aplicar el sello sobre bases hidráulicas impregnadas.
- e) Opcionalmente en pavimentos que presenten fallas estructurales con agrietamientos piel de cocodrilo, para cuya reparación correcta no se tuviere disponibilidad económica de inmediato. En este caso se proporcionaría al tránsito una superficie de rodamiento mas apropiada y aunque las grietas se reflejarán, serían menores que las originales y se disminuirá la penetración del agua.

### **MATERIALES QUE CONFORMAN AL MORTERO ASFÁLTICO.**

En cuanto a los materiales pétreos utilizados para la elaboración de las lechadas asfálticas se emplearán los siguientes: producto de trituración de basaltos, calizas ó granitos y arenas de mina.

Los materiales triturados proporcionan estabilidad a los sellos por la forma angulosa de sus partículas y las arenas de mina completan su granulometría dando mayor trabajabilidad a dichos morteros.

Por tal razón los agregados pétreos para los sellos deberán ser mezclas de triturados y arenas de mina en las siguientes proporciones, que garantizan estabilidad, granulometría y trabajabilidad necesarias:

50 % triturado (mínimo) y 50 % arena.

60 % triturado y 40 % arena (mínimo).

Cualquiera de las mezclas de agregados que se empleen para la elaboración de los sellos deberán cumplir con los siguientes requisitos:

a) **Granulometría.** De acuerdo con el tamaño máximo del agregado y el espesor de la capa se dividen los sellos en:

**Superficie General.**- Con espesor terminado de 6.4 mm. que es la usada mas comúnmente, sellando cualquier tipo de grietas y proporcionando una capa de desgaste moderada, que deberá apegarse a la siguiente granulometría, así como también la **Superficie Gruesa.**- Con espesor terminado de 9.5 mm. y que se usa en cualquier obra vial de tránsito medio o intenso cuyo tamaño del agregado permita rellenar las grietas existentes, proporcionando una superficie de rodamiento resistente y esta se apegara a la siguiente granulometría:

TABLA 5.1

Superficie General		Superficie Gruesa	
Tamaño de las mallas	% que pasa	Tamaño de las mallas	% que pasa
3/8"	100	3/8"	100
No. 4	85 - 100	No. 4	70 - 90
No. 8	65 - 90	No. 8	45 - 70
No. 16	45 - 70	No. 16	28 - 50
No. 30	30 - 50	No. 30	19 - 34
No. 50	18 - 30	No. 50	12 - 25
No. 100	10 - 21	No. 100	7 - 18
No. 200	5 - 15	No. 200	5 - 15

- b) Absorción, base seca: 4 % máximo.  
 c) Equivalente de arena: 6 % mínimo.  
 d) Desgaste de los Ángeles: 40 % máximo.  
 e) Intemperismo acelerado: 12 % máximo.

#### Tipos de Mortero Asfáltico.

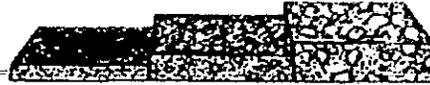
Las **emulsiones** asfálticas de distintas composiciones y rompimientos para la elaboración de sellos son mezclas con diferentes agregados para así crear mezclas para propósitos específicos.

**Tipo I.** Las mezclas de agregados finos que son usadas para obtener un penetración máxima en grietas y un sellado en superficie de baja densidad y tráfico.

**Tipo II.** Mezclas con agregados de tamaño medio, son las mas comúnmente usadas y son ampliamente aplicadas en superficies con tráfico moderado. Estas sellan, corrigen rayados moderados, oxidación y pérdida de la matriz, y mejoran la resistencia a las deslizamientos.

**Tipo III.** Las mezclas con agregados de mayor tamaño corrigen condiciones severas sobre la superficie, previniendo el hidropilano y mejorando la resistencia a deslizamiento en superficies de tráfico pesado.

Figura 5.4 Graduación de agregados



**Tipo I**      **Tipo II**      **Tipo III**  
 1/8" x 200) (1.4" x 200) (3/8" x 200)

El agua es otro de los factores importantes para controlar la consistencia de la lechada asfáltica, la cantidad necesaria es generalmente del 4 al 12 % del peso del agregado pétreo seco.

Una cantidad determinada de agregado y emulsión son introducidos en la máquina mezcladora y para obtener la consistencia trabajable de la lechada se adiciona el agua necesaria.

Las partículas del agregado deben ser cubiertas por el agua antes que por la emulsión, para reducir la resistencia a la fricción de ésta y permitir que la emulsión las cubra más fácilmente.

El agua que se emplee en la elaboración del mortero asfáltico (Slurry Seal), deberá estar libre de sales solubles, suciedad o sedimentos, no es necesario que sea analizada por medio de ensayos químicos, bastará con que sea potable.

**Cal y Cemento.** Estos materiales se usan uno u otro principalmente como una ayuda para mejorar la granulometría de los agregados, se recomienda emplearlos en proporciones de 0.5 al 3.0 % en peso del agregado seco, y deben ser incluidos como una parte de la granulometría total.

También la cal y el cemento se usan para mejorar el proceso de la elaboración de la lechada, evitando que las partículas más gruesas del agregado se sedimenten en parte inferior de la mezcla, impidiendo la segregación y clasificación.

## MEZCLAS.

Una vez analizados y aprobados los agregados pétreos y las emulsiones asfálticas por el laboratorio se procederá a la elaboración de las mezclas para los sellos de lechada asfáltica.

Las proporciones para los diferentes tipos de superficies de sellos de mortero asfáltico deberán ser las siguientes:

TABLA 5.2

	Superficie General	Superficie Gruesa
Agregado Pétreo	5.5 - 8.2 kg/m <sup>2</sup>	8.2 - 13.6 kg/m <sup>2</sup>
Cemento Asfáltico	7.5 - 13.5 % (con relación al peso del agregado seco)	6.5 - 12 % (con relación al peso del agregado seco)
Emulsión Asfáltica	1.9 Lt/m <sup>2</sup>	2.38 Lt/m <sup>2</sup>

Las proporciones para cada tipo de superficie debe de afinarse en el campo mediante mezclas de prueba directa sobre el pavimento, hasta lograr el contenido óptimo de cemento asfáltico con el cual las mezclas no presentan desprendimientos ni superficies lisas.

## EQUIPO.

El equipo necesario para la elaboración y colocación de la lechada asfáltica, normalmente es el siguiente:

**1. Máquina aplicadora de mortero asfáltico.** Esta consta fundamentalmente de los siguientes accesorios: Tanques de agua y emulsión, tolvas de agregados gruesos y finos, bombas de emulsión, compuerta de agregados, mezclador, caja extendidora y barra de aspersión de agua. Todo este equipo permite que la máquina transporte el sitio de trabajo todos los materiales necesarios para la elaboración de la lechada asfáltica, en dónde los dosifica, mezcla y los descarga en una caja extendidora, para finalmente tender el sello en el pavimento.

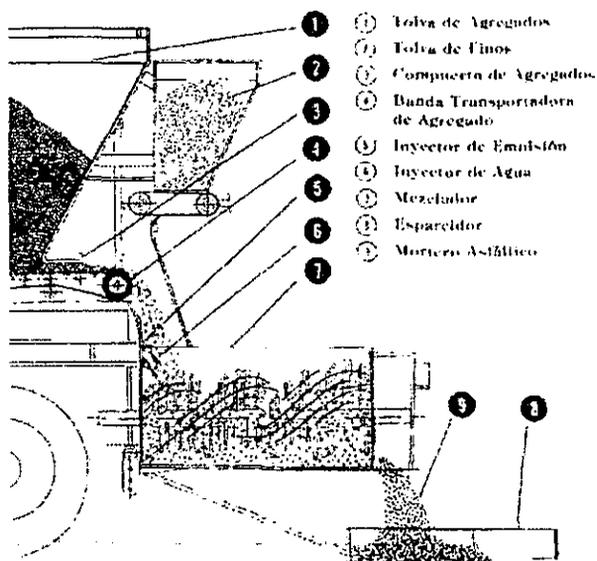


Figura 5.5 Accesorios del equipo aplicador de mortero asfáltico

Será necesario mantener el equipo en condiciones adecuadas para garantizar el buen funcionamiento de la máquina, limpiando después de cada día de trabajo el tanque y las bombas de emulsión, el mezclador y la caja extendidora, revisando periódicamente el alimentador de finos (cal y cemento) evitando que éstos se endurezcan, así como también las espesas de la barra de aspersión del agua.

Los dosificadores de las mezclas de las máquinas se controlan mediante la bomba de la emulsión que produce gasto constante y la compuerta de los agregados que a menor abertura produce lechadas con mayor contenido de emulsión y aberturas mayores, contenidos menores.

Todas las máquinas aplicadoras de sello vienen con tablas y curvas que dan los contenidos de emulsión en las mezclas para diferentes aberturas de la compuerta de los agregados.

Sin embargo y para garantizar que las mezclas presenten los contenidos de asfalto especificados, se obligará a los contratistas a que efectúen calibraciones de la máquina en el campo, verificando físicamente los gastos de agregados durante un minuto a diferentes aberturas de la compuerta.

2. **Barredora.** La superficie de rodamiento deberá quedar perfectamente limpia antes de la aplicación del sello, pudiendo ejecutarse esta operación por varios métodos, siendo el más recomendable el uso de barredoras mecánicas con recolector.
3. **Camiones transportadores de agua (Pipas).** Es necesario el uso de pipas en la aplicación del sello para acarrear el agua a la maquina y lavar el pavimento en caso necesario.
4. **Cargador frontal.** Para las operaciones de mezclado de los agregados y para las cargas de los mismos a la maquina, será necesario usar un cargador frontal.
5. **Tanque de almacenamiento de emulsión.** Para la aplicación del sello se deberá contar con un tanque de almacenamiento de emulsión con capacidad de 6 a 10 m<sup>3</sup>. Diariamente y antes de su empleo deberá removerse la emulsión durante 5 minutos para evitar sedimentaciones y asentamiento de sólidos.
6. **Compactadora de rodillos neumáticos.** Se empleara una compactadora de rodillos neumáticos de 5 toneladas con una presión de inflado de llantas de 3.5 kg/cm<sup>2</sup>. (50 lb/pulg<sup>2</sup>).

## PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN.

Para obtener resultados satisfactorios en los trabajos de sello de mortero asfáltico, deberán seguirse cuidadosamente los siguientes procedimientos de construcción.

1. **Preparación de la superficie de rodamiento.** Esta se deberá preparar antes de la aplicación de los sellos de acuerdo con las condiciones del pavimento existente. En términos generales estas preparaciones pueden ser las siguientes:
  - a) Trabajos de bacheo. El pavimento de concreto asfáltico o hidráulico removiendo y eliminando todo el material inadecuado.
  - b) Sellado de juntas. En pavimentos de concreto hidráulico deberán sellarse las juntas que presenten aberturas grandes con cemento asfáltico AC-20 ó lechadas asfálticas elaboradas manualmente.
  - c) Limpieza en general. Las superficies que presenten polvo o basura deberán barrerse perfectamente, las superficies grasosas deberán lavarse con detergente agua y cepillos de fibra hasta dejarlas completamente limpias y en las que presenten materiales adheridos tales como: vegetación, concreto, corcholatas, etc. deberán eliminarse éstos.
  - d) Pozos de visita. Tapas de agua, rejillas de piso, etc. Inmediatamente antes de la colocación del sello deberán taparse con cartón o lámina los elementos mencionados, para evitar azolves de drenaje y tapar registros.
2. **Señalamientos y avisos al publico.** Para evitar el tránsito de vehículos y peatones durante la aplicación del sello, el contratista deberá hacer los arreglos convenientes para el correcto señalamiento tales como: Conos de hule, caballetes de madera, cuerdas, bandereros, señales, luces intermitentes y mecheros (en trabajos nocturnos) también le corresponderá al contratista avisar al público de los trabajos de sello, de acuerdo con su programa, para coordinar los movimientos de los vehiculos, que serán antes y después de la aplicación (cuando se haya alcanzado el fraguado de

la emulsión). Estos avisos al publico se harán por medio de volantes que se repartirán con la debida anticipación.



Aplicación del sello de mortero asfáltico

3. **Colocación del sello de mortero asfáltico.** Una vez afinadas las dosificaciones de la mezcla incluyendo tipo de emulsión por emplear, preparada la superficie y el equipo a utilizar, se procederá a colocar el sello de lechada asfáltica en la siguiente forma:

La primera franja del sello a partir de la zona baja, se aplicará moviendo la maquina de frente al tránsito, el chofer y el operador estarán del lado de la guarnición o de la cuneta del pavimento. El operador mojará la superficie a mano y pondrá en marcha la máquina abriendo la compuerta de los agregados y al mismo tiempo la válvula del mezclador de agua.

Cuando los agregados y el agua empiezan a mezclarse, se abre la válvula de la emulsión y se ajusta la consistencia de la mezcla por medio de una llave fina de ajuste del agua.

Después de que los dos compartimientos posteriores de la caja extendedora han sido llenados de mezcla hasta la mitad, se hace caminar la máquina abriendo las barras esparcidoras iniciando la colocación del sello.

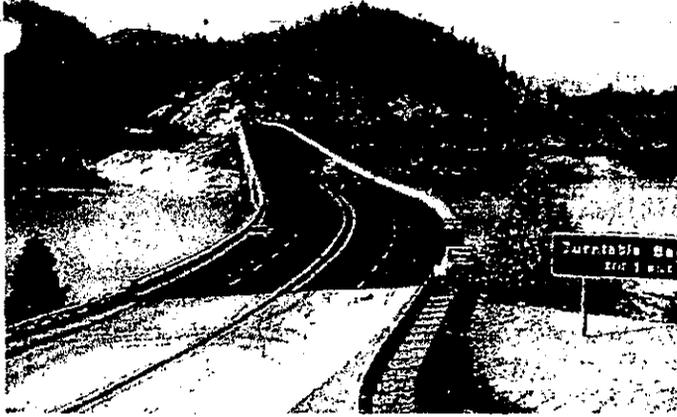
La velocidad de la máquina para cajas extendedoras de 2.44 m. de ancho será para la superficie general de 2.99 m/min. y gruesas de 18.3 m/min.

Cuando llegue al final de la franja el operador deberá cortar los materiales dejando en el mezclador la menor cantidad de mezcla, la cual se tendrá que desperdiciar.



Colocación del sello de mortero asfáltico en zonas residenciales

El tendido de la siguiente franja se hará en sentido contrario a la primera y así sucesivamente hasta terminar el ancho total del arroyo.



Tendido del sello de mortero asfáltico en puentes

La buena apariencia de los sellos depende en gran parte del acabado de las juntas que se deberá hacer en la siguiente forma:

- a) **Juntas Transversales.** Normalmente al terminar una franja, los últimos 2 m. aproximadamente no quedan perfectamente tendidos, por lo que se recomienda que al continuar longitudinalmente la franja, se traslapen de 2 a 3 m. con objeto de eliminar estos defectos.
- b) **Juntas Longitudinales.** En virtud de que estas juntas son mas visibles que las y transversales se deberán hacer con mas cuidado, el momento mas oportuno para trabajarlas será cuando la lechada aún no ha fraguado, por medio de una rastra de tela de cáñamo o yute que se jalará a lo largo de la junta eliminando así el borde que se presenta por la superposición de las capas. Cuando la lechada ha empezado a fraguar será necesario mejorar la zona de la junta por medio de las mangueras de mano logrando la liga correcta en la zona de superposición de las capas.

4. **Compactación del Sello.** Una vez que la lechada asfáltica ha fraguado (se entiende por fraguado o curado del mortero, cuando se separan las fases de asfalto y agua en una emulsión adquiriendo el cemento asfáltico sus propiedades de aglutinante) se procederá a compactarla por medio de rodillos neumáticos. La compactadora deberá pasar por la zona sellada a una velocidad comprendida entre 4.8 y 8.1 km/hr.. El objeto de esta compactación es el de eliminar los huecos que quedan en la mezcla después que se ha presentado el fraguado, así como evitar el desprendimiento del agregado pétreo.
5. **Apertura al tránsito.** Después de compactada la lechada se deberá eliminar el material que quedo suelto y se procederá a abrir el tránsito el pavimento sellado.

#### **Ventajas y Beneficios del Mortero Asfáltico.**

- Sistema versátil para tratamiento superficial del pavimento debido a su habilidad para depositar una mezcla bituminosa durable de acuerdo con las demandas de distintas texturas superficiales, llenado y sellado de grietas y baches.
- Efectivo por su bajo costo en cuanto a la aplicación, reduciendo los tiempos de reparación y solución económica para el problema de conservación de pavimentos.
- Alarga la vida del pavimento existente al protegerlo contra la oxidación por intemperismo y deterioración por pérdida de aceites, pérdida de los agregados y envejecimiento.
- Proporciona una superficie durable, para todo clima, sin polvo y escurrimientos.
- Rápida aplicación al dejar lista la nueva superficie para usarse en pocas horas después de su tratamiento.
- Corrige los problemas existentes en pavimentos envejecidos como: agrietamientos, deslizamientos, pérdida de cuerpo, incremento en la permeabilidad, pulido de la superficie sin dejar agregados sueltos, además de ser aplicado sin necesidad de un riego de taponamiento o rodillado.
- Excelente adherencia a la superficie tratada y se trabaja en frío.

#### **B) TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE (Riego con asfalto FR-3 y agregado pétreo 3-A ó 3-E).**

**Riego de Sello.** Este consiste en la aplicación de un riego de material asfáltico, cubriéndolo con una capa de material pétreo, para impermeabilizar la carpeta, protegiéndola del desgaste y proporcionando una superficie antiderrapante.

El tratamiento superficial simple (sello tradicional) es un sello a base de un riego de producto asfáltico FR-3, sobre el cual se coloca agregado pétreo del tipo 3-A o 3-E, uniformemente distribuido y adherido, cuyo objeto además de sellar, proporciona superficies de desgaste, alargar la vida útil de los pavimentos con carpeta asfáltica cuando los deterioros son leves y superficiales. También proporciona una superficie de rodamiento antiderrapante e impermeable.

#### **Materiales.**

Los materiales pétreos que se emplean en la construcción de riego de sello, son del tipo 3-A y 3-E que se indican en la siguiente tabla:

TABLA 5.3

DENOMINACIÓN DEL MATERIAL PÉTREO			
Mallas	Condiciones	3-A	3-E
De 9.5 mm (3/8")	Debe Pasar	95 % mínimo	95 % mínimo
No. 4	Debe Retenerse		
No. 8	Debe Retenerse		
No. 40	Debe Retenerse	95 % mínimo	95 % mínimo

Los materiales asfálticos que se emplean en la construcción de riego de sello son cementos asfálticos (AC-20), asfaltos rebajados o emulsiones rápidas (FR-3).

Las cantidades de materiales que se aplican en  $l/m^2$ , están comprendidas dentro de los límites que se indican en la tabla siguiente, mismas que deberán ajustarse en campo en el momento de su aplicación.

TABLA 5.4

Materiales	Tamaño del Material Pétreo	
	3 - A	3 - E
Cemento Asfáltico	0.7 a 1.0	0.8 a 1.0
Material Pétreo	9 a 10	9 a 10

Actualmente la SCT, esta utilizando la aplicación de sellos premezclados recomendables para sellos cuyo material pétreo es muy suave o para aquellos de extracción natural que generen finos durante su manejo. Estos premezclados se hacen incorporando el sello  $140 \text{ lt}/m^3$  de una mezcla de 80 lt de agua con 60 de emulsión.

Esto se elabora en una planta estabilizadora o con el uso de una petrolizadora y una motoconformadora. En algunos casos donde la pavimentación es de concreto asfáltico y se tiene una planta de asfalto, este sello premezclado se elabora en planta utilizando cemento asfáltico AC-20, obteniendo un material de excelente calidad.

La utilización de sello premezclado es para garantizar la adherencia del material pétreo libre de polvo con el riego de emulsión.

### Procedimiento de Construcción.

**Preparación de la Petrolizadora.** La petrolizadora deberá ser limpiada utilizando solventes, (diesel o petróleo diáfano) para limpiar los residuos de otros productos asfálticos. Antes de colocar la emulsión se enjuagará el tanque y sistema usando agua limpia, si la petrolizadora contenía anteriormente emulsión de signo contrario a la que se va a usar, después de la limpieza señalada se enjuagará en el tanque usando agua tratada para ajustar el PH conveniente.

Adicionalmente a la limpieza del tanque, se procederá a la limpieza de la barra distribuidora y de las espreas, éstas además, deberán alinearse de manera que formen un ángulo de  $15^\circ$  a  $30^\circ$  con relación al eje de la barra. La altura de la misma se ajustará para obtener un transplante doble exacto de los abanicos.

**Dilución de la Emulsión.** La dilución podrá hacerse directamente en la petrolizadora ya preparada, como se señalo en el punto anterior, para ello se colocará un volumen de emulsión sin diluir, que será aproximadamente el 35% de la capacidad del tanque, ya que se agregarán aproximadamente 1600 lts de agua tratada por cada 1000 lts de emulsión. El agua tratada se debe almacenar en otro tanque y se agrega lentamente a la emulsión y se mezcla utilizando el sistema de

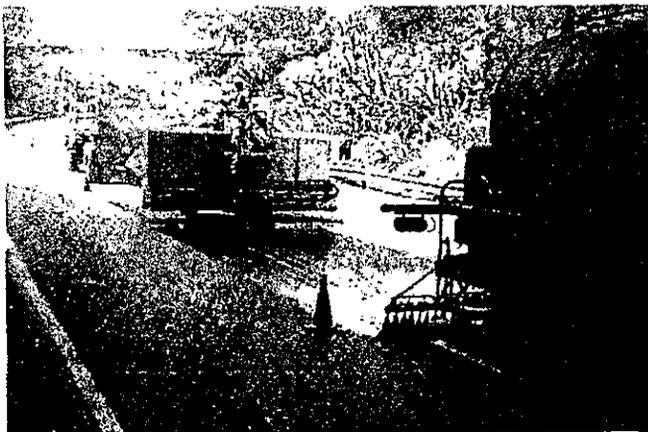
bombeo, en posición de recirculación. Tanto la emulsión como el agua deberán estar a la misma temperatura (5° a 40° C).

TABLA 5.5

Emulsión diluida al 25 % de residuo asfáltico, material pétreo con peso volumétrico seco y suelto entre 1400 y 1530 kg/m <sup>3</sup> .		
% Pasa No. 40	Absorción %	Emulsión diluida/m <sup>3</sup>
2	2 - 4	45
4	2 - 4	58
6	2 - 4	70
2	4 - 6	82
4	4 - 6	105
6	4 - 6	129

**Recubrimiento del Material Pétreo.** La emulsión diluida se aplica al material pétreo extendido en una capa delgada de 5 a 10 cm. de espesor, sobre una plataforma de piso limpio y firme, para evitar la contaminación del material pétreo. La emulsión diluida se aplica en dos o cuatro riegos mezclando con la motoconformadora entre cada riego, para volver a formar la cama. Se continuará mezclando con período de reposo hasta que la emulsión rompa y el material deje de aglutinarse y pueda fluir libremente.

El material precubierto húmedo, podrá aplicarse inmediatamente, o bien, podrá almacenarse adecuadamente para su uso posterior.



Tratamiento superficial con riego

**Preparación de la Superficie.** La superficie por sellar no debe de presentar deterioro activo acelerado, es decir, su comportamiento, cuando menos el último año, debió ser estable y no debe de presentar signos por fatiga, insuficiencia estructural, drenaje o subdrenaje insuficiente o exceso de asfalto.

La superficie por sellar deberá ser reparada cuando menos tres meses antes de riego de sello. Las reparaciones consistirán en arreglo a fondo de baches, reparación de calaveras, renivelaciones y calafateo de grietas, no es necesario tratar las grietas con aberturas menores a 1.0 mm.. El período de

3 meses servirá para que las reparaciones maduren. Antes de la aplicación del sello, se hará un último recorrido para atender los defectos menores que se hubiesen presentado.

**Riego de Liga.** Como antes se menciona este tiene por objeto ligar y proporcionar la adherencia necesaria entre dos capas de un pavimento, en este caso el espesor de la película necesaria para el anclaje del material varía, dependiendo de las condiciones de la superficie por sellar, de la granulometría y tamaño máximo de del material pétreo y de las características de textura superficial, además, influye la temperatura ambiental y el tránsito.

Conviene hacer hincapié en que todos los trabajos de sello se programen cuando las condiciones climáticas sean aceptables, es decir, temperaturas superiores a los 15° C calma o vientos suaves, cielos despejados sin probabilidad de lluvia por lo menos 12 horas después de los trabajos.

En el caso de aplicación de materiales precubiertos, puesto que estos ya traen consigo parte de asfalto, el riego de liga deberá reducirse. De acuerdo a la experiencia local, la reducción podrá ser del orden de 0.3 a 0.4 lt/m<sup>2</sup>, en relación con las cantidades usualmente aplicadas, tanto en el caso de emulsiones como en los rebajados.

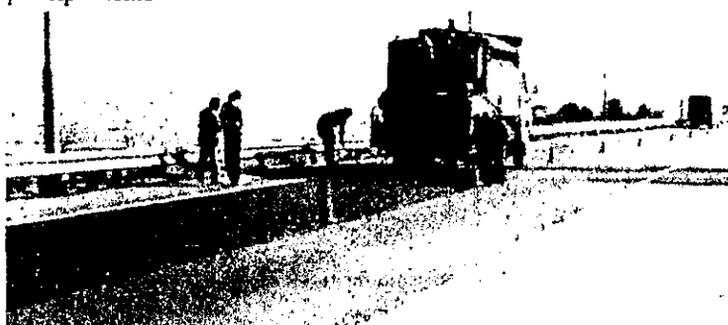
Se recomienda hacer mosaicos de prueba teniendo en cuenta las recomendaciones anteriores, en cada tramo que pretenda sellarse. Estas pruebas deberán realizarse durante la temporada de primavera-verano.

Los mejores resultados se han tenido usando emulsiones asfálticas, tanto en la liga como en el precubrimiento.

Como las emulsiones asfálticas son menos viscosas que los rebajados, se deberán tener las precauciones al aplicar el riego de liga en pendientes y en curvas con sobre elevación. En estos casos se ha usado un manto previo con material pétreo y posteriormente el riego de liga. Inmediatamente atrás de la petrolizadora se aplica el material pétreo.

**Riego de Material Pétreo.** Antes del uso del material precubierto, deberán eliminarse manualmente todos los grumos o témpanos que existan, para evitar obstrucciones en el dispositivo de distribución que puede ser compuerta en caja de camión o esparcidor mecánico.

La cantidad de material pétreo a regar dependerá de la granulometría y tamaño máximo del material pétreo principalmente.



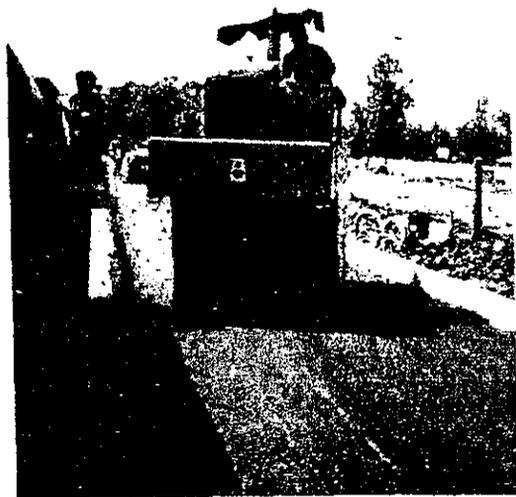
Extensión del material pétreo

En el caso de los materiales precubiertos, éstos por el asfalto que ya tiene adherido, tienden a aglutinar una mayor cantidad de material y por lo tanto, el desprendimiento de partículas disminuye en relación a los riegos tradicionales y no se requiere utilizar material pétreo adicional como colchón. Por esto se deben reducir las cantidades habituales en aproximadamente 0.5 lt/m<sup>2</sup>, según la experiencia

regional y nunca usar más de 10 l/m<sup>2</sup> de material precubierto. Se ha observado que de esta manera se fija del 90 al 95 % del material pétreo usado.

Puesto que los materiales pétreos presentan una gran variación de tamaño máximo, granulometría y forma de la partícula es conveniente partir de las recomendaciones anteriores para fabricar mosaicos de prueba y hacer los ajustes finales en base a estos resultados.

**Compactación.** Inmediatamente después del tendido, se acomodará el material pétreo mediante el uso de una compactadora de rodillo liso ligero o rodillo neumático tipo tandem de 5 a 8 ton., actuando en forma combinada (dando 2 a 3 pasadas únicamente). Como el material pétreo contiene asfalto en su superficie, es posible que algunas partículas se adhieran a los rodillos, por lo cual se recomienda humedecerlos y se ajuste convenientemente la cuchilla con que usualmente estos equipos vienen dotados, para despegar los materiales que se adhieran, por lo demás, la compactación se hará en forma usual.



Compactación del material con rodillo en tandem.

**Reposo y Barrido de la Superficie.** Es indudable que de las causas de los malos resultados en trabajos de riego de sello, es la falta de reposo o maduración, en muchos de los casos las condiciones de vialidad no permiten manejar el tránsito para proporcionar el tiempo de fraguado requerido por los asfaltos.

En el caso de los materiales precubiertos, se ha observado que presentan un mejor anclaje y por lo tanto, mayor resistencia a ser desprendidos por el tránsito, aún así es preferible proteger el sello por 24 hrs por lo menos, siendo lo óptimo 72 hrs y no permitir la circulación del tránsito durante este tiempo.

Antes de abrir a la circulación, es conveniente barrer mediante equipo mecánico el material suelto, este material podrá ser recuperado para su uso posterior, por lo que esta operación no solo resulta conveniente por los peligros que presenta para la circulación vehicular, sino redituable.

**C) VARIANTE DEL TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE (Riego con cemento asfáltico AC-20 y agregado pétreo 3-A o 3-E forrado con una película de AC-20).**

El sello con cemento asfáltico tiene por objeto impermeabilizar las carpetas asfálticas y deberá aplicarse a todos los pavimentos asfálticos antes de que éstos se abran al tránsito. Es muy importante lograr la impermeabilidad en los pavimentos asfálticos ya que las filtraciones del agua a través de las carpetas disminuyen el soporte en las bases hidráulicas, subbase y terracerías, provocando fallas prematuras en los pavimentos tales como: asentamientos y agrietamientos "piel de cocodrilo", etc.

- 1) Una vez compactada y recibida la carpeta asfáltica y que está haya adquirido la temperatura ambiente (en carpetas elaboradas con rebajado asfáltico PA-5, deberá tenerse la seguridad de que se ha eliminado la totalidad de los solventes) y antes de proceder al sello con cemento, deberá barrerse perfectamente la superficie dejándola libre de polvo e impurezas.
- 2) Posteriormente se distribuirá el cemento asfáltico en seco sobre la superficie de la carpeta a razón de  $3/4 \text{ kg/cm}^2$ , tallándose enérgicamente con cepillos de fibra contra la superficie a fin de que penetre en la porosidad de la carpeta asfáltica.
- 3) Después se adicionará el agua necesaria de 1 a  $1.5 \text{ lt/m}^2$  aproximadamente para formar una lechada de consistencia media, la cual se distribuirá enérgicamente con los mismos cepillos, hasta lograr una superficie uniforme. En vías en donde las pendientes sean mayores de 3 %, deberán tomarse las precauciones necesarias al adicionar el agua para evitar escurrimientos y deslaves.



Suministro de agua para formar la lechada

- 4) Se dejará reposar este sello cuando menos 6 hrs, para evitar que el tránsito lo levante.

**D) CARPETA DE GRADUACIÓN ABIERTA (Open Graded).**

La carpeta de granulometría o graduación abierta (Open Graded) tiene por objeto el proporcionar superficies de desgastes o sellos, además de ser una capa drenante por su empleo en climas lluviosos ya que por su textura evita que se produzcan efectos como el acuaplaneo, dado que este tipo de carpeta altamente porosa facilita el contacto de los neumáticos con el pavimento ya sea en condiciones lluviosas o en presencia de agua sobre la superficie de rodamiento, además de

proporcionar una carpeta antiruido, conservando la resistencia a la deformación plástica y al agrietamiento por fatiga.

### Materiales que conforman la carpeta de granulometría abierta.

El material que conforma este tipo de carpeta son agregados limpios procedentes de trituración de piedra de cantera o grava natural, con lo cual se busca obtener un esqueleto de agregado pétreo grueso, con una proporción pequeña de arena fina y de finos que pasen la malla No. 200, la granulometría es tal que permite obtener un alto contenido de vacíos en la mezcla, con lo que se obtiene un coeficiente de permeabilidad muy alto.

Existen dos formas de obtener la granulometría abierta:

- Por medio de curvas continuas.
- Por medio de curvas discontinuas. En este caso la permeabilidad depende del contenido de arena fina. El objetivo de la granulometría discontinua es el obtener mayor rugosidad en la superficie de rodamiento. La permeabilidad depende de la capa depende de la compactación que se logre pero tiende a ser impermeable. Para aumentar la permeabilidad se requiere disminuir la cantidad de arena fina.

En el caso de mezclas de granulometría abierta para capas de rodamiento friccionantes, la granulometría recomendada (ASTM D 3515) es:

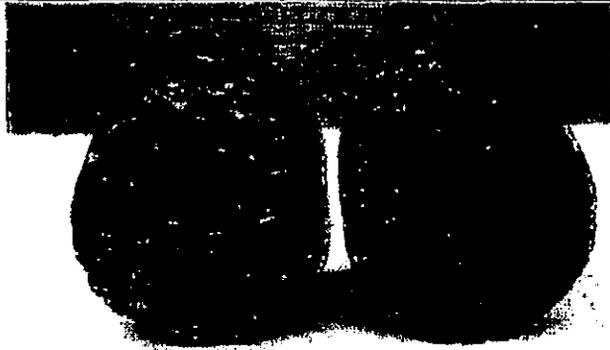
TABLA 5.6

ASTM. Granulometría abierta para capas de rodamiento friccionante (OGFC).			
Malla	Tipo de mezcla según el tamaño máximo del agregado.	Tipo de mezcla según el tamaño máximo del agregado.	
		Tipo I (3/8") % que pasa la malla	Tipo II (1/2") % que pasa la malla
3/4 " (19 mm.)		100	100
1/2" (12.5 mm.)		100	90 - 100
3/8" (9.5 mm.)		90 - 100	60 - 100
No. 4 (4.75 mm.)		30 - 50	15 - 40
No. 8 (2.36 mm.)		5 - 15	4 - 12
No. 200 (75 um.)		2 - 5	2 - 5

En general, estas capas de rodamiento friccionantes se emplean con espesores pequeños. En algunos casos puede ser recomendable el empleo de aditivos, previo el análisis económico correspondiente de acuerdo con su comportamiento durante la vida de servicio.

Para actuar como capas drenantes requieren contar con un alto porcentaje de vacíos en la capa, del orden de 20%. Este contenido de vacíos tan alto se logra con una granulometría en que predominan fuertemente los agregados gruesos, con un contenido de arena fina y filler muy bajos de 2 a 6 %, estas características se cumplen adecuadamente con la norma actualmente empleada por el DDF.

Existen alternativas de granulometría para este tipo de mezclas asfálticas, las cuales permiten el empleo de mayor tamaño máximo de agregado.



Comparación de la textura y acabado obtenidos entre las mezclas de granulometría abierta (izquierda) y la de concreto asfáltico de matriz pétreo (derecha) SMA, en especímenes de tensión.

El empleo de este tipo de mezclas es recomendable desde el punto de vista de seguridad y comodidad de los usuarios, debe de enfatizarse que el buen comportamiento de las capas drenantes requiere que el pavimento tenga pendientes adecuadas para el drenaje, y que se disponga de coladeras y drenaje apropiado para desalojar el agua y evitar encharcamientos.

En las mezclas de granulometría abierta los agregados deben tener una película de asfalto de mayor espesor que una mezcla común y corriente, para prevenir el envejecimiento acelerado del asfalto y el daño por el agua que penetra en la capa, lo anterior es debido a la mayor porosidad de la mezcla que permite el paso del aire y del agua.

Si la película de asfalto que recubre los agregados es muy gruesa el asfalto tiende a fluir por gravedad, hacia abajo, este drenado se presenta mientras la mezcla se encuentra almacenada, o en transporte, a las altas temperaturas de mezclado. Este drenado lleva a la obtención de mezclas heterogéneas.

En algunos casos para poder emplear espesores de película más altos sin tener problemas de drenado se requiere el empleo de varios tipos de aditivo, aparte de contar con una mezcla de SBS y el aditivo de fibras de celulosa. Los aditivos, además de permitir una película mayor de asfalto pueden aumentar la resistencia de las mezclas y obtener mejores propiedades mecánicas o desde el punto de vista del mayor contenido de asfalto posible que la mezcla pueda tener sin presentar problemas de drenado del asfalto, durante la fabricación, deposito y transporte de la mezcla.

En estudios realizados las mezclas sin aditivo y con SBS tienen un volumen de vacíos similar, el cual es ligeramente superior al obtenido en las mezclas con fibras. Mientras mayor es el volumen de vacíos mejor es el comportamiento hidráulico de la capa asfáltica de granulometría abierta.

Por otra parte el mayor espesor de la película de ligante se obtiene en la mezcla con fibras, seguido por la mezcla con SBS. El espesor de película está relacionado con la durabilidad de la mezcla, en cuanto a resistencia al envejecimiento.

Tanto en tensión como en compresión hay una mejoría en la resistencia al agua de las mezclas con aditivos. En el caso de compresión y tensión el efecto de añadir fibras no es significativo, así como en las mezclas sin aditivos.

Dentro de la práctica actual de conservación de pavimentos urbanos en el Distrito Federal, se incluye la técnica del fresado del pavimento deteriorado y la reconstrucción con una capa de concreto asfáltico de granulometría abierta, de espesor generalmente delgado o muy delgado.

La construcción de estas capas de granulometría abierta puede hacerse con la inclusión de aditivos que mejoren sus propiedades, o sin dichos modificadores, de manera que se tengan elementos para decidir sobre su empleo, tomando en cuenta el comportamiento esperado del pavimento y la economía de la obra, así como también el proyectista debe analizar el contenido óptimo de asfalto para dar un pavimento adecuado a las condiciones particulares de la obra

### Procedimiento Constructivo de Carpeta Delgada de Graduación Abierta.

**Elaboración de la mezcla.** La elaboración de esta se efectuará en planta estacionaria, similar a la fabricación de mezcla que se utiliza para carpetas.

La mezcla se fabricará con material pétreo de tamaño máximo de 3/8" es decir, de 9.5 mm. y con cemento asfáltico AC-20.

Es importante que las instalaciones de la planta de asfalto y de trituración cuenten con los dispositivos y equipos auxiliares necesarios que permitan una dosificación adecuada de los materiales pétreos.

**Preparación de la superficie.** Cuando los daños en la vialidad son parciales y esta presenta deterioros como pueden ser pequeñas oquedades, zonas con rodaderas puntuales, algunas deformaciones y zonas puntuales con grietas o piel de cocodrilo que en conjunto estos daños no sean mayores al 50 % del área total de la vialidad, se procede a efectuar el mantenimiento parcial en las zonas donde la vialidad lo requiera, a continuación se realiza el fresado parcial del pavimento mediante el empleo de una cortadora de pavimento tipo "roto mill" en espesores variables, tratando de dejar la superficie sin deformaciones y con las pendientes longitudinales y transversales adecuadas con el objeto de que se facilite el tendido de la carpeta asfáltica.



Equipo roto mill

**Barrido de la Superficie.** Una vez concluido el fresado se realiza el barrido de la superficie tratando de eliminar toda la grava suelta, así como la arenilla que se forma en el momento de triturar el asfalto envejecido. Estos trabajos se pueden llevar a cabo mediante el empleo de una barredora mecánica o por medios manuales.

**Riego de liga.** A través de una petrolizadora se procede a la aplicación del riego de liga en una proporción de  $0.7 \text{ lt/m}^2$ , el cual se deja reposar al rededor de 30 min.

**Colocación del Material pétreo.** Se realiza el tendido de la carpeta en las zonas fresadas empleando una pavimentadora, tratando de cuidar juntas longitudinales y transversales, de igual manera se tiene un especial cuidado en los niveles de rasante, a efecto de evitar terminados con bordes. El espesor puede variar de acuerdo a las características y especificaciones del proyecto. Es importante señalar que el espesor mínimo debe de ser 2.5 veces el tamaño máximo del agregado, en general, el que se utiliza es de  $3/4"$ . La temperatura de tendido es variable de acuerdo con las condiciones climáticas, ésta oscila entre  $125^\circ\text{C}$  a  $135^\circ\text{C}$ .

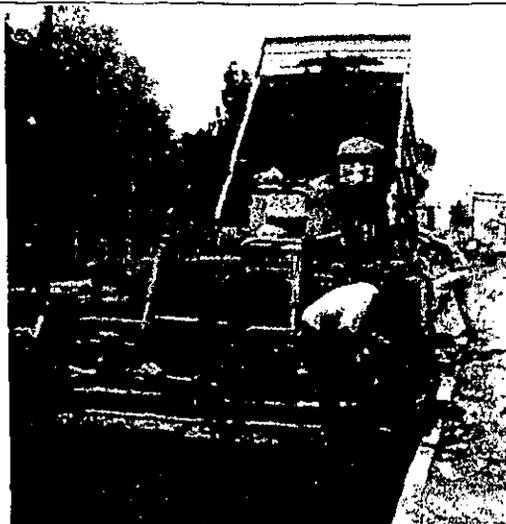
**Compactación.** Inmediatamente después del tendido, se acomodará el material pétreo mediante la compactación de la carpeta, que al inicio debe de ser ligera para realizar lo que se conoce como el armado de la carpeta con pesos entre 7 y 8 ton., posteriormente se utilizara un equipo de compactación más pesado que puede ser un rodillo vibratorio, el cual tiene la función de dar un mejor acomodo a los agregados así como una mayor energía de compactación. Una vez que este ultimo realiza su función entra un rodillo liso-ligero o rodillo neumático-tipo-tandem de 5 a 8 ton, actuando en forma combinada (dando 2 a 3 pasadas únicamente), que realiza varias funciones como el cerrar texturas así como compactar de abajo hacia arriba por la forma en que trabajan sus rodillos, como el material pétreo contiene asfalto en su superficie, es posible que algunas partículas se adhieran a los rodillos, por lo cual se recomienda humedecerlos y se ajuste convenientemente la cuchilla con que usualmente estos equipos vienen dotados, para despegar los materiales que se adhieran, por lo demás, la compactación se hará en forma usual.

**Riego de liga.** Una vez compactada la carpeta se tiene la opción de colocar en toda la superficie con objeto de uniformizar una carpeta delgada de graduación abierta. Para utilizar éste tipo de mezcla asfáltica y obtener un buen comportamiento es importante contar con una superficie con pendientes adecuadas, así como una superficie de carpeta asfáltica previamente impermeabilizada ya sea con una lechada a base de cemento y agua o un riego de liga elaborado con emulsión y arena de rompimiento rápido a razón de  $0.7 \text{ lt/m}^2$ .

**Colocación de la carpeta Open Graded.** La carpeta delgada de graduación abierta, la cual constará de una mezcla que será tendida con máquina terminadora para proporcionar una superficie uniforme y de espesor de 3.0 cm. de capa compacta. Al respecto de máquina terminada deberá estar en buenas condiciones del funcionamiento, especialmente su plancha, para no propiciar el arrastre de partículas gruesas que provoque el rallado en la superficie tendida, asimismo deberá restringirse el uso de rastrillos.

El ancho del tendido de la carpeta delgada será de 3.9 m. por carril con objeto que el señalamiento horizontal quede albergado por completo sobre el Open Graded.

La carpeta delgada debe quedar perfectamente alineada a su terminación, recortando sus orillas, si es necesario para lograr este alineamiento.



Tendido de la carpeta de Open Graded

**Compactación de la carpeta Open Graded.** Como se trata de una carpeta delgada la compactación deberá aplicarse de manera inmediata, para que la mezcla conserve la temperatura adecuada, y lograr el mejor acomodo y/o el grado de compactación requerido. La compactación se proporcionará con rodillo liso tandem ligero, de 6 a 8 ton., sin aplicar vibración combinando con rodillo neumático ligero, hasta lograr un grado de compactación del 95%.

**Reposo y Apertura al Tránsito.** Es indudable que de las causas de los malos resultados en trabajos de sello, es la falta de reposo o maduración, en muchos de los casos las condiciones de vialidad no permiten manejar el tránsito para proporcionar el tiempo de fraguado requerido por los asfaltos.

En el caso de los materiales precubiertos, se ha observado que presentan un mejor anclaje y por lo tanto, mayor resistencia a ser desprendidos por el tránsito, aún así es preferible proteger el sello por 2 o 3 hrs por lo menos, y no permitir la circulación del tránsito durante este tiempo. Después de esto se procederá a abrir la vialidad al tránsito.

#### **Ventajas al emplear las carpetas de granulometría abierta.**

- Mantiene elevada resistencia al deslizamiento, bajo lluvia elimina o reduce considerablemente la posibilidad de que se presente el fenómeno de hidropilano.
- Permiten el drenaje superficial del agua de lluvia.
- Mejora la velocidad con el pavimento mojado.
- Se incrementa ligeramente el valor estructural del pavimento, por el adecuado comportamiento mecánico de la capa de rodamiento.
- Se tienen beneficios para el usuario, en cuanto a visibilidad, seguridad, y comodidad durante la lluvia.
- Menor generación de ruido por el tránsito de los vehículos.

**Desventajas al emplear carpetas de granulometría abierta.**

- El costo de construcción en ocasiones puede ser más elevado.
- Su contribución estructural al pavimento es menor que el de una carpeta normal.
- El mayor contenido de vacíos permite un envejecimiento del asfalto más rápido que en una carpeta normal, así como la posible obturación de los huecos con polvo.
- Con el paso del tiempo la capacidad drenante de la capa de granulometría abierta tiende a disminuir, sobre todo cuando el volumen y la velocidad del tránsito son pequeños.
- Si no se cuenta con un firme impermeable su deterioro es acelerado.
- Tiene menor resistencia a la acción del petróleo y solventes.
- Es necesario que se apoye sobre un firme estructuralmente adecuado y de buena geometría.
- Requiere cuidado especial en las obras de drenaje para asegurar la salida del agua que ha entrado a la carpeta.

**2. BACHEO.**

Este trabajo es parte del mantenimiento dentro de la conservación de los pavimentos, pudiendo dividirse en superficial y profundo, el primero corresponde a trabajos de corrección de fallas de la carpeta, el segundo corresponde a corregir áreas débiles, para ambos casos la forma de resolver este tipo de problema es el cajear rectangularmente el área fallada, eliminando los materiales de mala calidad o que presenten humedad excesiva. Rellenar con materiales de características adecuadas, reponiendo la estructura del pavimento mediante capas debidamente compactadas. Las paredes de la caja deben hacerse verticales y dos de sus lados serán normales a la dirección del tránsito. La caja debe abarcar cuando menos 30 cm dentro de la zona aparentemente sana, adyacente al área fallada. Se procurará, mediante una regla, que el nivel superior de relleno quede bien perfilado respecto al resto de la sección transversal.

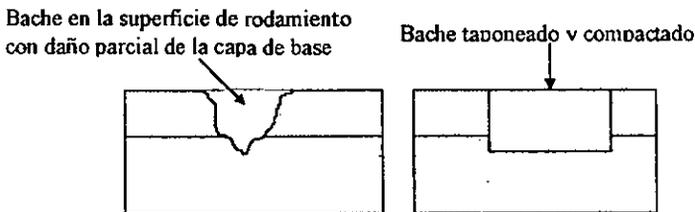


Figura 5.6 Reparación de baches (Bacheo)

Si los baches se manifiestan en zonas de cortes, es conveniente revisar y corregir previamente las deficiencias de drenaje.

Este trabajo es un requisito indispensable en la reparación de un pavimento, siendo uno de los deterioros a solucionar, para después proceder a la ejecución del siguiente trabajo en cuestión perteneciente a la conservación de un pavimento.

Actualmente para la realización de esta operación se cuenta con la tecnología necesaria como es el caso de la bacheadora RA-300 de Rosco, la cual permite rellenar baches, grietas, realizar topes y caminos uniformes. Los pasos a seguir en el proceso para realizar el bacheo con esta máquina es el siguiente:

- a) La maquina cuenta con un soplador de alto volumen que limpia el bache o la grieta con un chorro de aire que saca los elementos ajenos al pavimento y rocas sueltas por el deterioro.
- b) El operario de la maquina aplica una capa de ligante asfáltico que calienta el área, para asegurar la colocación correcta de los materiales ha sustituir.
- c) Se coloca la preparación de los materiales con una inyección de asfalto caliente en el bache o grieta por aire a presión.
- d) Para finalizar este trabajo se colocará la capa final del material que cubrirá el bache, revisando que este quede bien perfilado respecto al resto de la sección transversal.

### 3. SOBRECARPETAS ASFÁLTICAS.

Las sobrecarpetas pueden considerarse como parte de las técnicas de conservación, pero también forman parte integral como uno de los procedimientos utilizados en la rehabilitación, por lo que se hablará de este trabajo en lo referente a las técnicas de rehabilitación, por considerarse más apropiado abordar el tema en dicho subcapitulo.

## 5.4 ANÁLISIS DE PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS PARA REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS URBANOS.

Los pavimentos se deterioran paulatinamente con el tiempo, bajo la acción del trafico y de los elementos ambientales.

Cuando aparecen los primeros signos de deterioro, debe de mantenerse el nivel de seguridad y confort mediante operaciones de conservación y renovación superficial. Los bacheos y tratamientos superficiales prolongan la vida de un pavimento, pero en un periodo de tiempo mas o menos largo el deterioro alcanza un nivel que se hace necesario proceder, mediante técnicas de rehabilitación, a restituir las cualidades perdidas.

Detectada la aparición de deterioros en un pavimento, debe hacerse un análisis profundo de los mismos que permita decidir la técnica mas adecuada, que conjuntamente con criterios económicos y ambientales den solución al problema.

Los pasos a seguir son:

#### A) Datos de partida.

##### 1) Datos del proyecto.

- Trafico pesado de diseño.
- Edad del pavimento y sus rehabilitaciones .
- Proyecto geométrico, espesores de las capas y datos de la explanada.
- Calidad de los materiales empleados.

##### 2) Datos actuales del tráfico pesado.

---

### 3) Tramificación previa.

Con los datos anteriores, se determinan tramos de características similares teniendo en cuenta:

- Variaciones del tráfico, como cruces, intersecciones, etc.
- Cambios importantes en las características de la explanada y espesores de capas.

### 4) Inspección visual.

Se determinan:

- Deterioros estructurales generalizados.
- Deterioros estructurales localizados.
- Deterioros superficiales.
- Tramos reparados.
- Problemas de drenaje.

### 5) Auscultación.

Proceso no destructivo que proporciona información sobre la capacidad resistente, como:

- Medida de deflexiones (puntual o continua).
- Medición de roderas.

### 6) Muestreo y ensayos.

Es necesario ratificar las calidades de los materiales y los espesores de las capas, mediante muestreos puntuales aleatorios en zonas de deterioros similares.

### 7) Tramificación definitiva.

Una vez analizados los resultados anteriores y partiendo de la tramificación previa, se determinan los tramos definitivos que presentan niveles iguales de deterioro.

## **B) Diagnostico.**

El objetivo principal del reconocimiento del pavimento existente, es determinar la causa de sus deterioros, a fin de establecer cual es el método mas adecuado para su rehabilitación. Este diagnostico debe ser llevado a cabo por un ingeniero experto que diagnostique por ejemplo:

- Se puede entender que el pavimento se agoto estructuralmente cuando se observa en su superficie un cuarteo en malla gruesa o fina, o zonas de rodada con grietas longitudinales, o los valores de deflexión superan la deflexión patrón.

- Se puede entender que la explanada esta estructuralmente agotada cuando las deflexiones superan la deflexión patrón o cuando aparezcan roderas cuya profundidad este correlacionada con las deflexiones.

### C) Solución.

Realizando el diagnostico, se determina el tipo de rehabilitación que se requiere y que puede ser, en general:

- Actuación preventiva y superficial (tratamientos de sello).
- Renovación y regularización superficial (sustitución de la carpeta).
- Refuerzo del pavimento (recrecimiento y mejoramiento de capas).
- Reconstrucción del pavimento.

### D) Estrategias de rehabilitación.

Decidida la solución idónea para la rehabilitación, se analizan las alternativas existentes, tomando en consideración los siguientes aspectos:

- Económicos (existencia de maquinaria, plantas, acarreos, etc.).
- Energéticos (consumos).
- Ambientales (bancos de agregados y tiros).
- Operativos (perturbaciones al tráfico).
- Técnicos (perturbaciones a las demás capas, elevaciones de rasantes y pasos inferiores, etc.).

De esta forma si la solución es una actuación de renovación de la carpeta o un refuerzo del pavimento, se puede optar por procedimientos de trabajo con materiales nuevos o con materiales reciclados.

### E) Dimensionamiento.

Una vez establecido el procedimiento, se procede a realizar el dimensionamiento, de acuerdo con la normativa y procedimientos existentes, tanto empíricos como de calculo, así como el diseño de las mezclas.

## ANÁLISIS DE LOS PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN.

La situación actual donde la disponibilidad de medios es limitada y los recursos naturales son cada vez mas escasos, lejanos y costosos, exige propuestas ingenieriles que den soluciones a los problemas derivados de la gestión de rehabilitación de las vialidades, armonizando la solución con la dimensión del problema a resolver.

En este sentido las técnicas actuales permiten el aprovechamiento de los materiales existentes en el pavimento reutilizándolos para operaciones de rehabilitación, constituyen una alternativa eficiente.

### RECICLADOS DE PAVIMENTOS.

Son las técnicas que permiten reutilizar (para su rehabilitación), los materiales existentes de pavimentos deteriorados.

La finalidad técnica de un reciclado de pavimento es la de restituir las propiedades de las capas que cortan y reutilizan o incluso mejorarlas. Estas propiedades son básicamente:

- La capacidad estructural, vinculada a la resistencia mecánica (estabilidad).
- La resistencia a la acción del agua.
- La resistencia a la fatiga, parcial o totalmente consumida en el material original.

Estos objetivos, se consiguen mediante operaciones análogas a las que se realizan en el caso de la construcción convencional:

- A) Explotación de un banco granular, (representado por pavimento fresado existente, con aportación o no de materiales vírgenes).
- B) Mezcla con ligante asfáltico o hidráulico.
- C) Extensión y compactación de la mezcla.

### Ámbito de aplicación.

El reciclado de pavimentos es una técnica de rehabilitación, que puede usarse en todo tipo de pavimentos, desde los pavimentos flexibles a los rígidos, aunque suele emplearse principalmente en pavimentos flexibles.

El campo de aplicación es enorme y va desde el reciclado de carpetas asfálticas con problemas de envejecimiento, hasta el reciclado de capas importantes de bases granulares y carpetas con problemas estructurales, pudiendo formar parte de un proceso de reconstrucción.

### Clasificaciones.

Atendiendo al objetivo de la rehabilitación podemos clasificarlos en:

- Tipo I.** Reciclado de carpeta asfáltica, como un proceso de renovación y regularización superficial.
- Tipo II.** Reciclado de la carpeta y parte de la base granular, con incorporación posterior de una capa asfáltica de poco espesor, como un proceso de refuerzo ligero.
- Tipo III.** Reciclado total de la carpeta y la base granular, creando una capa de base de alta calidad, y posterior acabado con carpeta asfáltica, lo que constituye una gran rehabilitación o reconstrucción.

En función del procedimiento utilizado para su fabricación y puesta en obra, podemos clasificarlos:

IN SITU	EN FRÍO	Con emulsión rejuvenecedora. Con asfalto espumado.
	EN CALIENTE	Con cemento asfáltico y/o agente rejuvenecedor.
EN PLANTA	EN FRÍO	Con emulsión asfáltica rejuvenecedora en plantas mezcladoras.
	EN CALIENTE	En plantas discontinuas de tambor secador mezclador o doble tambor.
	MICROONDAS	

- Los reciclados tipo I y II pueden realizarse, con cualquiera de los procedimientos descritos.
- El reciclado tipo III, habitualmente se realiza con procedimientos in situ, en frío, con emulsiones o asfalto espumado.

#### Diseño de mezclas recicladas.

El diseño de una mezcla reciclada requiere de consideraciones previas sobre las características de los materiales (agregados y asfalto) que componen el material reutilizado.

Esta característica nos lleva a la necesidad de realizar muestreos de los materiales a reciclar. La posibilidad de que las características de los materiales varíen a lo largo de la rehabilitación nos obliga a efectuar muestreos permanentes para ratificar o modificar el diseño realizado.

De los muestreos realizados se determinan las siguientes características:

#### A) Sobre el asfalto envejecido, mediante rotovapor o destilación:

- Penetración.
- Punto reblandeciente.
- Punto fragilidad fraass.

Con estos datos se determina el tipo de rejuvenecedor, asfalto o emulsión asfáltica rejuvenecedora a emplear, según el tipo de reciclado.

#### B) Sobre los agregados recuperados:

- Granulometría.
- Plasticidad.

Con estos datos se determina, según el tipo de reciclado:

- Necesidad de cribado o trituración (reciclado en planta).
- Tipo y cantidad de agregado virgen para componer las curvas granulométricas.
- Tipo y cantidad de conglomerantes hidráulicos para abatir plasticidad, en el caso de reciclados de bases granulares y carpetas.

A partir de aquí el diseño de la mezcla sigue los pasos normales como son:

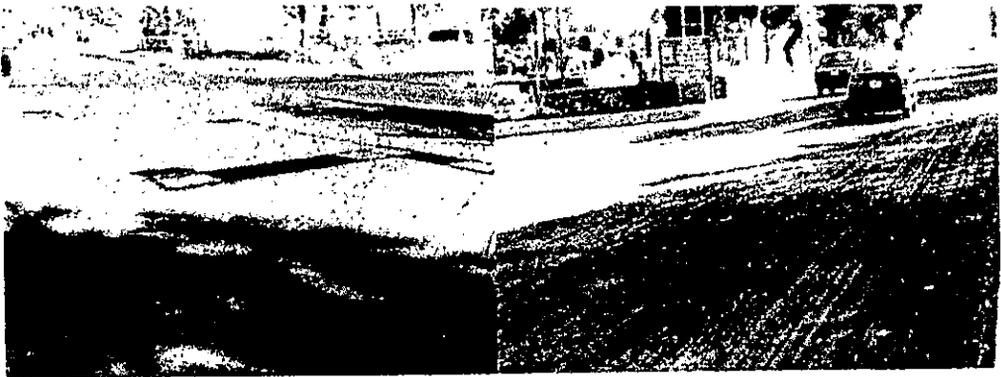
- Elección del procedimiento de diseño.
- Ensayos de la mezcla.
- ~~Formula de trabajo~~
- Control de producción.
- Seguimiento.

## RENIVELACIÓN DE CARPETA.

### Perfilado o fresado en frío en pavimentos.

El perfilado o fresado en frío, es un concepto desarrollado dentro del campo de la construcción de calles y carreteras de la infraestructura vial, nos ofrece alternativas económicas contra el alto costo de rehabilitación de pavimentos, este se emplea cuando la superficie de rodamiento se encuentra desgastada o dañada teniéndose aún las condiciones de diseño en las capas inferiores.

El fresado o perfilado consiste en la remoción del pavimento existente por medio de un método controlado automáticamente a una profundidad deseada, con un equipo diseñado especialmente para este trabajo y restaurando la superficie nueva a un nivel y bombeo especificado.



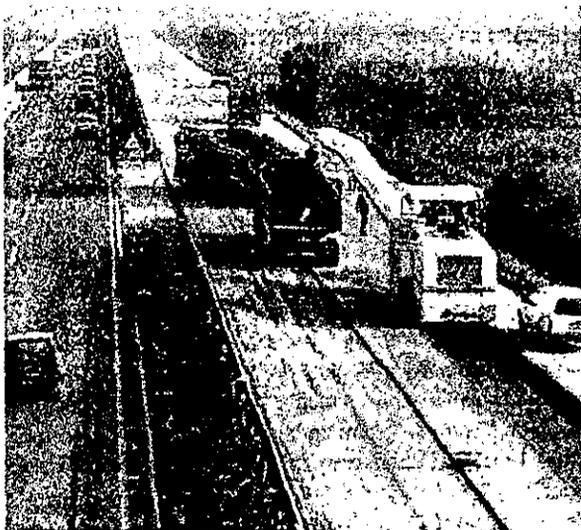
Fresado de la carpeta

La nueva superficie queda libre de arrinconamientos, fracturas u otras imperfecciones del pavimento, además de contar con una textura, y el tramo puede ser abierto al tráfico inmediatamente o

también se le puede tirar un riego de liga y posteriormente tender una capa delgada de carpeta asfáltica de rodamiento.

### Método actual en el perfilado de pavimentos.

- Trituración mediante perfiladora en frío.
- Recolección mediante un cargador conforme este avanza.
- Transporte al lugar de desecho o a la planta de asfalto para reciclado.



Perfilado de pavimento mediante la utilización del equipo Wirtgen.

### Proceso del perfilado.

- Molienda del material en el sitio en húmedo y recolección en la misma pasada.
- Transporte de camiones del material retirado para desecharse o reciclarse en una planta de asfalto.
- Limpieza de la superficie resultado de la remoción.
- Preparación de la superficie.
- Tendido de la nueva capa de rodamiento por métodos tradicionales.

### Método de corte.

Las perfiladoras cortan generalmente hacia arriba y el tambor cortador es en todo momento enfriado mediante la aspersión de agua para mejorar la vida de las puntas. Estas que existen en un sin número de diseños se construyen con cabezas de carburo de tungsteno y se montan sobre "portapuntas intercambiables" alojados en los bordes de las envolventes del tambor. Las envolventes empujan el material hacia el centro de manera que pueda ser recolectado por el sistema de transportadores de descarga.

### Ventajas del perfilado.

**Conveniencia para el publico.** El fresado en frío puede realizarse rápidamente sin obstrucción del flujo de tráfico.

**Seguridad y limpieza.** El fresado en frío es un sistema sano de rehabilitación de pavimentos en donde no se requiere de obstrucciones u obstáculos peligrosos dentro de la obra. El sistema es relativamente libre de contaminación, el proceso no genera humo y la cantidad pequeña de polvo se puede controlar fácilmente.

**Eficiencia.** Este proceso se puede enfocar directamente al problema del pavimento asfáltico o concreto hidráulico el cual puede corregirse sin tener que gastar tiempo y dinero en las capas estructurales adyacentes como base o subbase e igualmente sin interrumpir el diseño geométrico del tramo.

**Versatilidad.** El método de fresado no esta limitado a autopistas o supercarreteras. Existe una gran gama de fresadoras las cuales hacen accesible este método para fresado en frío en áreas urbanas o metropolitanas, comunidades pequeñas, igualmente para dependencias federales y dependencias estatales. Ya que el fresado ataca a una variedad de diferentes problemas dentro de la rehabilitación de una pavimentación tales como:

- Se evita el reflejo de las grietas y fallas que provocaría el tendido sobre la capa existente.
- Se pueden remover capas de hasta 16" (40 cm.) de espesor y de 16' (4.9 m) de ancho en una sola pasada, con la posibilidad de reducirse hasta anchos muy pequeños dependiendo de la aplicación.
- Teniéndose una precisión de hasta +/- 3 mm. en el espesor de la capa cortada, lo que se traduce en ahorros substanciales en el material a tenderse encima, ya que se coloca solo el material necesario para darle el nivel requerido.
- La posibilidad de mejorar el bombeo o el peralte en curvas con la misma precisión, al poderse ajustar en la máquina.
- Mejoramiento de la vida útil de la nueva superficie de rodamiento al tenderse sobre capas "sanas" de la estructura.
- Puede utilizarse como proceso inicial en el reciclado de carreteras con espesores muy grandes de carpeta asfáltica.
- Deterioro de la carpeta asfáltica de rodamiento, o la superficie de concreto hidráulico.
- Guarniciones cubiertas por sobrecarpetas.
- Los peraltes en los puentes afectados por sobre carpeteo, recuperan la altura libre original de diseño y disminuye el sobrepeso antes causado.

**Ahorro.** El material asfáltico que ha sido removido por el método de fresado en frío puede ser rehusado o reciclado como RAP (producto asfáltico reciclado) en otros procesos constructivos, dándole un valor efectivo al material fresado.

### Limitaciones del perfilado.

- Capacidad de corte en concreto hidráulico de solo pequeños espesores en las secciones.
- Control limitado de la granulometría del material retirado que puede obligar a cribas y/o trituradoras cuando se requiere reciclar en planta de asfalto.

**RECICLADO IN SITU EN FRÍO.****Definición.**

Es un proceso que reutiliza la estructura existente de un pavimento y en algunos casos la capa inferior de la base no tratada. Dicho trabajo tiene lugar en el sitio existente y no requiere de la transportación del material. Este trabajo podría decirse que consiste de la remoción de una cantidad determinada de la capa de asfalto, sin dañar la capa subyacente, para después triturarse, mezclarse con un aditivo y retenderse.

Dependiendo de las condiciones del tráfico podrá solo colocarse solo un riego de liga y sello o una capa de asfalto de menor espesor que la original.

El reciclado en frío resulta en una carretera estable con un costo del 40 al 50% menos que el requerido por métodos de construcción convencionales.

**Se recomienda cuando:**

- En pavimentos rotos o agrietados.
- En pavimentos desmoronados por la edad.
- En pavimentos ásperos.
- Cuando se requiera renivelar para capas adicionales.
- Cuando los agregados adicionales sean pocos o escasos.

**No se recomienda cuando:**

- En pavimentos con daños evidentes en la base.
- Cuando el asfalto no envuelve efectivamente al agregado.
- Con mezclas que muestran surcos debido a su inestabilidad.
- Cuando la aplicación se requiera en lugares muy fríos, las operaciones de reciclado no deberán desarrollarse cuando la temperatura ambiente sea menor de 50° Fahrenheit (10°C) o cuando este lloviendo o con niebla.
- Cuando la capa de asfalto es de menos de 1.5" (3.8 cm) de espesor.

**Método actual.**

- Perfiladora para realización de la escarificación del pavimento.
  - Corte del material.
  - Trituración.
  - Mezcla del aditivo.
  - Tendido en camellón.
- Elevadora de camellones o motoconformadora.
- Pavimentadora.
- Compactación.

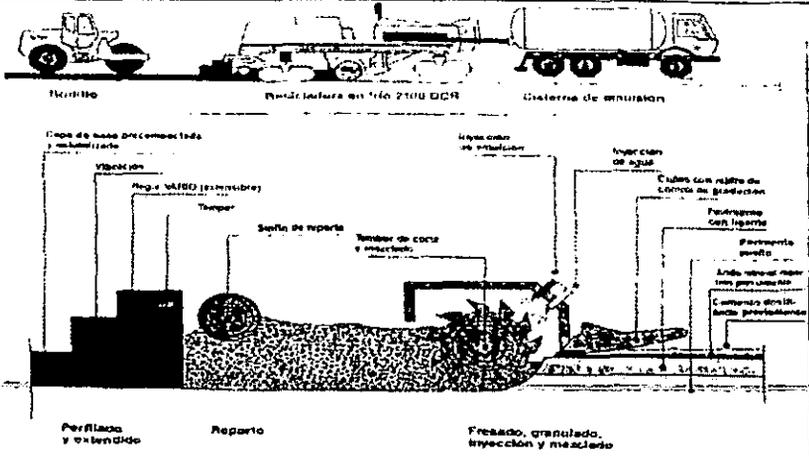


Figura 5.7 Principio de trabajo del proceso tal como lo realiza la recicladora en frío 2100 DCR

### Proceso.

Se realiza con máquinas autopropulsadas que fresan, disgregan e incorporan la emulsión asfáltica rejuvenecedora o el asfalto espumado, la máquina deberá estar equipada con controladores automáticos estándar que deberán de mantener una profundidad y ancho de corte constantes. Dicha máquina deberá de ser capaz de producir el tamaño adecuado de RAP (producto reciclado de asfalto) requerido o proporcionarle adicionalmente el cribado y la trituración si se requiere.

### Las actividades principales son:

- Muestreo previo de los tramos a reciclar para determinar:
  - Emulsión rejuvenecedora o asfalto espumado.
  - Agregado virgen.
  - Conglomerantes hidráulicos (cal o cemento) en el caso de reciclados de carpetas y bases con plasticidad.
  - Agua de preenvuelta.
- Diseño de la mezcla reciclada.
- Previo al ataque de la máquina, se colocan sobre el pavimento los conglomerados hidráulicos y agregados pétreos de acuerdo con las proporciones de diseño.
- La perfiladora en frío pulveriza el material existente hasta un tamaño cercano al especificado en planos mientras corta con un ancho y hasta una profundidad determinada, en una sola pasada, mezcla agregados y conglomerantes, así como también añade emulsión o asfalto espumado. Dependiendo del tipo de máquina y los requerimientos de la obra, puede requerirse de un tren completo de reciclado, este incluye una perfiladora en frío de grandes dimensiones, una criba y una trituradora seguidas de un implemento para mezclar. La perfiladora en frío pulveriza el material y lo transporta hasta la criba y el sobretamaño cae en la trituradora para cumplir con el tamaño máximo

especificado. El material, ya del tamaño adecuado se transporta mediante una banda a una unidad de mezclado. Un microprocesador controla la cantidad de aditivo a ser mezclado con el material.



Equipo Wirtgen para reciclado en frío

Esta unidad deposita el material procesado en un camellón desde donde es levantado (o nivelado directamente por una motoconformadora), tendido con una pavimentadora y compactado con equipo para mezcla de asfalto caliente convencional. Como ya se menciono dependiendo del tipo de perfiladora, el tendido del material reciclado lo puede realizar la misma maquina mediante una rastra, o se efectúa con una motoconformadora, para tener la nivelación. En cuanto a la perfiladora se debe observar la velocidad de avance, velocidad del cortador, ajuste de sensores, ajuste de profundidad de corte, apertura de la compuerta y la dosificación del aditivo líquidos derivados del asfalto tales como catódicos, anódicos, emulsiones de polímeros modificados, rejuvenecedores y agentes de reciclado, deberá de mantenerse una tolerancia de  $\pm 2\%$  de la cantidad de aditivo determinada inicialmente, podrá agregarse agua al material pulverizado para facilitar la mezcla uniforme con el aditivo, esta se aplicara antes o durante la incorporación del aditivo y no deberá de causar ningún efecto adverso en el aditivo o en el material reciclado.

- Se realizará la compactación por medios convencionales, el número, tipo y peso de los compactadores empleados deberá ser suficiente para obtener la compactación requerida mientras la mezcla se encuentra en condiciones de trabajabilidad, cuando el espesor del material sea de mas de 3" (7.6 cm.) deberá utilizarse un compactador neumático de 25 a 30 ton. (cortas) equipado con sistema de aspersión de agua para evitar que el material se adhiera a los neumáticos. El rodillado deberá realizarse hasta que no se note ningún desplazamiento. El rodillado final para eliminar las marcas de los neumáticos habrá de realizarse mediante compactadores de rodillos de acero en modo estático o vibratorio como se requiera para lograr la densidad requerida.
- Apertura al tráfico.
- Preparación para superficie de rodamiento, el material de reciclado deberá curarse de tal modo que el contenido de humedad sea inferior al 1.5%.
- Traslapes.

#### Equipo auxiliar en el reciclado.

- Esparcidor de material virgen.
- Deberá de utilizarse una bomba (pipa) de desplazamiento positivo capaz de medir con precisión la cantidad requerida de aditivo rejuvenecedor hasta un gasto mínimo de 4 gal/min, que se incorpore al asfalto pulverizado. Dicha bomba deberá estar equipada con un sistema de paro automático

cuando no exista material en la cámara de mezclado. Cada máquina de mezclado deberá de equiparse con un medidor capaz de registrar el flujo y la cantidad de aditivo entregado en la mezcla.

- Cuando se utilice una máquina elevadora de camellones para alimentar la tolva de la pavimentadora, esta deberá levantar todo el camellón hasta los materiales subyacentes.
- Se utilizara una “finisher” o motoconformadora auto propulsada, la cual realizara el tendido del material reciclado bituminoso o asfalto en una sola pasada continua, sin segregación en las líneas y niveles establecidos por el proyecto.
- Compactador neumático de 25 a 30 ton (cortas) equipado con sistema de aspersión de agua para evitar que el material se adhiera a los neumáticos.
- Equipo usual de pavimentación (asfalto o concreto hidráulico).

### Consideraciones.

- El reciclado en frío en sitio se medirá por  $m^2$  o por estación.
- Las operaciones de reciclado no deberán desarrollarse cuando la temperatura ambiente sea menor de 50° Fahrenheit (10°C) o en el caso de: que este lloviendo, se encuentre niebla o cuando las condiciones climatológicas sean tales que no permitan el correcto mezclado, tendido o compactado del material reciclado.
- Los reciclados con asfalto espumado proporcionan menor calidad que con emulsiones asfálticas ya que la envuelta con los agregados gruesos es deficiente.
- Este tipo de reciclados permite la realización de tratamientos de bases y carpetas, en grandes espesores (30 a 40 cms. ). De esta forma se consiguen bases recicladas de gran calidad.
- El tratamiento se debe completar con la colocación de un sello o sobrecarpeta.

### Ventajas.

a) Los caminos deteriorados pueden regresar a sus estándares originales.

1. El pavimento se restaura hasta el perfil deseado, se eliminan las rodadas de llantas marcadas, se devuelven la corona y pendiente transversal, se eliminan los baches, irregularidades y áreas ásperas.
2. Se destruye el patrón de grietas: el acodrilamiento así como las grietas transversales y longitudinales desaparecen.
3. La adecuada determinación del aditivo a emplearse, conforme al material existente, así como el correcto proporcionamiento del mismo, lograrán una restauración del pavimento viejo hasta sus propiedades originales.

b) Costos.

1. Bajos costos de movilización.
2. Los costos de transporte de material se elimina excepto los del aditivo.
3. Alta producción. Los equipos actuales pueden reciclar en frío hasta 500 ton/hr.
4. Se requiere de solo una pequeña capa de asfalto o sello como superficie de rodamiento.
5. Todos los materiales existentes se reutilizan. El único material nuevo es una pequeña cantidad de aditivo.
6. Los costos de ingeniería son mucho menores que para cualquier otro tipo de rehabilitación.

**c) Conveniencia para el tráfico.**

1. Un carril puede dejarse abierto durante los trabajos de rehabilitación.
2. La vialidad completa puede abrirse al tráfico durante la noche (o día) o durante los fines de semana.
3. La contaminación, incluyendo el polvo, ceniza y humo son mínimos.
4. Los trabajos pueden completarse en un mínimo de días laborados.

**d) Ventajas ambientales.**

1. Se reutiliza todo el material bituminoso.
2. Se elimina el transporte y desecho del material deteriorado existente.

**RECUPERACIÓN DE PROFUNDIDAD TOTAL.**

Es una técnica de recuperación de pavimentos en la que la totalidad del pavimento asfáltico flexible y una porción determinada de los materiales subyacentes, son triturados uniformemente, pulverizados y mezclados, resultando una base estabilizada, además puede obtenerse una mayor estabilización mediante el uso de aditivos.

**Introducción.**

Este proceso tiene la ventaja y alternativa de diseño en la rehabilitación de pavimentos, debido a que pulveriza y mezcla la estructura deteriorada del pavimento hasta la granulometría máxima especificada de proyecto, incorporando el material a la estructura de diseño del pavimento rehabilitado, para crear la sección especificada.

**Diseño.**

Esta tecnología no varía los pasos a seguir en el diseño para las condiciones existentes, la determinación de la causa de falla del pavimento, ni la decisión de los requerimientos de proyecto. Dicho proceso ofrece ventajas económicas en cuanto a la necesidad de acarreo. El costo de preparar la superficie por métodos tales como la escarificación, prenivelación, adición de una capa de roca triturada o el tendido de una capa adicional de asfalto, será mayor que el de pulverizar el material existente. Aprovechando la ventaja de la capacidad de introducir aditivos líquidos se obtiene una mejor estructura de pavimento y substanciales ahorros en costos.

**Proceso.**

Dicho proceso consiste en:

1. Limpieza de hombros y cunetas para posteriormente proceder a la pulverización e introducción de aditivos o materiales adicionales del tipo virgen que ayudarán a crear la base deseada. Los porcentajes de aditivos se expresan conforme al peso del material que se mezcla. En la mayoría de trabajos se requiere la adición de agua para obtener la humedad óptima que permita la mezcla apropiada de los materiales y aditivos, así como cemento, cal hidratada o cal viva. En algunos

- casos la cantidad de materiales existentes no es suficiente para lograr el espesor de base tratada deseado. En esos casos se incorpora material virgen a la base, colocándose sobre el pavimento existente antes de comenzar el proceso.
2. El material de base esta listo para la nivelación y compactación, con lo cual se asegura una buena adherencia entre la nueva base y la capa de desgaste. La sección transversal restaurada deberá compactarse completamente a no menos de 95% de la máxima densidad del material seco o de acuerdo a la norma ASTM T99.
  3. Aplicación de una superficie de desgaste o capa de rodamiento. En algunas ocasiones la liga puede ser combinada con arena para abrir la vialidad lo mas pronto al tráfico.

### **Equipo Auxiliar.**

- Perfiladora.
- Pipa con agua, emulsión o asfalto.
- Esparcidor de cemento Portland.
- Motoconformadora.
- Compactador.

### **Ventajas y desempeño.**

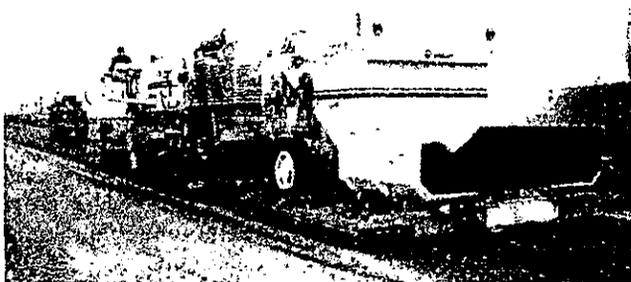
- Método económico para la creación de secciones mejoradas.
- Elimina el posible reflejo de grietas o hundimientos en la nueva superficie de rodamiento
- Recicla los materiales existentes conservando los recursos naturales y la energía.
- El proceso se desarrolla en sitio.
- Se eliminan los procesos de calentamiento, mezclado y acarreo de los métodos convencionales.
- La sección de la carretera puede mantenerse o ajustarse, el nivel puede disminuirse en las curvas para mejorar el peralte o mejorarse en secciones con bombeo pobre.
- El tránsito de emergencia o local usualmente continúa durante la rehabilitación de la vialidad (un carril puede estar abierto al tráfico).
- Elimina la necesidad de tirar el material.
- Mejora la resistencia a la penetración de heladas a la subbase.
- Ahorros mediante la reducción del espesor total del pavimento.

### **Limitaciones de la recuperación.**

- Las recuperadoras pueden cortar solo la combinación de carpeta y base. No pueden cortar solo carpeta.
- La profundidad de corte de las recuperadoras no es infinita, puede requerirse de un perfilado previo en ciertos proyectos.
- Se recomienda contar a 3/4 partes de carpeta y 1/4 parte de base como máximo.

**RECICLADO IN SITU EN CALIENTE.****Proceso.**

El proceso técnico se realiza con maquinas continuas que precalientan la capa asfáltica, fresan, disgregan e incorporan el agente rejuvenecedor, permitiendo la incorporación de la mezcla asfáltica virgen simultáneamente, y tendido de la mezcla. Por consiguiente tenemos que el método de reciclado en caliente deberá aplicarse en condiciones de rehabilitación de carpetas asfálticas en donde el problema sea en la capa superficial de la carpeta asfáltica y de 3 a 5 cm. de profundidad máxima. Si el problema que se presenta requiere de mayores profundidades se tendrán que considerar otros métodos constructivos de rehabilitación.



Equipo Wirtgen para reciclado en caliente

**Las actividades principales son:**

- Muestreo previo y análisis del material a reciclar, determinando el rejuvenecimiento y mezcla asfáltica virgen a añadir.
- Diseño de la mezcla reciclada mediante MARSHALL o SUPERPAVE.
- Ataque con la maquina de reciclado continua, que consiste en un tren de equipos autopropulsados que realiza las siguientes operaciones:
  - Precalentamiento de la carpeta asfáltica, utilizando diversas fuentes de calor, como rayos infrarrojos, gas butano o aire caliente, a una temperatura comprendida entre 120° y 150°C generando un reblandecimiento de la masa asfáltica. El calentamiento de la carpeta asfáltica por medio de los radiadores o paneles infrarrojos es posible ajustarla individualmente por consiguiente, la aportación de calor puede ser dosificada en función de la temperatura exterior, de la profundidad de trabajo y de la naturaleza de la nueva capa.
  - El fresado de la carpeta precalentada es producido por árboles de mullido rotativos con dientes o puntas, posicionadas en forma espiral, estas muelen la capa de la carpeta asfáltica hasta la profundidad deseada. En conjunto con las cuchillas de nivelación la capa es rascada o escarificada exactamente y el material es transferido al mezclador disgregando e incorporando el rejuvenecedor. La profundidad máxima de escarificación recomendada no deberá exceder los 5 cm. de profundidad.

- El aditivo de corrección se mezcla con el material viejo en un mezclador, los camiones transportan este material hasta la remezcladora y lo descargan en la tolva de recepción donde la dosificación se efectúa según la velocidad de avance.
- El mezclador de circulación forzada de dos arboles mezcla homogéneamente los materiales de aporte con el material viejo y transporta en forma continua la mezcla asfáltica en forma de camellón hasta delante de la regla de colocación mediante el equipo esparcidor. En caso de ser necesario, el equipo esparcidor permite la recepción de mezcla virgen fabricada en planta, que se revuelve con la reciclada, los equipos mas modernos permiten la colocación de la mezcla virgen encima de la mezcla reciclada. La mezcla depositada sobre la rasante calentada es extendida por la regla de colocación de regulación continua, manteniendo exactamente el perfil. El calentamiento de la rasante garantiza un íntimo contacto de las capas asfálticas.
- Los equipos contemplan un rendimiento diario de hasta 7000m<sup>2</sup> y un ancho de trabajo variable de 3 a 4.5m de ancho y presentan una economía en los tiempos de colocación, costos de acarreos, energía y materias primas de hasta un 20 a 30%
- El tramo reciclado se puede abrir al tráfico inmediatamente después de la compactación de la mezcla por medios convencionales, teniendo así un reciclado en caliente en sitio en una sola pasada de trabajo.

### Consideraciones.

- Las altas temperaturas en la operación de precalentamiento, pueden provocar la ignición del material fresado, por lo que es necesario el control de la fuente de calor. Por este motivo, los espesores a reciclar se limitan a 6-8 cm..

Este procedimiento de reciclado es aconsejable en rehabilitaciones de renovación y regularización de la carpeta asfáltica.

### RECICLADO EN PLANTAS EN FRÍO.

#### Proceso.

El proceso de elaboración es el siguiente. Una vez que se realiza el fresado de la carpeta asfáltica, el material se lleva a la planta de asfalto, se criba en las mallas con el objeto de analizar su granulometría y su contenido de cemento asfáltico, si es que se utiliza el material producto del fresado.

Una vez que se han analizado estos dos aspectos, se realiza la incorporación del agregado virgen necesario con el objeto de que cumpla con la curva granulométrica especificada anteriormente.

Posteriormente se aplica la emulsión asfáltica rejuvenecedora catiónica o aniónica de acuerdo a las características del material con el objeto de que exista adherencia y afinidad entre el agregado y la emulsión.

Para el caso de las mezclas asfálticas fabricadas en frío lo que las hace manejables es el agua con que esta fabricada la emulsión, ya que una vez que se elimina totalmente el agua la mezcla alcanza su estabilidad. Posteriormente se aplica el cemento asfáltico necesario de tal manera que se obtenga el contenido óptimo o el valor típico del material con que se esta trabajando. El cemento asfáltico es el único material que se calienta con el objeto de poder realizar la mezcla con el agregado y hacer una mezcla más homogénea. Finalmente, éste se hace pasar por las tolvas de las plantas para poder obtener el producto final, el cual es transportado a la obra para su tendido y colocación.

El proceso que se utiliza para el tendido de las mezclas asfálticas es similar al de las mezclas asfálticas en caliente, con las siguientes particularidades.

- a) Una vez que se tiende lo que se busca es eliminar totalmente el agua para que alcance su estabilidad.
- b) Necesita que se le den diversas pasadas de compactador neumático para alcanzar su estabilidad.
- c) La temperatura de tendido es la temperatura ambiente.

#### **Ventajas.**

- Los rendimientos que se obtienen son mayores en el proceso de colocación, es decir se avanza más rápidamente que una mezcla fabricada en caliente.
- Dentro de las ventajas que se obtienen en el empleo de este tipo de mezclas es que no emiten solventes a la atmósfera y por tal motivo no contaminan el medio ambiente.
- El costo de fabricación de la mezcla es más barato que una mezcla en caliente.

#### **Desventajas**

- Tardan mucho tiempo en alcanzar su estabilidad.
- Su calidad es menor comparada con una mezcla en caliente.
- Su vida útil es menor que la de una mezcla asfáltica en caliente.
- Se ha encontrado que no existe una mezcla homogénea entre los agregados y el cemento asfáltico.



Fabricación de mezcla en frío

**Consideraciones.**

- Los procesos de diseño y fabricación en planta, permiten la fabricación de mezclas en frío de alta calidad.
- Permiten utilizarse tanto en rehabilitaciones de renovación y regularización de la carpeta asfáltica, como en refuerzos incrementando el espesor de la mezcla reciclada o colocando una sobrecarpeta.

**RECICLADO EN PLANTAS EN CALIENTE.****Proceso.**

El proceso de reciclado en planta requiere de las siguientes actividades principales:

- Muestreo de los tramos a reciclar para determinar el agregado virgen y el asfalto y/o rejuvenecedor a añadir.
- Diseño de la mezcla, mediante procedimiento Marshall o Superpave.
- Fresado del material en frío y traslado a la planta de fabricación.
- Triturado y/o cribado del material fresado.
- Análisis del material fresado para ratificar el diseño.
- Proceso de fabricación en plantas de tambor-secador-mezclador o doble tambor.
- Traslado a la obra, tendido y compactación por medios convencionales.

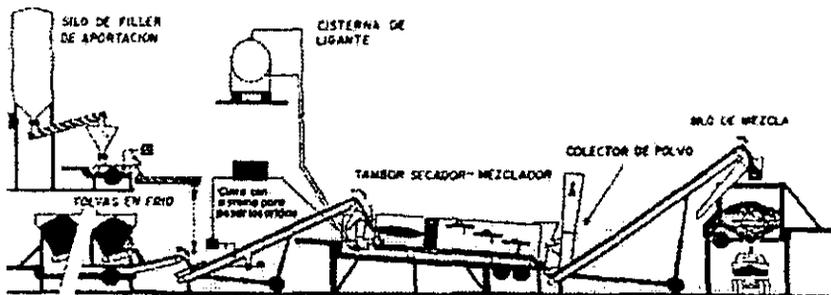


Figura 5.8 Central de tambor secador-mezclador para la fabricación de mezclas asfálticas en caliente

**Consideraciones.**

- Las altas temperaturas en los secadores pueden provocar la ignición del material fresado, con pérdida de características y alta contaminación. Las plantas recomendadas disponen de los dispositivos adecuados para proteger de los quemadores la mezcla a reciclar de manera que la homogeneización del producto final se produce a temperaturas adecuadas para cada uno de los componentes.
- Los procesos de reciclado en planta fija, permiten la fabricación de mezclas de alta calidad.
- Este procedimiento se utiliza en rehabilitaciones para renovación y regularización de la carpeta asfáltica y, en refuerzos, colocando una sobrecarpeta.

**SOBRECARPETAS ASFÁLTICAS.**

Las sobrecarpetas es una técnica de rehabilitación recomendada para pavimentos deteriorados, la corrección de fallas funcionales, así como también el reforzar un pavimento estructuralmente con problemas en la base o carpeta, el cual debe de adecuarse para un volumen de tránsito mayor, esta técnica es conveniente para solucionar problemas de fatiga, rehabilitación de carpetas envejecidas y en ciertos casos dar soluciones temporales a los problemas que presenta el pavimento.

Dentro de las alternativas para los trabajos de rehabilitación de pavimentos nos encontramos con dos tipos de sobrecarpetas:

- De mezcla asfáltica (en frío). Puede fabricarse en planta, plataforma o sobre el camino y colocarse con extendedora mecánica o con motoconformadora.
- De concreto asfáltico (en caliente). Se fabrican en planta y se colocan con extendedora.

TABLA 5.7

SOBRECARPETAS PARA PAVIMENTOS	
PAVIMENTOS DE CONCRETO	PAVIMENTOS ASFÁLTICOS
Stone Mastic Asphalt	Concreto (whitotopping)
Concreto compactado con rodillos	Concreto Asfáltico
Concreto Asfáltico	Stone Mastic Asphalt

**1. Sobrecarpetas de concreto hidráulico.**

Una de las alternativas para la rehabilitación de pavimentos flexibles son las sobrecarpetas de concreto hidráulico: contamos con la técnica conocida como "whitotopping" es un procedimiento mediante el cual se construye una sobrecarpeta de concreto hidráulico de poco espesor sobre un pavimento flexible. Este procedimiento ha sido empleado con muy buenos resultados desde los años 20's en Europa, USA y actualmente en México (1994 realizado en la ciudad de Baja California Norte), para la rehabilitación de aeropistas, carreteras, calles y zonas de estacionamiento. Sus ventajas (costo competitivo, menor tiempo de construcción, bajo costo de conservación, menores costos de operación y solución integral a las fallas estructurales y superficiales de las superficies asfálticas), ponen de manifiesto su bondad como alternativa sumamente atractiva en la rehabilitación de pavimentos.

**Procedimiento de rehabilitación con Whitotopping.**

Los trabajos previos a la sobrecarpeta únicamente serán el considerar deterioros en estado avanzado tales como: rodaderas, desplazamientos o baches. Áreas donde ha habido falla de la subrasante, las cuales no darán soporte uniforme a la sobrecarpeta de concreto hidráulico deberán ser removidas y remplazadas.

TABLA 5.8

CONDICIONES PAVIMENTO	DEL REPARACIÓN	CONSIDERACIONES
Rodaderas (menores de 5 cm)	Ninguna	Agregar una junta en el sitio
Rodaderas (mayores de 5 cm)	Nivelación o Fresado	Costo de drenaje
Desplazamiento	Fresado	
Baches		Rellenar con roca triturada, mezcla fría o caliente
Falla de la subrasante		Remover y remplazar/ reparar
Agrietamiento tipo cocodrilo	Ninguna	
Agrietamiento tipo mapeo	Ninguna	
Grietas transversales	Ninguna	Capa rompedora
Grietas longitudinales	Ninguna	
Desprendimiento	Ninguna	Barrido de superficie
Exceso de asfalto	Ninguna	

Después de la corrección de los deterioros superficiales, se deberá definir como solucionar las deformaciones antes de colocar una carpeta whitetopping. Se puede usar varios métodos, como barrido y colocación directa, fresado y colocación de una capa niveladora.

- **Colocación directa.** En este caso la superficie no recibe ningún tratamiento y las rodaderas son rellenas por la sobrecarpeta de concreto hidráulico. No es necesario fresar, nivelar u otro procedimiento. Se recomienda el tendido directo en todos los casos en que las rodaderas no excedan de 5 cm.
- **Fresado de la superficie existente.** Las distorsiones de la superficie pueden ser removidas utilizando una fresadora o un cepillo mecánico. Para dejar un perfil uniforme se requiere normalmente remover de 3 a 8 cm dependiendo del espesor del pavimento. El fresado establece la rasante final y se puede ajustar la sección transversal como sea necesario por lo que la sobrecarpeta de concreto hidráulico se construye como si fuera sobre una rasante recortada. Este método requiere menos tiempo de inspección y costo, que el procedimiento por tendido directo, pero incrementa el costo por los trabajos de fresado y los movimientos del material removido. (El material fresado se puede utilizar en forma muy económica para la construcción de hombros). Se debe de considerar el costo entre fresado y tendido directo al hacer un proyecto de rehabilitación con whitetopping. En algunas ocasiones se podrá utilizar ambas alternativas.
- **Capa de nivelación.** Esta puede ser una alternativa, procedimiento que de acuerdo a los estudios llevados a cabo de las diversas alternativas analizadas corresponde al más costoso.

La decisión del uso de cualquiera de las alternativas antes mencionadas depende del costo que cada una de ellas representa. Por obvias razones la más económica siempre será la colocación directa.

### Materiales.

Se pueden utilizar mezclas de concreto normal o fraguado rápido. En la mayoría de los casos, los diseños de mezclas normales son suficientes. Sin embargo, mezclas de fraguado rápido pueden ser efectivas especialmente al reducir el tiempo de cierre en carreteras congestionadas. Con mezclas de fraguado rápido, se pueden permitir el tráfico de 5 a 24 horas después de la colocación.

**Procedimiento constructivo.**

El procedimiento constructivo para la construcción de una sobrecarpeta de concreto hidráulico involucra las mismas actividades que para la construcción de una losa nueva en cuanto a materiales, equipos, mano de obra, etc, variando ligeramente los procedimientos constructivos que a continuación se describen:

- Terminados los trabajos de mantenimiento y preparación de la superficie del pavimento como son: bacheo, rodaderas, corrimientos, fallas estructurales localizadas, se procederá fresado o nivelado y al tendido del concreto hidráulico.
- El espesor de este tipo de sobrecarpeta conceptualmente varia de 5 a 10 cm buscando su aplicación en la construcción de calles y vialidades urbanas donde se deben cuidar los niveles en guarniciones, intersecciones a nivel de gálibo de los puentes en los pasos a desnivel.
- El tendido deberá realizarse con una extendedora tipo Slipform (cimbra deslizante), colocándose el concreto hidráulico con el espesor de proyecto. Este equipo deberá contar con sensores de nivel y la orilla de losa deberá de formar un ángulo de 90° con respecto a la superficie. Este equipo deberá tener también la capacidad de insertar las barras de espaciamiento de las especificaciones del proyecto.



Slipform paver SP 850

Slipform paver SP 1600

- Una vez terminados los trabajos de tendido del concreto se procederá a un texturizado con el equipo CMI-TC-250 mediante una tela de yute en el sentido longitudinal, posteriormente se procederá a realizar un texturizado transversal con un ancho de 3.2 mm a una profundidad cuando menos de 3.2 mm y no mayor de 6.4 mm.
- Posteriormente se procederá al curado de la losa con el mismo equipo del tipo CMI-TC-250, se aplicara un componente cuya base será agua y parafina de pigmentación blanca en las cantidades marcadas por el proyecto.
- El espaciamiento de juntas en las sobrecarpetas de poco espesor varía de 60 cm a 180 cm siendo menor que en los pavimentos de concreto convencionales (4.5m a 6.0 m) ya que se busca que dado su pequeño espesor los tableros reduzcan su trabajo a flexión y actúen en forma más similar a bloques de adoquín, donde su función es trabajar en su mayoría a compresión transmitiendo las cargas directamente a las capas inferiores del pavimento. Mas aún, a altas temperaturas las sobrecarpetas de poco espesor de concreto tienden a alabearse originando esfuerzos a tensión en las fibras inferiores. Reduciendo el espaciamiento de juntas los esfuerzos por temperatura se mantienen relativamente bajos. Los esfuerzos por contracción y expansión también tienden a disminuir con espaciamientos de juntas menores. Por otro lado, el espaciamiento de juntas se debe

limitar a un mínimo por razones económicas por lo que generalmente son más recomendables tableros con dimensiones mayores de 90 cm.

- Después del curado de la losa se procederá al corte de las juntas longitudinales y transversales, para lo cual se emplearan cortadoras con discos abrasivos en caso de que se realicen los cortes en seco y con discos de diamante en caso de que el corte se realice entre 4 y 12 horas después del curado cuando el concreto presente las condiciones propicias para su ejecución. El cortar demasiado tarde resultaran en probables agrietamientos no controlados. Estas también pueden formarse mediante cintas plásticas hincadas en el concreto cuidando su correcto alineamiento y que la profundidad sea de 1/4 a 1/3 del espesor de la losa. Otro aspecto que debe de cuidarse es la relación ancho a largo la cual no debe de exceder de 1.25 evitándose tableros de formas irregulares.
- Después de los trabajos de corte se procederá al sellado de las juntas previa limpieza de las mismas mediante aire a presión, sanblast o agua a presión. Cualquiera de estos procedimientos deberá de garantizar la limpieza total de la junta. Una vez limpia la junta se colocará la trilla de respaldo (Baker Rod) y después el material sellante.
- El empleo de fibras en la actualidad como refuerzo en el concreto, es un factor notable ya que aumenta sus propiedades mecánicas, pudiendo así reducir su espesor, por lo cual se han comercializado y están disponibles en el mercado para diversas aplicaciones. Para un mejor desempeño se aconseja que estas tengan una superficie rugosa, elementos de anclaje en las puntas o estén onduladas a lo largo de su longitud para obtener una mejor adherencia en la mezcla del concreto. Además, durante el proceso de mezclado se debe garantizar una dispersión uniforme de las mismas para prevenir segregación y obtener una trabajabilidad adecuada y un mejor acabado de su superficie. También es recomendable el uso de aditivos inclusores de aire y reductores de agua. Entre los factores que afectan las propiedades del concreto reforzado con fibras se puede mencionar el tipo y el porcentaje de fibras utilizadas, su relación longitud a diámetro, y el tamaño del agregado grueso. También es desconocido que a mayor longitud de fibras se obtiene una mejor resistencia, sin embargo se afecta la trabajabilidad de la mezcla y se dificulta su dispersión. De las fibras mas utilizadas en la construcción de pavimentos de concreto se pueden mencionar las fibras de acero con las cuales se obtienen incrementos significativos de resistencia a la tensión, a la compresión y a la fatiga entre otras propiedades mecánicas. Otro tipo de fibras utilizadas son las fibras de polipropileno de las cuales, en los estudios de inversión efectuados (para proporciones de fibras de 0.1% a 0.3% en volumen), se observa una gran variación de los resultados obtenidos sobre sus propiedades reconociéndose únicamente ligeros incrementos en la resistencia al agrietamiento, resistencia al impacto y notable reducción en el agrietamiento por contracción en estado plástico del concreto.
- Las especificaciones de construcción de pavimentos de concreto mencionan que para la apertura al tránsito se requiere de una resistencia y/o en intervalos de curado de 5 a 14 días. Actualmente existe una técnica de pavimentación acelerada "Fast Track", la cual mediante un diseño de las mezclas y técnicas de curado adecuadas se puede desarrollar resistencias tales que permiten la apertura al tránsito en cuestión de horas (normalmente de 6 a 24 horas). Así pues, esta técnica de pavimentación es excelente en la rehabilitación de calles y caminos pues reduce significativamente las interrupciones del tránsito reduciendo así los costos de operación por demora de los usuarios al mismo tiempo que proporciona pavimentos duraderos y de alta calidad. Entre los factores que se deben de considerar para obtener altas resistencias a temprana edad figuran la relación agua-cemento, la fineza del cemento, la relación química de las partículas del agregado, la inclusión de aire, la temperatura del agua y del medio ambiente y las técnicas de curado.

**Ventajas de la rehabilitación con sobrecarpeta delgada de concreto hidráulico.**

1. A diferencia de los pavimentos flexibles, las sobrecarpetas de poco espesor proporcionan un buen comportamiento a largo plazo en términos de capacidad estructural e índice de servicio.
2. Durante su vida útil solo requieren de un mantenimiento mínimo.
3. Se requiere de un espesor de este tipo de sobrecarpeta bastante razonable para empleo en vialidades urbanas donde se debe de cuidar la geometría de las secciones y en especial los niveles de las guarniciones a nivel y gálibo de puentes.
4. Brindan una buena apariencia estética y dan una luminosidad adecuada en la noche.

**2. Sobrecarpetas de Concreto asfáltico.**

Esta alternativa proporciona una nueva superficie de desgaste, mejorando la transitabilidad, la seguridad y la resistencia del pavimento. La nueva superficie permite la corrección de la sección transversal y los defectos de la superficie tal como grietas, rodaderas, etc.

La selección de los materiales para la sobrecarpeta tiene un impacto importante en el plan de rehabilitación. La calidad de los materiales afectara en el espesor de la misma, que depende de la capacidad estructural necesaria y del ciclo de vida que se considere.

Actualmente una de las tecnologías utilizadas en la pavimentación y que tiene mucho éxito en la rehabilitación de pavimentos asfálticos e inclusive en pavimentos de concreto hidráulico es el uso de sobrecarpetas de Stone Mastic Asphalt (SMA) material antes mencionado en el capítulo II, de espesores muy pequeños (1" en algunos casos).

**Procedimiento constructivo.**

Antes de colocar la carpeta de SMA, es importante examinar las condiciones de la superficie sobre la cual se colocará y llevar a cabo cualquier tratamiento o reparación necesaria. En el caso de que la vialidad requiera de un refuerzo estructural se toma como alternativa realizar un bacheo puntual o parcial retirando los materiales dañados y substituyéndolos por materiales completamente sanos.

Una vez concluido el bacheo se procederá a ejecutar el piquete de amarre, el cual tiene como objetivo formar dentellones entre el asfalto nuevo y el viejo evitando el deslizamiento de la nueva carpeta, es impórtente señalar que éstas oquedades deben de limpiarse perfectamente, si es necesario con un compresor de aire para que realicen adecuadamente su función. Aunque SMA puede ser tendido sobre superficies desgastadas por el tráfico debido a su baja compresibilidad, los baches grandes deberán repararse previamente. La superficie deberá compactarse, estar limpia y seca. Deberá rociarse una capa de emulsión asfáltica rebajada ó aplicar un riego de liga FR-3 a razón de 0.7 lt /m<sup>2</sup> sobre el pavimento viejo para asegurar una buena adhesión. Para la colocación se utiliza una maquina normal para el tendido de asfalto 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 cercana a los 150° C. No deberá colocar un asfalto SMA cuando la temperatura del aire cae abajo de los 3°C. La compactación del pavimento depende de la temperatura de los rodillos, así como de los patrones del recorrido de los rodillos, el número de pasadas de la aplanadora y espesor al que debe de compactarse. Se debe de iniciar el aplanado

inmediatamente después de la máquina pavimentadora con una aplanadora de 8 a 10 ton., estática y con rodillos de acero y deberá permanecer lo más cerca posible de la pavimentadora ya que la mezcla tiende a enfriarse rápidamente. Con el SMA no se recomienda utilizar compactadoras con ruedas de hule ya que el alto contenido de cemento asfáltico tiende a pegarse en las ruedas de hule y causa efectos indeseables en el Mastic. Las compactadoras con vibración se deberán usar únicamente en la segunda y tercera pasada. El aplanado final puede continuar mientras que la temperatura esta todavía arriba 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. Finalmente se podrá sellar con una lechada a base de cemento portland y agua en una proporción de 0.75 kg/m<sup>2</sup> con la utilización de rastrillos y cepillos.

## RECONSTRUCCIÓN.

La reconstrucción involucra la adaptación de la estructura del pavimento para un tránsito mas pesado, lo cual implica una sobrecarga, derivándose en el levantamiento completo de la estructura del pavimento, cuando esta se encuentra colapsada por exceso de problemas estructurales, incluso de las capas subyacentes. La estructura se reemplaza como si fuese la construcción de un nuevo pavimento.

Las técnicas de la reconstrucción ofrecen la opción de seleccionar los materiales vírgenes, utilización de materiales estabilizados, el uso de geotextiles o bien el reciclar los materiales existentes. El uso de material reciclado puede tener un impacto grande en los costos del proyecto.

## 5.5 CONTROL DE CALIDAD EN LOS PAVIMENTOS.

### 1. CONCEPTOS BÁSICOS.

#### Control de calidad.

Se define como el conjunto de las actividades ingenieriles que tienen por objeto asegurar que la obra a construir reúna las características de comportamiento con que fue concebida, dentro de un nivel de calidad preestablecido. Todo esto lo debemos asociar con un "patrón" de comparación, que denominamos nivel de calidad característico, es decir, el valor medio de la propiedad o característica a medir o valorar.

El nivel de calidad característico implica el establecido de los criterios de aceptación, corrección y rechazo, mediante el valor medio de la característica a medir o valorar y su desviación estándar o coeficiente de variación (como medidas de dispersión de valores), tomando en cuenta la probabilidad de falla en las pruebas de aceptación. El nivel de calidad característico que se desea, lo complementan en la práctica las variaciones permisibles, en más o menos, respecto al valor medio requerido de la característica a medir o valorar.

El nivel de calidad característico viene siendo el conjunto de características cualitativas y cuantitativas, que deben de satisfacer los materiales, las instalaciones y los componentes de la obra, en los aspectos de resistencia a las cargas por soportar, asentamientos totales y diferenciales, deformaciones, geometría, apariencia, durabilidad, capacidad de carga, etc.

**2. ACCIONES DE LOS RESPONSABLES DE LA OBRA.**

Con el fin de satisfacer los niveles de calidad característicos (mediante sus indicadores correspondientes) para cada componente de la obra, es necesario estipular con mucha claridad la acción de los responsables involucrados, como se sugiere a continuación:

Tabla 5.9

<b>NIVELES E INDICADORES DE CALIDAD CARACTERÍSTICOS</b>		
<b>RESPONSABLE</b>	<b>ACCIÓN</b>	<b>CALIDAD PRINCIPAL</b>
Planeación	Definir	Criterios básicos de ingeniería
Proyecto	Establecer	Planos, especificaciones y manuales
Construcción	Asegurar	
Conservación	Mantener	Personal, maquinaria y equipo
Operación	Vigilar	
Supervisión	Verificar	Personal y equipos (topografía, laboratorio y campo, no destructivos,..)
Control de calidad	Certificar	

Por lo tanto, el responsable de la planeación define dichos niveles e indicadores de calidad en un documento fundamental que se puede denominar "criterios básicos de ingeniería", para que el proyectista los establezca en los planos, las especificaciones y los manuales.

De esta manera, el constructor sería el único responsable de asegurar dichos niveles e indicadores de calidad característicos, cuya verificación es competencia exclusiva del supervisor, con el apoyo del controlador de calidad, que los certifica de manera ágil y oportuna. Finalmente los responsables de conservación y operación de la carretera deberán dedicarse exclusivamente a mantener y vigilar el cumplimiento de los niveles de calidad estipulados, tanto, en geometría y acabados como en materiales y procedimientos constructivos.

**3. RESPONSABILIDAD DEL CONTROLADOR DE CALIDAD.**

Para apoyar a la supervisión en la verificación del proyecto, es necesario que el controlador de calidad fije conjuntamente con el supervisor las propiedades fundamentales y su corrección con las subordinadas y los parámetros o indicadores de control, que sean fácilmente medibles, para que se puedan certificar de manera ágil y oportuna todos los niveles de calidad característicos de cada componente de la obra.

La auténtica certificación de los niveles de calidad característicos, a través de los indicadores asignados a cada propiedad geométrica, de acabados, materiales o procedimientos constructivos, implica constatar (por escrito) que se están cumpliendo dichos niveles e indicadores durante las etapas del control de calidad.

**4. UN ENFOQUE DEL CONTROL DE CALIDAD.**

Para certificar o confirmar los niveles de calidad característicos, es imperioso conocer a fondo la finalidad y los alcances del control de calidad, para fijar el nivel de calidad relativo en la escala correspondiente (excelente, alto medio y bajo).

Una vez que se fija el nivel de calidad relativo entre el supervisor y el controlador de calidad, se procede a establecer el tipo y la frecuencia de los indicadores de calidad característicos, de acuerdo

con los niveles de confianza preestablecidos para cada elemento o componente de la obra, las pruebas de aceptación convenidas, los muestreos aleatorios resultantes, acordes con la características geométricas y de acabados, así como las correspondientes a los materiales y los procedimientos constructivos.

De acuerdo con lo expresado anteriormente, será posible instalar en la obra al grupo de control de calidad con su estructura técnica idónea (plantilla de personal, métodos y sistemas, etc.), cuyos servicios pueden ser por administración directa o contratados.

## CAPITULO VI.

## ADMINISTRACIÓN DE LOS PAVIMENTOS.

## 6.1 SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE LOS PAVIMENTOS.

Es el conjunto de procedimientos sistemáticos que tienen como objetivo principal el coordinar y programar de manera eficiente todas las actividades relacionadas con la **planeación**, el **proyecto**, la **construcción**, el **mantenimiento**, la **rehabilitación**, la **reconstrucción**, la **evaluación** y la **investigación** de pavimentos, basados en un enfoque que maximice los beneficios y minimice los costos. Estas actividades son los componentes básicos de un SAP (Sistema de Administración de Pavimentos) y están directamente relacionadas entre sí y cualquiera de ellas puede, en un momento dado, adquirir una importancia relevante.

Los SAP son considerados como la herramienta más eficiente para la administración y la programación del mantenimiento vial.

La implantación de un SAP (Sistema de Administración de Pavimentos) radica en cuantificar y acumular la información necesaria para establecer recomendaciones específicas que traducidas en acciones permitan optimizar los recursos disponibles para mantener una red en condiciones de servicio aceptables, dentro de las posibilidades presupuestales, para garantizar la circulación de los vehículos en forma segura, económica y cómoda.

Las ventajas de la aplicación del SAP es que aumentan la posibilidad de tomar decisiones correctas, al considerar todos los factores relevantes y las alternativas en forma coordinada. El éxito de este depende de un mejor uso de la tecnología disponible, mediante las acciones de coordinación, comunicación, cooperación, información y retroalimentación.

En un SAP se distinguen dos niveles:

1. Nivel de **Red** en el cual se efectúan las actividades de programación, planeación y distribución del presupuesto, las cuales están a cargo del personal directivo responsable de la administración.
2. Los **Tramos** de la red vial, definen la mejor estrategia de mantenimiento rutinario, rehabilitación y reconstrucción de los pavimentos existentes, asignando prioridades entre ellos y teniendo como restricción el presupuesto total disponible. Una vez seleccionado un tramo, en este se efectúan actividades detalladas de evaluación y proyecto, antes de llevar a cabo la medida requerida para

mejorar el estado del pavimento. Mediante ciclos de retroalimentación se establece un enlace dinámico entre los dos niveles.

## I. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL SAP.

Parte central del sistema es crear un banco de datos para la red vial en el cual se utilizan programas de computo desarrollados específicamente para el manejo de la información y para la realización de diversos análisis requeridos, los cuales son recopilados por el consultor, a cargo de la implantación inicial de este sistema en una parte de la red vial. Una vez concluido este estudio respectivo, las autoridades continúan recopilando información del resto de la red vial y se hacen a cargo de la operación permanente del SAP.

Los grupos de actividades más importantes de que consta la implantación inicial del SAP, por orden cronológico, son:

1. Recopilación de la información existente sobre mantenimiento vial en diversas dependencias.
2. Inventario de las principales características de la infraestructura vial. Como parte de los trabajos de campo, se obtiene información sobre la geometría y otros aspectos de los tramos viales, entre la que se encuentra la siguiente: longitud, anchura de la sección transversal, número de carriles y tipo de pavimento.
3. Recopilación de datos básicos sobre el estado de la infraestructura vial. En el caso del SAP, la principal información recopilada, a nivel de red vial es la siguiente: inspección visual del deterioro de superficial del pavimento, así como la inspección visual de banquetas, guarniciones, drenaje superficial, señalamiento vial, inspección de semáforos y del alumbrado público, así como también la calificación de servicio actual o irregularidad superficial.
4. Aforos vehiculares en estaciones maestras. Con el fin de obtener información básica de volúmenes de tránsito a lo largo de la red vial evaluada en los estudios, se realizan recuentos vehiculares en estaciones maestras.
5. Evaluación estructural destructiva del pavimento en tramos selectos. Se efectúan sondeos en sitios estratégicos de la red vial, para establecer la variación de la estructura del pavimento y las características de los materiales empleados.
6. Análisis diversos para la planeación, la programación y la distribución de recursos para el mantenimiento rutinario, la rehabilitación y la reconstrucción de los pavimentos existentes, así como para la construcción de pavimentos en nuevos enlaces de la red vial o en enlaces cuya sección transversal vaya a ser ampliada.
7. Implantación inicial del SAP. Con base en toda la información recopilada por el consultor, se realiza la primera etapa de la aplicación del SAP, la cual finaliza con la transferencia del mismo.
8. Propuesta definitiva de medidas complementarias de fortalecimiento institucional. Para la implantación del SAP también se proponen este tipo de medidas, encaminadas a lograr una operación más eficiente de quien este a cargo del mantenimiento vial.

## II. ESTABLECIMIENTO DE LAS UNIDADES BÁSICAS DE ANÁLISIS DEL SAP.

En el SAP, a cada una de las unidades básicas le corresponde un número único, el cual es fijado por el programa de cómputo desarrollado para el estudio, a partir de la información almacenada por el usuario, dicho número de identificación sirve de enlace entre los diferentes bancos de datos numéricos que son creados y el sistema de información geográfica.

La unidad más pequeña desde el punto de vista de recolección de datos, análisis y representación gráfica del SAP es el tramo-cuerpo. En esencia, un tramo-cuerpo es un tramo vial homogéneo, de acuerdo con los siguientes criterios:

- Por intersección de dos o más tramos viales. Este criterio de geometría de la red vial corresponde al caso en que se interrumpe la continuidad de un tramo en la intersección con otro, en tal caso, es necesario decir cuál tramo-cuerpo se prolongará a través de la intersección, definiendo conjuntamente de esta manera los límites de los demás tramos-cuerpo que concluyan en un cruce dado.
- Clasificación funcional del tramo: en primario, secundario y local. Esta clasificación es importante desde el punto de vista de los volúmenes de tránsito que se presentaran en el tramo-cuerpo, los cuales son un dato básico para la evaluación económica del SAP.
- Tipo de pavimento. Al variar el tipo de pavimento también cambian los datos recopilados y los métodos de análisis, entre otros aspectos.
- Deterioro superficial. Mediante una observación rápida, se pueden establecer los límites de los tramos-cuerpo a partir del deterioro superficial existente en el pavimento, de tal manera que se mantenga poca variación en los principales defectos visibles en un tramo-cuerpo dado.
- Estructura del pavimento. Aun cuando se mantenga el mismo tipo de pavimento, si cambia su estructura se presentará un comportamiento diferente. Es conveniente aclarar que a menudo, no se dispone de la información sobre la estructura del pavimento, por lo que normalmente se requieren sondeos para determinar las capas que forman al pavimento.
- Anchura de la sección transversal. Cuando se presenten variaciones importantes en la sección transversal se deberán considerar dos o más tramos-cuerpo, a pesar de que las demás características se mantengan uniformes. Este aspecto es muy importante en el análisis de costo del SAP, ya que normalmente se supone una anchura constante de la sección transversal en un tramo-cuerpo dado.
- Separación longitudinal. En aquellos casos en que en un tramo vial exista una franja separadora central o una clara división de los carriles de circulación, se deberán considerar dos o más tramos cuerpo, separados longitudinalmente. Esta separación también se requiere en el caso de los carriles exclusivos de autobuses, en los que el pavimento de estos carriles es sometido únicamente a cargas vehiculares elevadas, comparación con los carriles para el tránsito normal, en los que la mayor parte de los vehículos son automóviles.
- Longitud. Después de una evaluación detallada de los aspectos prácticos de la recopilación de información y de los análisis requeridos, se decidieron establecer longitudes máxima y mínima de los tramos-cuerpo 500 y 50 m, respectivamente. Sin embargo, solamente en casos especiales, se puede utilizar una longitud efectiva del tramo-cuerpo menor de 50 m.

Es importante hacer hincapié en que en un tramo vial dado pueden existir varios tramos cuerpo separados longitudinal y/o transversalmente, dependiendo de las características del pavimento.

A través del sistema de información geográfica que está integrado el programa de cómputo para análisis del SAP, se pueden obtener diversas representaciones gráficas de datos almacenados y de resultados, según lo solicite el usuario. Al respecto los tramos-cuerpo son identificados por medio de los objetos denominados "polilíneas", a los cuales se les pueden asignar diversas propiedades, tales como grosor y color, si como también la longitud de los tramos-cuerpo o parte de su eje longitudinal

en forma de curva, con lo cual se puede representar gráficamente los tramos-cuerpo a partir de la cartografía digital de una zona urbana.

En general y de acuerdo con la forma utilizadas para la recopilación de información de campo, los datos requeridos para establecer las referencias de un tramo-cuerpo son los siguientes:

- “Calle, avenida o boulevard”. Este dato corresponde al nombre de la calle principal en que se encuentra alojado longitudinalmente el tramo-cuerpo. La nomenclatura que puede ser utilizada es la almacenada previamente en el catálogo de nombres de calles del SAP. Con el fin de uniformar los nombres de las calles, de acuerdo con la nomenclatura correcta u oficial del ayuntamiento, se debe de dar de alta en el catálogo de nomenclatura cualquier nombre nuevo de calle, habiendo verificado previamente que este no exista con anterioridad o que se utilice un nombre incorrecto. El catálogo de nomenclatura de calles puede ser consultado y modificado a través del programa de computo para análisis del SAP, con lo cual se facilita su utilización.
- “Tramo inicia en”. Este dato se refiere al empleo del nombre de la calle en donde termina el tramo-cuerpo, el cual debe aparecer en el catálogo de nomenclatura de calles.
- “A o D”. Dado que normalmente se deben incorporar las intersecciones a un tramo-cuerpo, es necesario indicar si un tramo cuerpo inicia o termina antes o después de la calle perpendicular de referencia. De esta manera, la clave “A” se refiere a la ubicación “antes” y la clave “D” a después de la intersección. Dichas claves siempre van asociadas a una calle perpendicular, de inicio o terminación de un tramo-cuerpo.
- “Cuerpo”. En muchos casos existen dos o más tramos-cuerpo paralelos delimitados en sus extremos por las mismas calles perpendiculares. Con el fin de identificar claramente a estos tramos-cuerpo aproximadamente paralelos, se utilizan claves especiales como “D” o “I” para designar al cuerpo “derecho” e “izquierdo”, respectivamente, estas direcciones corresponden al sentido del recorrido. En el caso de aquellos tramos viales representados por un solo tramo-cuerpo, se utiliza la clave “U” para indicar que se trata de un cuerpo único. En el caso de existir tres o más tramos-cuerpo “paralelos”. Tal es el caso de las avenidas con cuerpos centrales y laterales. Con el fin de abarcar cualquier combinación posible los cuerpo se designan por la clave “DLi” o “LI”, la cual corresponde a derecha, lateral Núm. i o la izquierda, lateral núm. i, la “i” representa el número consecutivo y ascendente, del centro hacia afuera, empezando por el número 1 terminando en el número que se requiera.

Además de las referencias de cada tramo-cuerpo, la información mínima requerida para todos los tramos-cuerpo es la siguiente:

- Tipo de pavimento.
- Longitud.
- Anchura de la sección transversal.
- Número de carriles.

### III. INSPECCIÓN VISUAL DEL DETERIORO SUPERFICIAL DE LOS PAVIMENTOS.

Desde el punto de vista del SAP, esta inspección proporciona datos sobre el estado del pavimento. Una de las mayores ventajas de dicha actividad es que no se requiere de equipo especial para establecer el deterioro del pavimento, sino que la inspección se hace de acuerdo con un inventario de los defectos existentes en el pavimento, de su severidad y del área afectada. Posteriormente los

datos del inventario se convierten a un índice, mediante el cual se expresa de manera general el estado del pavimento, así como las estrategias más eficaces de mantenimiento rutinario, rehabilitación o reconstrucción, las cuales corresponden a los defectos observados.

El grado de deterioro de un pavimento es función del tipo de defecto observado, de su severidad y de su densidad (o área afectada de pavimento). Con el fin de obtener información confiable, objetiva y reproducible sobre el deterioro superficial de los pavimentos se desarrolló el índice de la condición del pavimento, o ICP (pavement condition Index, o PCI por sus siglas en inglés). El ICP es un índice numérico que varía de 0, para un "pavimento" completamente destruido, hasta 100, para un pavimento en estado perfecto, este índice corresponde a la clasificación de la condición del pavimento desde el punto de vista de los defectos superficiales observados, este puede ser aplicado en pavimentos asfálticos y de concreto hidráulico, la ventaja sobre otras formas de presentación radica en su fácil interpretación de los resultados en forma gráfica con el sistema de información geográfica integrado al sistema de computo para el análisis, lo cual no se logra con otros métodos puesto que no emplean índices.

Con el fin de simplificar el cálculo del ICP, se decidió generar las subrutinas requeridas para el análisis correspondiente en el sistema de computo, para facilitar los cálculos requeridos y aumentar su rapidez.

Una vez almacenados los datos del deterioro del pavimento de un tramo-cuerpo, el programa de computo calcula el valor del ICP, este valor queda registrado en el banco de datos, para cualquier consulta o análisis posterior. De esta manera el usuario es liberado de los cálculos tediosos que requiera para determinar manualmente el ICP.

#### IV. CALIFICACIÓN DE SERVICIO DE LOS PAVIMENTOS.

Para determinar dicho parámetro a partir de datos de la calificación de servicio actual, sin la utilización de equipo especial y de manera sencilla, se utiliza el SAP basado en la definición original de Camino de Prueba AASHO, en el cual se desarrolló la idea de que se pueden emplear calificaciones para representar el servicio que proporciona un tramo de pavimento, permitiendo un manejo suave, cómodo y seguro de los vehículos.

Para fines del SAP se decide utilizar la calificación de servicio actual (CSA). La cual se registra al circular en un automóvil por los tramos-cuerpo seleccionados.

En general, la calificación de servicio se refiere a la opinión de los conductores sobre el confort que se logra al circular en un vehículo por un pavimento dado. Este parámetro de evaluación varía de 0 a 5, correspondiendo el valor de 0 a un pavimento intransitable y el valor máximo teórico de 5 a un pavimento cuya superficie de rodamiento se encuentra en perfectas condiciones como ya antes se había visto en capítulos anteriores.

Conviene indicar que cuando la calificación de servicio es estimada a partir de mediciones mecánicas o electrónicas se utiliza el término "índice de servicio", así como las ecuaciones básicas del método de proyecto de la AASTHO.

En ciertos análisis del SAP, se requiere convertir la calificación de servicio actual al Índice Internacional de Irregularidad Superficial (IIS), el cual es el parámetro nominalmente utilizado en las actividades de evaluación económica y determinación de costos de operación de los vehículos.

Para tal efecto, se emplearon ecuaciones disponibles, las cuales fueron incorporadas al programa de computo para el análisis del SAP a mediano y largo plazo de diversas estrategias de rehabilitación y reconstrucción.

Por definición, la calificación de servicio actual de un tramo-cuerpo de pavimento es igual a la medida aritmética de las calificaciones individuales de los evaluadores. Esta operación la realiza

automáticamente el programa de cómputo para análisis del SAP, una vez que se han almacenado los datos correspondientes.

## V. DATOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO.

En los análisis del SAP, es importante disponer de datos básicos de ingeniería de tránsito de cada uno de los tramos-cuerpo para poder evaluar las posibles estrategias que se propongan de mantenimiento, rehabilitación y/o reconstrucción.

Para cada tramo-cuerpo que sea dado de alta en el SAP son necesarios los datos siguientes de ingeniería de tránsito:

- Clasificación funcional del tramo. Para efectos del SAP, se clasifica en tres categorías funcionales para las redes viales de las ciudades medias. Es decir, si el tramo-cuerpo es parte de la vialidad primaria, secundaria o local.
- Sentido de circulación. Al recopilar información sobre el estado del pavimento, se utiliza cierto sentido del recorrido, el cual puede ser diferente del sentido de circulación, por tal motivo, se requiere proporcionar este dato para identificar adecuadamente el resto de la información.
- Fecha de aforo vehicular, la cual corresponde al día que fue recopilada la información sobre el tránsito vehicular.
- Volumen de tránsito total diario. Este corresponde al número total de vehículos del sentido de circulación indicado. En caso de que el período de observación de los aforos vehiculares haya sido menor de 24 hrs., lo cual sucede normalmente, se deberá utilizar algún factor de expansión para convertir los volúmenes de tránsito a totales diarios. Este volumen es equivalente al tránsito diario promedio anual (TPDA) solamente para los tramos-cuerpo de doble sentido de circulación.
- Composición del tránsito por tipo de vehículo. Este parámetro se refiere a la distribución del tránsito hasta seis tipos de vehículos los cuales se mencionaron en el capítulo II de acuerdo al número de ejes.

Los datos de ingeniería de tránsito son indispensables en el SAP en los análisis requeridos para la evaluación económica de las acciones propuestas para el pavimento.

## VI. DATOS ADICIONALES DEL INVENTARIO DEL PAVIMENTO Y DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL COMPLEMENTARIA.

El SAP contempla datos adicionales del inventario del pavimento y de la infraestructura vial complementaria para la realización de cualquier proyecto de construcción, mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción vial, tomando en cuenta lo siguiente:

- 1) **Inspección visual del señalamiento vial.** Esta se clasifica por intersecciones o subtramos viales. Normalmente se presenta una mayor concentración de dispositivos para el control del tránsito en las intersecciones que en los subtramos viales, por lo que es conveniente registrar por separado la información de estos dos elementos de la vialidad urbana.

En cada tramo-cuerpo se deberá anotar la siguiente información:

\* Número total de intersecciones, las cuales deben de ser agrupadas en dos categorías:

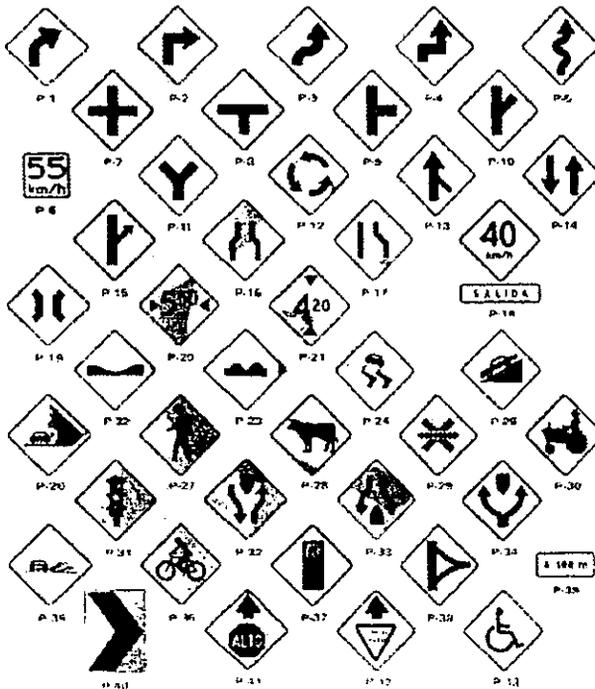
- De 4 o más ramas.
- De menos de 4 ramas.

\* Inspección visual del señalamiento vertical. Tanto para las intersecciones como para los subtramos viales del tramo-cuerpo en turno, se deberá registrar el número y el estado de las señales verticales. La inspección se deberá hacer identificando los tipos existentes de señal, los cuales deberán corresponder a las tres categorías que se indican a continuación:

➤ **Preventivas.** Tienen como finalidad la de advertir al usuario de la existencia de una condición peligrosa existente o potencial en el camino o calle y su naturaleza.

El señalamiento es cuadrado con esquinas redondeadas y se colocara con una diagonal en sentido vertical, el color del fondo será amarillo reflejante, así como también los símbolos y filete será negro.

Figura 6.0 Señalamiento Preventivo



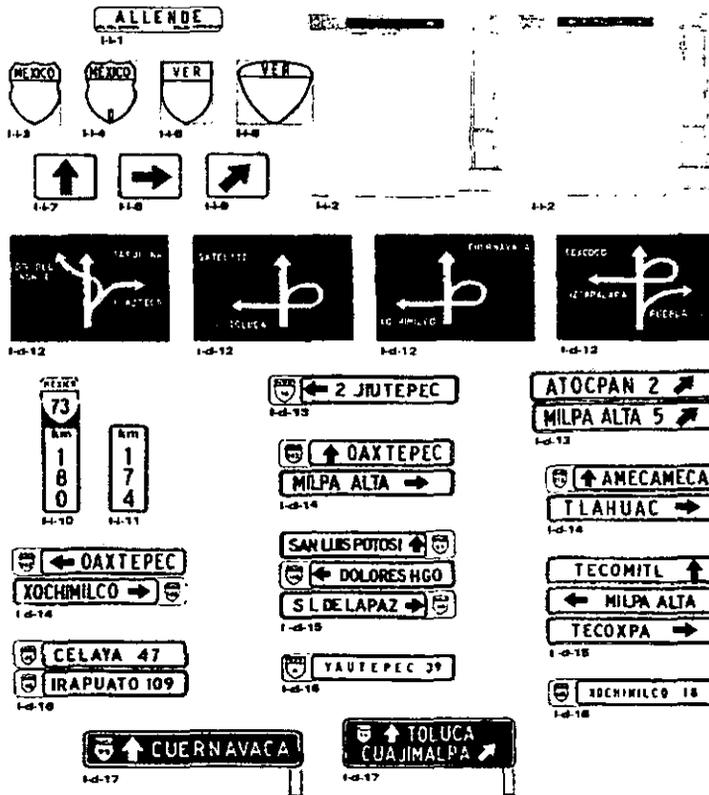


➤ **Informativas.** Tienen como objetivo el guiar al usuario a lo largo de su itinerario por calles y carreteras e informales sobre nombres y ubicación de poblaciones, servicios, lugares de interés y ciertas indicaciones que conviene observar.

Estas se clasifican en cinco grupos:

1. De Identificación: Se usan para identificar la calles según su ruta o kilometraje.
2. De Destino: Sirven para informar a los usuarios sobre el nombre e ubicación de cada uno de los destinos que se presentan a lo largo de su recorrido, podrán ser señales bajas, diagramáticas y elevadas.

Figura 6.2 Señalamiento Informativo de Identificación y Destino



3. De Recomendación: Se utilizan con fines educativos para recordar a los usuarios determinadas disposiciones o recomendaciones que conviene observar durante su recorrido por calles y carreteras.
4. De Información General: Proporcionan a los usuarios información de carácter poblacional y geográfico, a su vez son utilizadas para indicar obras importantes en caminos, carreteras de cobro, sentido de circulación de tránsito, puntos de inspección.

Figura 6.3 Señalamiento Recomendativo y de Información General



5. De Servicios y Turísticas: Utilizadas para informar al los usuarios de la existencia de un servicio o de un lugar de interés turístico y/o recreativo en algunos casos, estas señales podrán utilizarse combinadas con una informativa de destino en un mismo tablero.

Figura 6.4 Señalamiento de Servicios y Turísticas



En el caso de las señales de identificación color del fondo de estas es Blanco reflejante, letras, números, flechas y filetes en negro, Verde: servirá para el fondo de las de destino con filetes blancos para letras y números, Anaranjado como fondo y con Blanco de letras, números y filetes: para las de información general. Azul como fondo con letras, números y filetes en blanco: en el caso de las de servicios y turísticos.

\* Inspección visual del señalamiento horizontal. Estas señales consisten básicamente en marcas, símbolos y letras, que se pintan sobre el pavimento, guarniciones a estructuras dentro de o fuera de la vía de circulación, hacia como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodamiento con el fin de regular o canalizar el tránsito e indicar la presencia de obstáculos.

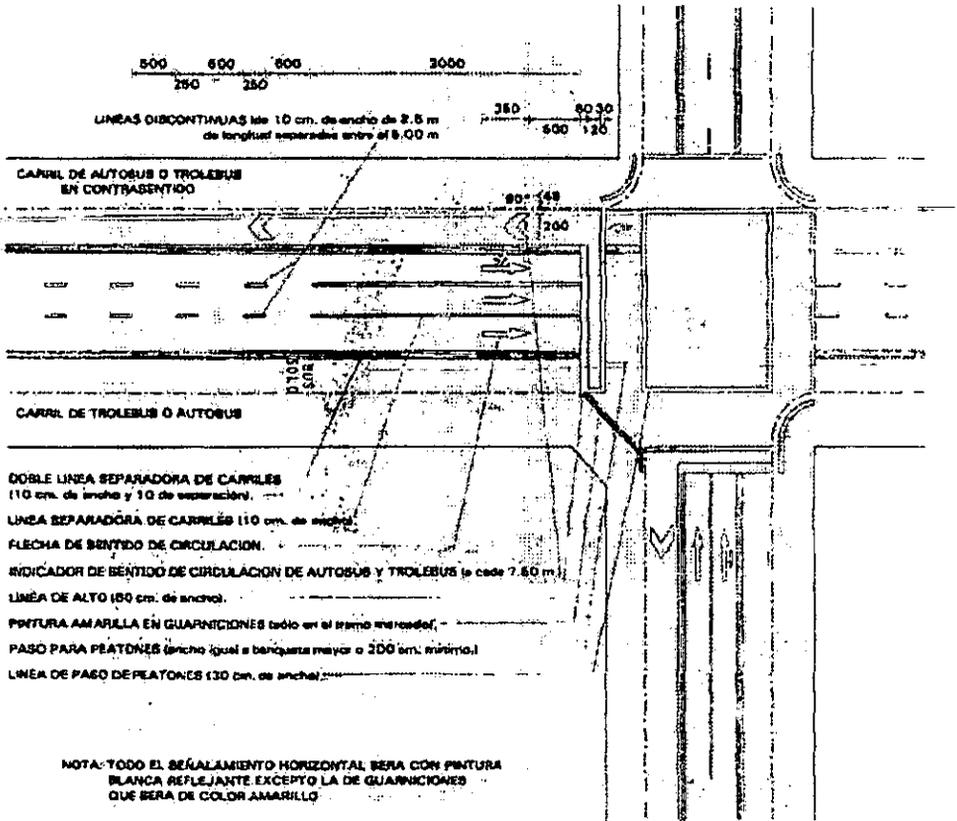


Figura 6.5 Señalamiento Horizontal (Marcas en una intersección)

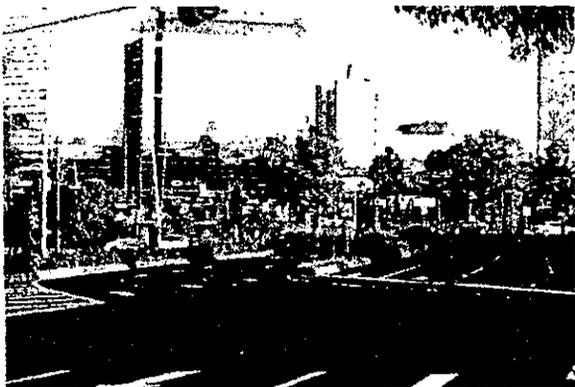
En el caso de las intersecciones, se deberá registrar el porcentaje de las mismas en que se dispone de este tipo de señalamiento y su estado. Esta información se deberá anotar en la columna adecuada, según se trate de los tipos siguientes de señal:

- Cruce de peatones.
- Línea de alto.
- Flechas.

En lo que concierne a los subtramos viales, también se anota el porcentaje con señalamiento horizontal y su estado. Al respecto, se consideraron los tipos de señal que se indican a continuación:

➤ **Rayas de carriles.**

1. Raya central separadora de sentidos de circulación.
2. Raya adicional a la central continua para prohibir el rebase.
3. Raya central doble continua.
4. Raya separadora de carriles.
5. Raya en las orillas de la calzada para delimitar la superficie de rodamiento.
6. Raya canalizadora.
7. Raya de parada.
8. Raya para cruce de peatones
9. Raya, símbolos y letras para cruce de ferrocarriles.
10. Rayas, símbolos y letras para regular el uso de los carriles.
11. Leyendas y símbolos para regular el uso de los carriles.
12. Rayas con espaciamiento logarítmico.
13. Raya doble para delimitar el carril del contraflujo.



Señalamiento horizontal del pavimento

➤ **Marcas en guarniciones.**

14. Marcas en guarniciones para prohibición de estacionamiento.

➤ **Marcas en obstáculos.**

- a) Para indicar guarniciones.
- b) Para indicar parapetos.
- c) Para indicar aleros.
- d) Para indicar pilas y estribos.
- e) Para indicar postes.
- f) Para indicar cabezales.
- g) Para indicar defensas.
- h) Para indicar muros de contención.
- i) Para indicar árboles.

➤ **Flechas.**

Los colores que se utilizaran para las marcas de pavimento son

### A) Marcas de color amarillo.

- a) Las isletas.
- b) Delimitación de la orilla izquierda en un camino con calzadas separadas.
- c) Separación de doble raya de vías de doble sentido de circulación.
- d) Guarniciones en los lugares de estacionamiento prohibido.
- e) Helipuertos.
- f) Adicional a la central para prohibir el rebase en zonas suburbanas.

### B) Marcas de color blanco.

- a) Delimitación de carriles de una calzada.
- b) Establecer la zona de no rebase en una zona urbana.
- c) Lugares de estacionamiento.
- d) Flechas.
- e) Letreros.
- f) Precisar los lugares en donde los vehículos deben hacer ALTO.
- g) Raya doble para delimitar el carril de contra sentido.
- h) Los pasos peatonales.

### C) Negro.

El uso de este color será permitido en combinación con el color amarillo y el blanco, cuando el propio pavimento no proporcione por si mismo el suficiente contraste. El uso del negro no se establece como una norma para marcas en pavimentos, sirviendo solamente como guía para lograr un contraste en pavimento de color claro.

### D) Pavimento de color.

Cuando se utilicen para regular y controlar el tránsito, los pavimentos de color contrastante se consideran dispositivos de control y guía respetado. Al presentarse estas situaciones los pavimentos de color contrastante complementarán los demás dispositivos. Se deberán utilizar solamente cuando su contraste sea significativo con las áreas pavimentadas anexas.

## 2) Inspección visual de los semáforos.

Estos dispositivos son los que controlan el tránsito por medio de luces de color verde, amarillo y rojo, fijando principalmente el derecho de paso de vehículos en calles, avenidas y caminos.

La función de los semáforos en los cruceros es:

1. Interrumpir periódicamente el tránsito intenso en una vía, para permitir el paso de vehículos y peatones en otra.
2. Regular el tránsito en una ruta determinada y, en ciertos casos, aumentar la capacidad de los carriles de circulación.

- . Disminuir la frecuencia de cierto tipo de accidentes especialmente en ángulo recto.
- . Mantener la circulación continua o casi continua a una velocidad determinada, en una ruta específica. Además la mayoría de los casos, los semáforos representan una economía considerable respecto de indicaciones manuales. Sin embargo, no son la solución de todos los problemas de tránsito.

### Visibilidad y ubicación de los semáforos.

Como mínimo habrá dos semáforos para cada acceso, uno primario y un secundario, que en ocasiones se complementaran con semáforos peatonales ubicados en cada extremo de los pasos peatonales.

El doble semáforo permite ver la indicación, aunque uno de los semáforos sea tapado momentáneamente por camiones y autobuses, este representa un factor de seguridad en casos de luz excesiva de anuncios luminosos, de resplandor del solo cuando se funda alguna lámpara.



Visibilidad y ubicación de los semáforos

La necesidad de instalar mas de dos semáforos, dependerá de las condiciones locales especiales, tales como números de carriles, las indicaciones direccionales si las hay, la geometría del rucero, etc.

La consideración mas importante para la colocación de las caras del semáforo, deberá ser la visibilidad y la geometría de cada intersección, incluyendo las curvas verticales y las curvas horizontales. Los conductores que se aproximen a una intersección o a zonas provistas de semáforos, como en el caso de cruce para peatones a mitad de una cuadra, deben disponer de una indicación clara inequívoca de la asignación del derecho de paso que les corresponda.

Los semáforos deben ser visibles continuamente, por lo menos desde un punto de vista situado en las distancias que se indican a continuación, antes de y con respecto a la línea de ALTO, a menos que exista una obstrucción física de su visibilidad.

TABLA 6.0

85% de la velocidad (km/hr)	Distancia de visibilidad mínima (m)
30	30
40	55
50	75
55	100
65	120
70	145
80	170
90	190
95	215

TABLA 6.1

La altura libre para semáforos en postes es de:	para semáforos colgantes en ménsula de látigo de U.S.M.
Altura mínima: 2.40 m	Altura mínima: 4.50 m
Altura máxima: 4.50 m	Altura máxima: 5.70 m

La altura se mide desde el eje del camino. Las condiciones determinantes para fijar la altura: máxima visibilidad y altura libre adecuada, aunque también las caras de los semáforos deberán cubrirse con viseras, aletas o persianas verticales, a fin de que el conductor que se aproxima solo vea la indicación que le corresponde.

Los soportes para semáforos son:

a) Ubicados a un lado del camino.

1. Postes.
2. Mensulas cortas

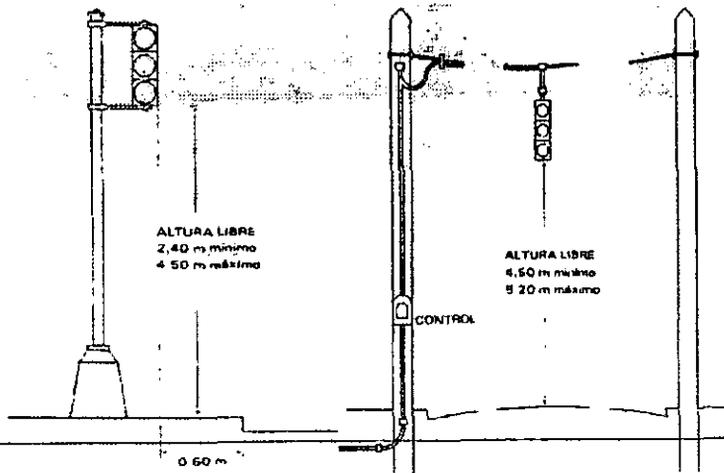


Figura 6.6 Semáforos montados en poste con ménsula corta y Semáforo colgante

## b) Suspendedos sobre el camino.

1. Ménsulas largas en postes laterales.
2. Suspensión de cables.
3. Postes o pedestales en isletas.

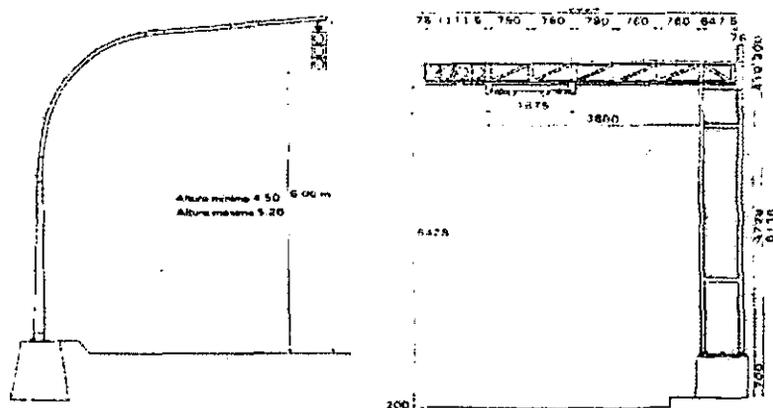


Figura 6.7 Semáforos suspendido en ménsula larga (Látigo) e instalado en USM

Con el fin de identificar la posición de cada grupo de semáforos inspeccionados, éstos quedan referidos con respecto a uno de los accesos de la intersección y el cuerpo respectivo de la calzada. Se realiza la identificación con los postes, ya que en estos se montan los demás componentes de la infraestructura de los semáforos y sus componentes (caras de semáforos y controlador), donde los tramos-cuerpo quedan asociados a estos. En seguida, se deberán identificar los accesos que confluyen a la intersección.

En cada poste de la infraestructura de semáforos se deberán registrar los datos que se indican a continuación en el cual pueden existir una o más caras:

- Número de poste y cara del semáforo. Se deberá utilizar una numeración consecutiva para cada intersección y cara del semáforo, iniciando con el número (1), para cada poste dado.
- Ubicación del poste. Éste definirá los datos siguientes:
  - Acceso Núm. De acuerdo con la descripción y numeración proporcionada en otra parte de la forma. Este dato corresponderá al acceso al que están dirigidas las indicaciones la cara de semáforo en turno, independientemente de su posición.
  - Cuerpo al que quedará referido el poste y tipo de montaje de la cara, de acuerdo con la definición de cuerpo utilizada en el SAP.
  - Izquierda o derecha, según el acceso de referencia, así como la posición de la cara del semáforo: horizontal o vertical.
  - Antes o después de donde termina el acceso. El acceso normalmente termina en la línea de primera guarnición de la calle perpendicular que cruza en la intersección.

- Tipo de poste, de acuerdo con las opciones indicadas en la forma.
- Estado del poste, en función de los tres casos estipulados en la forma.
- Para una cara del semáforo dada, se deberán registrar los datos más importantes de sus lentes o indicaciones, los cuales se clasifican por el color de su luz, las maniobras indicadas o permitidas y su condición

### 3) Inspección visual del alumbrado público.

Este tiene como función primordial el permitir tener una mejor visibilidad a partir de cierta hora del día para brindar mayor seguridad tanto a los conductores como los peatones que circulan por la vialidad. El Proyecto de alumbrado público atraviesa por varias etapas ya que una vez que es elaborado por la empresa proyectista es necesario que la dependencia correspondiente de su aprobación, esta dependencia es la Dirección General de Servicios Urbanos (D.G.S.U.), la cual revisa el proyecto y en caso de que este de acuerdo con las especificaciones que ellos piden se da su aprobación y se puede implementar el mismo.

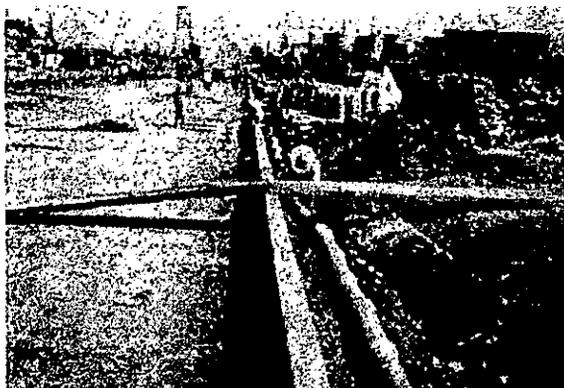
El proceso de construcción del alumbrado público es el siguiente:

Una vez definida el área de banquetas y camellones se ubica de acuerdo a los planos de proyecto el lugar donde quedaran alojados los cimientos para postes de alumbrado, que tienen forma trapezoidal de 1 m de base mayor, 0.60 m de base menor y una altura de 1 m.



Base para arbotante de alumbrado público

Una vez colocadas y niveladas se realizara el tendido de la tubería de concreto simple que sirve para colocar el cable entre poste y poste además de aislarlo de la intemperie.



Tendido de ducto para alumbrado público

Es importante que la tubería quede guiada con alambre para posteriormente facilitar la introducción del cable. Así mismo la tubería tiene que juntarse con mortero en lo que son las conexiones entre tubo y tubo así como la conexión entre tubo y base.

El recubrimiento asfáltico adherido al tubo de concreto en su interior tiene dos funciones específicas, la primera de ellas es evitar la penetración de la humedad y la segunda es evitar la fricción entre el cable y el tubo para no deteriorar el aislante conductor.

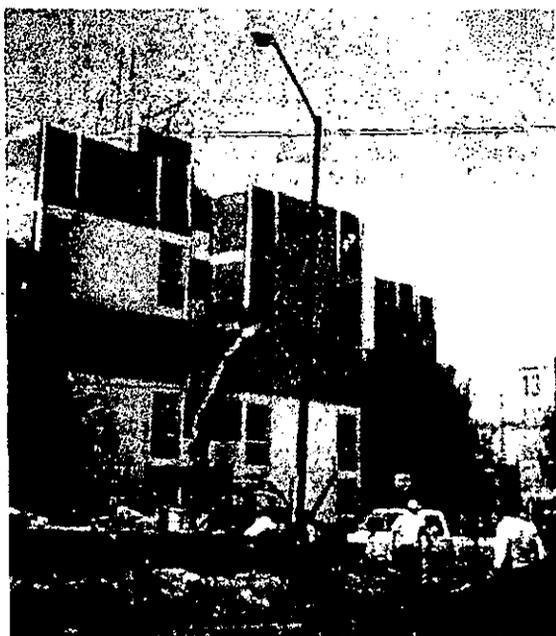
Junto con los trabajos anteriores se van colocando los registros que servirán para dar mantenimiento a los circuitos de alumbrado, estos registros tienen una dimensión de  $0.60 \times 0.80 \times 1.24$  m de profundidad, en algunas partes es necesario hacer cruces de ductos sobre los arroyos para la conexión de la acometida de los circuitos, las conexiones se hacen a una profundidad de un metro del nivel de rasante a el lomo del tubo, para evitar que haya rupturas del mismo posteriormente, con las cargas vivas que soporta la vialidad, y se realizan con tubos de P.V.C. de alta resistencia, generalmente en arreglos de  $4 \times 4$ , con cama de arena y acostillamiento con concreto, con estos trabajos se concluye la obra civil del alumbrado, junto con los cruces de tubería se ponen registros de concreto auxiliares que son especiales para este tipo de instalaciones.



Instalación de postes de alumbrado público

Una vez concluida la obra civil se procede a la instalación de postes de alumbrado de acero rolado en frío, con una altura de 9.0m que es la especificada para vialidades laterales de acceso controlado.

Al mismo tiempo que se colocaron los postes, se viene instalando el cable, se debe de tener cuidado en que el calibre especificado en el proyecto sea el que se esta colocando. Una vez instalado el poste se procede a colocar el brazo con una longitud de 2.40 m junto con la luminaria, la cual queda a una altura de 9.40 m debido al ángulo que forma el brazo con respecto a la vertical del poste.



Colocación de arbotantes para alumbrado con grúa telescópica (HIAB).

La lámpara debe de cumplir con las especificaciones de alumbrado público la cual puede tener una potencia de 250 watts de vapor de sodio de alta presión, materiales como son la carcasa, portacubiertas y culata, además de cumplir con las curvas isolux para el porcentaje de iluminación en lúmenes.

La inspección del alumbrado publico es una actividad que se efectúa en tramos-cuerpo completos y se concentra en las luminarias existentes a lo largo de la vialidad. En cada tramo-cuerpo se registran los siguientes datos:

- Número total de luminarias, clasificadas por tipo y ubicación. De manera práctica, se consideran dos tipos de luminaria: sencilla y doble. La ubicación es con respecto al sentido en que fue dado de alta el tramo-cuerpo en turno y se consideran solamente dos casos: lado izquierdo y lado derecho.
- Recuento de las luminarias por estado de ubicación. Existen tres opciones de estado de las luminarias. La ubicación se establece de la misma manera que la descrita en el párrafo anterior.

#### 4) Datos de la infraestructura vial complementaria.

Para cada tramo-cuerpo que sea dado de alta en el SAP se recomienda obtener la siguiente información de carácter histórico que puede ser almacenada en el banco de datos:

- Datos de las banquetas. Para esta parte de la infraestructura vial se requiere la siguiente información tanto para banquetas izquierda y derecha:
  - Porcentaje construido.
  - Tipo (concreto hidráulico, adoquín o recintocreto).
  - Anchura.
- Datos de las guarniciones. En cuanto a la guarniciones, se debe proporcionar lo siguiente:
  - Porcentaje construido.
  - Tipo (colada en el sitio y prefabricada).
- Datos del pavimento. Esta información es histórica y normalmente debe provenir de los archivos del ayuntamiento. En primer lugar, se debe indicar a qué tipo de medida corresponden los datos (construcción original, sobrecarpeta y reconstrucción) y la fecha en que la medida fue implantada. Para cada tipo de medida se requieren los datos siguientes para cada una de las capas que conforman el pavimento:
  - Espesor.
  - Tipo de capa del pavimento (base, subbase, carpeta asfáltica, etc.).
  - Tipo de material del pavimento (Concreto asfáltico, concreto hidráulico).

### VII. DATOS DE LOS SONDEOS Y PRINCIPALES RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO Y EN EL LUGAR.

Los sondeos en el pavimento forman parte de las actividades conocidas como evaluación estructural destructiva de los pavimentos lo cual ya fue visto en el capítulo IV de esta tesis. Normalmente los sondeos se utilizan en el nivel del tramo vial de un SAP, en el cual son necesarios para el proyecto definitivo de las medidas propuestas (construcción, rehabilitación y reconstrucción, principalmente). Sin embargo, a pesar de que la implantación inicial del SAP corresponde básicamente al nivel de la red vial, normalmente se efectúan una serie de sondeos a lo largo de la red vial de las ciudades en que se aplica este sistema.

### VIII. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL NO DESTRUCTIVAS DE PAVIMENTOS EN SERVICIO.

Esta actividad es una de las más importantes para el análisis objetivo del comportamiento de los pavimentos en servicio y para el proyecto racional de medidas de rehabilitación y reconstrucción. Por lo tanto, la evaluación estructural no destructiva (EEND) es una actividad que corresponde comúnmente al nivel de tramo de un SAP.

Es necesario que se verifique que el tramo-cuerpo en que se efectúe las mediciones EEND haya sido dado de alta previamente en el banco de datos del SAP, antes de proceder a almacenar la información recopilada:

- Datos de identificación de la mediciones. Éstos corresponden a los aspectos indicados a continuación:
  - Tipo de pavimento.
  - Sentido de recorrido.
  - Distancia a partir del inicio del tramo.
  - Carril
  - Rodada.
  - Ubicación de la carga. Este dato corresponde exclusivamente para pavimentos de concreto hidráulico.
- Carga de eje trasero del vehículo de prueba. Esta carga normalmente varía de una medición a la otra el valor estándar de la misma es de 8.2 ton., de acuerdo con las especificaciones pertinentes de la AASHTO para la realización de la prueba.
- Desplazamiento vertical máximo, medido bajo la aplicación de la carga especificada.
- Temperatura del pavimento.
- Hora de la medición.

## IX. EVALUACIÓN INTEGRAL DEL ESQUEMA ACTUAL DE MANTENIMIENTO VIAL.

A partir de la información proveniente del estudio integral de vialidad y transporte urbano de la ciudad, de los archivos y de los diversos trabajos de campo que realice el consultor, así como de entrevistas con funcionarios del ayuntamiento, se establece un diagnóstico del esquema utilizado para el mantenimiento vial. Así mismo, se hace una revisión de los marcos jurídicos e institucionales vigentes.

Con base en la inspección visual de los pavimentos y otras actividades, se prepara un resumen sobre el estado general de esta infraestructura vial. Así mismo, se identifican las posibles causas del deterioro observado y se proporciona un dictamen sobre las actividades de mantenimiento rutinario, rehabilitación y reconstrucción de los pavimentos efectuadas por el ayuntamiento.

## X. ANÁLISIS DE PLANEACIÓN A NIVEL DE RED VIAL DEL SAP.

Como parte de los análisis básicos del SAP se seleccionan los tramos-cuerpo cuyo pavimento recibirá alguna acción de mantenimiento correctivo, rehabilitación o reconstrucción. Para referirse a estas acciones, se utilizan las siglas "MRR" (cuyo equivalente en inglés es "M,R&R"). Los análisis en cuestión se efectuarán a nivel de red vial y corresponden a actividades propias de la planeación y programación del presupuesto. Por medio de una evaluación económica, se selecciona la estrategia óptima para cada uno de los tramos-cuerpo de la red vial. Posteriormente, se asignan prioridades para la ejecución de las acciones propuestas, en función del estado del pavimento y de la importancia de los tramos-cuerpo. Para efectos de la distribución de recursos, se considera la restricción del presupuesto disponible. Con el fin de identificar claramente las actividades correspondientes al rubro, se decidió utilizar específicamente el término "análisis de planeación a nivel de red vial del SAP", es importante

recaltar que estos análisis son muy diferentes de los correspondientes a la generación de resultados a partir de la información recopilada en campo, sobre parámetros como la calificación de servicio actual y el índice de la condición del pavimento, entre otros.

En esencia, los análisis de planeación a nivel de red vial del SAP, pueden ser clasificados en los grupos siguientes:

- Lineamientos para seleccionar las mediadas de MRR que pueden ser aplicadas para el pavimento de un tramo-cuerpo dado, con base en la información recopilada en campo del deterioro superficial, de la calificación de servicio y, en algunos casos, de la evaluación estructural no destructiva.
- Evaluación económica de las acciones propuestas, la cual incluye el cálculo de la inversión requerida, del costo del usuario y de los beneficios generados.
- Asignación de prioridades entre los tramos-cuerpo seleccionados como cantidades para la aplicación de una acción dada, en función de los resultados de la evaluación económica y de su importancia.
- Selección de acciones para los programas anuales y multianuales, en función de diferentes niveles del presupuesto disponible.

Todos los cálculos requeridos pueden ser efectuados a través del programa de cómputo para análisis del SAP, los cuales se realizarán básicamente de acuerdo con la metodología del programa de cómputo. Al respecto, se integraron las rutinas correspondientes en el programa de cómputo para el análisis del SAP.

En la evaluación económica de este tipo de estrategia se incluye la inversión por parte de la dependencia a cargo de las actividades citadas y los costos del usuario, los cuales corresponden a los costos de operación vehicular.

## XI. PROGRAMAS DE CÓMPUTO PARA EL ANÁLISIS DEL SAP.

Toda la información generada en la implantación del SAP puede ser almacenada y ordenada en bancos de datos. La manipulación de datos y la generación de resultados se puede realizar a través de un programa de cómputo desarrollado a base de las necesidades específicas de este sistema.

Al programa de cómputo en cuestión se le asigna el nombre dependiendo de la dependencia la cual lo creó. El programa consta de un conjunto de rutinas ejecutables, mediante las cuales se manejan bancos de datos, se procesa la información almacenada y se genera una serie de listados. El programa funciona dentro de un entorno amigable que permite su utilización en forma sencilla, por parte de una persona con solamente conocimientos básicos de computación. Al respecto estas herramientas se ejecutan dentro del ambiente Windows, el cual es ampliamente conocido por su orientación hacia el usuario.

Dentro de los programas utilizados en la recopilación de información para el SAP se han utilizado programas de cómputo adicionales de los cuales podemos mencionar algunos de los cuales se obtienen los datos para la composición del SAP:

- Sistema de Posicionamiento Global y Sistema de Información Geográfica (SPG y SIG).
- Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP).
- SAP SEDESOL.

- Sistema de Puentes de México (SIPUMEX).
- Sistema de Simulación de Estrategias de Mantenimiento Vial (SISTER).

Estos son algunos de los sistemas utilizados en caso de requerirse alguna información adicional para el SAP, los cuales presentan un esquema simplificado de los componentes básicos para la conformación de un programa completo, el cual estará compuesto de todas las rutinas que se requieren para el almacenamiento de datos y la obtención de resultados estipulados para el SAP. Así mismo el programa tendrá la capacidad de desplegar toda la información almacenada y los resultados más importantes, ya sea mediante la utilización de una impresora o bien en la pantalla de la computadora.

## XII. MEDIDAS DE FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL.

Las acciones que se plantean están dirigidas a garantizar la continuidad del SAP, siendo resultado de los estudios realizados se proponen las siguientes medidas de fortalecimiento:

1. Estrategias para la operación del organismo a cargo del mantenimiento vial.
2. Contratación de personal adicional, para lo cual se proponen medidas para la capacitación del mismo, así como el establecimiento de perfiles recomendados que participara en la implantación de las siguientes etapas de la implantación del SAP las cuales estarán a cargo de la dependencia que reciba este sistema.
3. Adquisición de equipo adicional como es el equipo de construcción para realizar eficazmente las actividades de mantenimiento rutinario, rehabilitación y reconstrucción de los pavimentos existentes, así como para la construcción de nuevos pavimentos.

En general, se hacen recomendaciones sobre las actividades que pueden ser efectuadas más eficientemente tanto para el mantenimiento rutinario como para la rehabilitación, reconstrucción, construcción y evaluación de los pavimentos en servicio.

## XIII. PRINCIPALES PRODUCTOS DE LA IMPLANTACIÓN INICIAL DEL SAP.

Como parte de implantación inicial del SAP, al final de los estudios, se hace entrega a los que revisaran la información una serie de documentos, así como de equipo y programas de cómputo. De esta manera, se trata de garantizar la continuidad del SAP, una vez realizada la transferencia de este sistema a las autoridades correspondientes.

Los documentos, equipo y programas de cómputo entregados a las autoridades normalmente son los siguientes:

- Un ejemplar de la versión definitiva del informe final del estudio.
- Un ejemplar de los manuales de procedimientos del SAP.
- Una copia del programa de cómputo para el análisis del SAP.
- Una copia registrada de los programas comerciales utilizados como el "AUTOCAD, SIG", etc., incluyendo toda su documentación.
- Una copia del banco de datos completo del SAP con la red vial de evaluación.
- Una copia del manual del usuario y del manual del administrador del programa de cómputo para análisis del SAP.
- Equipo de cómputo, consistente en una computadora personal y una impresora láser.

Durante la implantación del SAP normalmente participa personal de la dependencia encargada de la supervisión, con lo que se proporciona la capacitación práctica más importante requerida para garantizar la transferencia de este sistema a las autoridades correspondientes. En la etapa final de los estudios, se dicta un curso en el que se cubren los principales aspectos de la utilización del programa de cómputo para análisis del SAP.

## C O N C L U S I O N E S .

El estado actual y futuro de la tecnología de pavimentos se enfrenta a grandes retos debido a que se están presentando nuevas condiciones y necesidades, derivadas de las características impuestas por los escenarios sociales, económicos y tecnológicos en que se desarrolla la vida moderna.

Es de gran importancia que el ingeniero dedicado al área de las estructuras de pavimentos tome en cuenta los antecedentes y aspectos generales que originaron a los pavimentos, para poder aplicar todos los elementos a requerir dentro de la planeación de un proyecto, donde se debe de tomar en cuenta el entorno en el que se va a desarrollar. Es necesario la realización de estudios detallados de las condiciones que prevalecen en el sitio, así como considerar el impacto social que traerá como consecuencia la implementación del mismo.

Dentro de la etapa de proyecto se deben de considerar los efectos del tránsito, el clima, drenaje y subdrenaje, los materiales a emplear, estos elementos están ligados entre sí, debido a que los efectos del tránsito originan importantes incrementos en el número y en el peso de los vehículos de mayor carga, así como en los avances de la industria automotriz. Esto ha generado la necesidad de la introducción de nuevos materiales, más resistentes y durables, los cuales deberán quedar sujetos a mejores controles y estándares de calidad, requiriéndose de la aplicación de los conceptos de calidad total y aseguramiento de la calidad. Un aspecto que preocupa actualmente es el consumo de energía para la producción de los materiales y de su puesta en obra, efectuándose análisis económicos tanto de su costo, como de la energía gastada para obtenerlos. De igual manera se investigan las condiciones de comportamiento de los materiales a largo plazo, lo que da lugar a la elaboración de especificaciones que toman en cuenta esta propiedad. Ante la carencia de buenos materiales, se investiga también sobre la utilización de materiales fuera de especificaciones, materiales alternativos y técnicas para la formación de nuevas estructuras o tipos de pavimentos. Entre estos materiales pueden considerarse a los modificadores asfálticos, geotextiles, agentes estabilizadores, etc., y en las nuevas tecnologías los conceptos reológicos de los materiales, módulos elásticos, etc., lo que además necesita de mejores modelos matemáticos para poder considerar la presencia de tales materiales en el diseño de los

## CONCLUSIONES

---

pavimentos. Este aspecto se encuentra muy ligado al problema del refuerzo de los pavimentos antiguos, ante el incremento de cargas y sus repeticiones, debiendo desarrollar técnicas de diseño del refuerzo necesario para adicionales ciclos de vida.

Con respecto a la interacción del pavimento con el usuario, debe mencionarse que éste se vuelve más exigente, deseando umbrales de aceptación más altos, lo cual modificará los estándares de calidad actuales, de manera que lo que ahora parecen con niveles de excelencia, en poco tiempo serán considerados como nivel medio. Se deberá dar más importancia a las características superficiales del pavimento que controlan la comodidad, la resistencia al derrapamiento, al desgaste de las llantas y del vehículo, así como al ruido tanto en el interior como en el exterior del vehículo. En este último aspecto, se deberán controlar los niveles de ruido y contaminación ambiental en el entorno, con disposiciones y medidas de mayor cobertura, todo esto involucra directamente lo referente a evaluación de las características funcionales y estructurales de los pavimentos, así como los medios para llevar a cabo esta tarea e identificación de criterios y métodos, además de los desperfectos y sus causas que presentaran los pavimentos.

En el campo de la construcción también a habido y habrá cambios importantes. Los equipos y maquinaria son más potentes y versátiles, se ha desarrollado el concepto de máquinas inteligentes, con cada vez mayor participación electrónica y la robotización, así como de dispositivos más sensibles que permiten obtener mejores condiciones de acabado superficial, como sensores electrónicos, rayos láser, radar, etc. Es importante también en el aspecto constructivo, definir adecuadamente la logística de la obra, con el objetivo de evitar interrupciones en la secuencia de construcción, por su efecto sobre las condiciones superficiales del pavimento y en su calidad general.

Los organismos que tienen a su cargo la conservación y rehabilitación de las obras viales, heredan las buenas y malas acciones cometidas en la planeación, proyecto, construcción, supervisión y control de calidad. Por lo tanto es recomendable elevar los niveles de calidad en cada una de estas etapas y procesos, con el objeto de reducir las necesidades de conservación y rehabilitación.

El problema de la escasez de recursos financieros para llevar a cabo programas adecuados de conservación y rehabilitación, ha generado una grave situación de rezago y un inadecuado nivel de servicio. Se hace necesario obtener mayores partidas destinadas a subsanar esta situación, con lo que debe completarse con un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles.

Es importante evitar el divorcio existente entre proyecto y conservación, de tal manera que al realizar el primero, se tenga presente a la segunda. De esta manera la conservación y rehabilitación estarán planeadas desde el origen de la operación y podrán establecerse sus programas de ejecución.

Finalmente debe hacerse mención a la utilización de los sistemas de administración de pavimentos, capacitados para considerar la presencia de nuevos materiales y estructuras del pavimento, la planeación de los costos principalmente los de operación, así como diferentes ciclos de vida. Dichos sistemas están capacitados para efectuar análisis de sensibilidad para diferentes escenarios de economía, de políticas de mantenimiento y de variabilidad en los materiales, así como en el tránsito y en la construcción, permitiendo presentar la mejor información posible, que permita tomar soluciones adecuadas con la máxima eficiencia de los recursos disponibles. Por lo cual es necesario tratar de establecer sistemas de administración de conservación, que contemplen el panorama general del problema, se disponga de los elementos teóricos y tecnológicos del momento, así como de un

## CONCLUSIONES

---

banco de datos de la red vial que reúna la experiencia nacional y se maneje la información económica necesaria para el análisis racional de estrategias. De esta manera, se presentará un ciclo de retroalimentación que permitirá ir afinando los algoritmos básicos del SAP, de tal manera que se lograrán análisis más eficientes y precisos. Dichos sistemas deberán diseñarse a las condiciones del país.

# BIBLIOGRAFÍA

- 1. Seminario de Construcción y Conservación de Pavimentos Asfálticos en la Ciudad de México.**  
Gobierno del Distrito Federal, Secretaría de Obras y Servicios.  
Asociación Mexicana del Asfalto, A.C. , 25 de Septiembre de 1998.
- 2. Mecánica de Suelos, Tomo II.**  
Juárez Badillo y Rico Rodríguez.  
Editorial Limusa.
- 3. La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, Volumen 2.**  
Alfonso Rico Rodríguez y Hermilio del Castillo Mejía.  
Editorial Limusa.
- 4. Seminario de Diseño y Construcción de Pavimentos.**  
Diseño y Construcción de Pavimentos.  
Diseño de Pavimentos en Carreteras.  
Evaluación del Comportamiento de las Carreteras y Criterios para su Rehabilitación.  
Reología de Asfaltos.  
  
Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Obras Públicas, Subdirección de Obras Viales, 1995.
- 5. Diario Oficial de la Federación.**  
Programa de Desarrollo del Sector Comunicaciones y Transportes 1995-2000.  
25 de Marzo de 1996.
- 6. Estructuración de Vías Terrestres.**  
Fernando Olivera Bustamante.  
Editorial CECSA, 1994.  
**Seminario de Pavimentos Rígidos.**  
IMCYC, 10 de Diciembre de 1996.
- 7. Manual de Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico.**  
IMCYC, Diciembre de 1996.
- 8. Instructivo para el Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles para Carreteras.**  
Santiago Corro, Roberto Magallanes y Guillermo Prado.  
Fascículo 444, Instituto de Ingeniería.  
Editorial, UNAM, 1981.
- 9. Diseño Estructural de Carreteras con Pavimento Flexible.**  
Santiago Corro y Guillermo Prado.  
Fascículo 325, Instituto de Ingeniería.  
Editorial, UNAM, 1974.

- 10. Programa de Investigación en Pavimentos Urbanos.**  
Primera Etapa.  
Santiago Corro, Roberto Magallanes y Guillermo Prado.  
Patrocinado por el Departamento del Distrito Federal, 1996.
- 11. Programa de Investigación en Pavimentos Urbanos.**  
Segunda Etapa.  
Santiago Corro, Roberto Magallanes y Guillermo Prado.  
Patrocinado por el Departamento del Distrito Federal, 1997.
- 12. Stone Mastic Asphalt (S.M.A.) VIATOP.**  
Información Técnica  
Publicación de Excel Química S.A. de C.V.
- 13. Técnicas Modernas en la Producción de Agregados Pétreos.**  
Ing. Pedro Luis Benítez Esperanza.  
FUNDEC A.C., 1986.
- 14. CHEMCRETE.**  
Información Técnica.  
Publicación de ASFALTQUIM, S.A. de C.V.
- 15. Seminario de Procedimiento Constructivo en la Recuperación de Carpetas Asfálticas.**  
Manual de Información Técnica  
C.N.I.C., Wirtgen/Mapsa, 1996.
- 16. Procedimiento Constructivo en la Recuperación de Carpetas Asfálticas.**  
Información Técnica.  
Construmac S.A. y CMI Corporation, Oklahoma City, U.S.A.
- 17. Reciclado en Sitio con Asfalto Espumoso.**  
Información Técnica.  
Maquinaria y Caminos, S.A. de C.V.
- 18. EPR-1 PRIME.**  
Información Técnica.  
Comercializadora Hain Internacional, S.A. de C.V.
- 19. Bituminous Slurry Surfaces Handbook**  
Robert J. Province.  
Slurry Seal Incorporated Waco, Texas, 1966.
- 20. Proceso Constructivo de la Ampliación de las Laterales del Anillo Periférico Arco Oriente.**  
Juan M. Ortega Corpus y Hugo Flores Sánchez.  
UNAM, FI, 1992.
- 21. Mortero Asfáltico (Slurry Seal).**  
Catalogo de Información Técnica.  
Grupo Industrial ALCE, S.A. de C.V.
-

**22. Emulsiones Asfálticas.**

Catalogo de Información Técnica.

PROBICA S.A. de C.V.

**23. Huelo de llantas pulverizado bajo el sistema cryogenico, para uso en asfaltos, sistemas impermeabilizantes y cargas reforzantes.**

Ing. Antonio Juárez Campos.

Llantas y Servicios Técnicos de México S.A. de C.V.

**24. Simposio Sobre Geosinteticos (geotextiles y geomembranas).**

Rodrigo Murillo F.

Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C.