

38  
24



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGON**

**APUNTES DE ESTRUCTURAS  
DE PAVIMENTOS**

**T E S I S**

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

**P R E S E N T A  
GENARO TAVARES CONTRERAS**

**A S E S O R D E T E S I S  
ING. RICARDO RODRIGUEZ CORDERO**

**MEXICO, D. F.**

**1996**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCION

GENARO TAVARES CONTRERAS  
PRESENTE.

En contestación a su solicitud de fecha 30 de marzo del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. RICARDO RODRIGUEZ CORDERO pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado "APUNTES DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
San Juan de Aragón, Mex., 31 de marzo de 1995.  
EL DIRECTOR

M. EN C. CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO



c c p Jefe de la Unidad Académica.  
c c p Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil.  
c c p Asesor de Tesis.

CCMC'AIR'la.

***A DIOS***

Por haberme dado sabiduría y paciencia en los momentos más difíciles de mis estudios y por haberme dado la vida.

***A MIS PADRES***

Abigail Contreras de Tavares

José Luis Tavares Estrada

Por su confianza, generosidad y apoyo que me han brindado y que les agradeceré toda la vida ya que sin ellos no hubiera logrado esta victoria.

***A MIS HERMANOS***

Abigail

José Arturo

Quien con su apoyo y confianza infinita me alentaron a luchar por este momento cumbre de mi vida.

***A LA U.N.A.M.***

Facultad de Ingeniería y Profesores Gracias.

***A MI DIRECTOR DE TESIS***

Ing. Ricardo Rodríguez Cordero

Por haberme brindado su apoyo para poder desarrollar este Tema de Tesis.

## INDICE

<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I</b>	
<b>GENERALIDADES .....</b>	<b>3</b>
<b>CAPITULO II</b>	
<b>FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO</b>	
<b>DE PAVIMENTOS .....</b>	<b>12</b>
<b>CAPITULO III</b>	
<b>CONSIDERACIONES TEORICAS RELATIVAS A LA</b>	
<b>DISTRIBUCION DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES</b>	
<b>EN PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RIGIDOS .....</b>	<b>29</b>
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>ESTRUCTURACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES</b>	
<b>Y RIGIDOS .....</b>	<b>37</b>
<b>CAPITULO V</b>	
<b>CAPA SUBRASANTE.....</b>	<b>42</b>
<b>CAPITULO VI</b>	
<b>BASES Y SUB-BASES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.....</b>	<b>47</b>
<b>CAPITULO VII</b>	
<b>DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.....</b>	<b>56</b>
<b>CAPITULO VIII</b>	
<b>CAUSAS DE FALLAS MAS COMUNES EN PAVIMENTOS</b>	
<b>FLEXIBLES.....</b>	<b>71</b>

<b>CAPITULO IX</b>	
<b>CARPETA ASFALTICA.....</b>	<b>79</b>
<b>CAPITULO X</b>	
<b>EVALUACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON VISTA</b>	
<b>A CONSERVACION Y RECONSTRUCCION Y REFUERZO.....</b>	<b>90</b>
<b>CAPITULO XI</b>	
<b>EL EFECTO DE LOS SUELOS EXPANSIVOS EN LOS</b>	
<b>PAVIMENTOS FLEXIBLES.....</b>	<b>95</b>
<b>CAPITULO XII</b>	
<b>EL EFECTO DE LOS SUELOS EXPANSIVOS EN LOS</b>	
<b>PAVIMENTOS RIGIDOS.....</b>	<b>99</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>103</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>105</b>

## INTRODUCCION

Las obras de ingeniería, en este caso las vías terrestres son de gran importancia para el desarrollo de un país, y deben construirse en la forma más económica posible pero cumpliendo con las finalidades para las cuales fueron proyectadas; basándose en volumen y peso del tránsito.

Por necesidad los primeros caminos fueron de tipo peatonal veredas, senderos y brechas ya que las tribus nómadas las usaban para comunicarse y realizar sus actividades y necesidades.

Los españoles introdujeron las carretas jaladas por humanos o bestias por lo cual acondicionaron los caminos y en consecuencia la construcción de nuevos caminos proporcionando una comunicación más rápida y cómoda.

En la aparición del automóvil se modificaron los antiguos caminos de carretas y en consecuencia la construcción de nuevos caminos con mejores especificaciones de alineamiento, pendiente y superficie de rodamiento y resistencia adecuada.

Con el gran desarrollo del país y el crecimiento de la población se incremento el número de automóviles por lo cual fue necesario nuevas alternativas ya que los caminos existentes ya no eran funcionales por lo que fue necesario construir nuevos caminos con altas especificaciones en su proyecto geométrico y estructuración pues tanto el volumen de los vehículos como el peso se ha incrementado.

El siguiente trabajo tiene como objetivo describir la forma para estructurar los pavimentos flexibles y rígidos de las vías terrestres.

Los factores que intervienen en el diseño de pavimentos flexibles son el factor económico, infraestructura, tipos de caminos de acuerdo a su utilidad socio-económica comparación entre diferentes tipos de transporte, riesgos desde el punto de vista económico, factor económico en las normas del proyecto, factores regionales y drenaje, etc.

También en como influyen la distribución de esfuerzos y deformaciones en pavimentos flexibles y rígidos en cuanto a su resistencia estructural y deformabilidad de una estructura vial originadas por las cargas impuestas por el tránsito ya sea una calle un aeropuerto o una carretera.

En esta tesis se desarrollará la definición de pavimentos flexibles y rígidos. Las funciones de la capa subrasante, subbase y base se describirá un método de diseño de un pavimento flexible.

La definición de carpeta asfáltica y tipos de carpetas; la evaluación de los pavimentos flexibles con vista a conservación, reconstrucción y refuerzo; y del efecto de los suelos expansivos en los pavimentos flexibles y rígidos.

# CAPITULO I

## GENERALIDADES

**1.1** Cuando los conquistadores españoles llegaron a lo que hoy constituye el territorio nacional, encontraron que sus pobladores no hacían uso de la rueda en vehículos de Transporte y no disponían tampoco de animales de tiro y carga; pero a pesar de ello, cosa curiosa, contaban con un buen número de buenas calzadas de piedra, así como una considerable cantidad de caminos, veredas y senderos.

Partiendo de la capital azteca, los españoles encontraron amplias calzadas sobre el lago, que conducían a los pueblos cercanos. Los aztecas y los mayas, quienes por sus actividades comerciales, religiosas y bélicas, utilizaban ampliamente los caminos; de algunos perduran aún los vestigios, como los famosos caminos blancos de los mayas, "sacbé" en su lengua, de los cuales son buenos ejemplos los que se observan en las inmediaciones de Izamal, Yuc.

También se preocuparon por su conservación, emitiendo leyes sobre la manera y la época en que debían repararse, los caminos que los aborígenes construyeron para sus necesidades, fueron después útiles a Cortés y su gente para movilizarse a pie y a caballo y para transportar sus bagajes y cañones.

**1.2** Los caminos durante la colonia, la colonización de la Nueva España trajo como consecuencia lógica un sensible mejoramiento de los caminos ya existentes y la apertura de otros muchos; como resultado de su especial situación geográfica y del uso económico dado a la nación conquistada por sus nuevos gobernantes.

La introducción de animales de tiro y carga y el uso de palanquines y literas tirados por caballos y mulas, originaron las primeras modificaciones a los caminos existentes. Por otra parte, la comunicación del centro de la Nueva España con sus puertos marítimos, requería la construcción de caminos adecuados, para enviar a la madre patria los variados y ricos productos del País y para hacer llegar a la capital los que arribaban del extranjero.

**1.2.1** Primer camino construido -1522 Cortés encomendó a Alvaro López la apertura de un camino entre México y Veracruz.

**1.2.2** Fray Sebastián de Aparicio en el año 1535 se las ingenió para construir las primeras carretas rudimentarias formadas por novillos y toros mansos que él mismo adiestraba, lanzándolas en forma de "cuadrillas" por la carretera a Veracruz. Estos primeros transportes los inició Sebastián de Aparicio desde la ciudad de Puebla en 1542 se paso a la Ciudad de México, dirigiendo ahora sus carros hacia el norte, abriendo la ruta hasta el real de minas de Santa María Zacatecas.

**1.2.3** Las construcciones, modificaciones y mejoras de caminos se sucedieron una tras otra: en 1537 Don Antonio de Mendoza, primer Virrey de la Nueva España, mandó abrir dos caminos al occidente, siguiendo para ello la ruta marcada por los conquistadores Guzmán y Olid; en 1570 se construyó el camino de Zacatecas a Durango, mismo que en quince años después fue convertido en carretero, y en 1597 el Virrey Manrique de Zúñiga ordenó la continuación del camino de México hacia Guadalajara, desde San Juan de los Lagos.

En 1596 el Virrey Don Luis de Velasco dispuso la construcción del camino a Acapulco, que Humboldt habría de llamar la Ruta de Asia. En 1650 Don Miguel Cuevas Dávalos construyó por su cuenta el camino de Ixmiquilpan al norte por Zimapán, que fue mejorado posteriormente por Don Diego de Alarcón de Ocaña, en 1717 se transformo en Carretero el camino de México a Cuernavaca, por orden del Virrey Conde de Moctezuma y Tula, Duque de Atlixco; en el mismo año, Don Tomás de los Ríos transformó también en carretero el camino de Lagos a Guadalajara; en 1720 Don Felipe Orozco abrió el camino de Durango a Chihuahua; en 1750 Don José Borda, el fabulosamente rico minero, mejoró el camino de México a Acapulco, por Chilpancingo, derivándolo por Taxco. En 1760, Don José Escandón principió al norte de Querétaro el camino de San Luis Potosí y Monterrey; el de México a Valladolid (hoy Morelia) lo construyó Don Manuel Mascaró en 1768, según estudio que hizo Don Ricardo Aimer; en 1753 se continuó el camino de Chihuahua a Santa Fé (Nuevo México), y en el mismo año Don Manuel de Artaza abrió diversos caminos en Nueva Galicia (hoy Jalisco), mejorando también los existentes. En 1803 se inició la construcción del camino de México a Veracruz, por Jalapa, según proyecto de Don Pedro Ponce, aprobado desde el virreinato de Revillagigedo camino que, en 1808, dos años antes de que se iniciara nuestra independencia, fue terminado por cuenta del tribunal del Consulado, todas estas rutas no son ahora bien conocidas.

**1.3** Los caminos desde la independencia hasta 1910, como se expuso México contaba ya con un buen número de caminos carreteros y de herradura, que sumaban respectivamente, si hemos de atenernos a las cifras que nos consigna la historia, en 7,605 y 19,720 kilómetros, variando su estado de conservación de acuerdo a su importancia.

En los años inmediatamente posteriores a 1810 poco se hizo en materia de caminos, ya que la azarosa situación derivada de la iniciación de la independencia, impedía la realización de cualquier esfuerzo de orden constructivo que se hubiera intentado. Las Leyes del 10. de Junio de 1839, 2 de Diciembre de 1842 y 27 de Noviembre de 1846, crearon la Dirección General de Colonización e Industria, a cuyo cargo quedó la construcción y reparación de caminos, asignándole fondos especiales para su funcionamiento en la Segunda de las Leyes citadas. Esta dirección estuvo en funciones hasta que fue sustituida por la Secretaría de Fomento creada por decreto del 22 de abril de 1853. Y en 1842 se observa cierta disposición del Gobierno para formalizar la construcción de caminos al crear un cuerpo civil de ingenieros de caminos, Puentes y Calzadas.

**1.3.1** Las primeras diligencias siempre han sido la evolución de los vehículos de transporte la que ha forzado los cambios en las vías terrestres. En 1849 cuando Don Manuel Escandón estableció la primera línea de diligencias en el país, que corría entre México y Puebla.

Es indudable que el servicio de estas líneas de diligencia exigía también un adecuado mantenimiento de las carreteras, aunque también sabemos que por esa época el auge de los ferrocarriles hizo que los caminos decayeran lamentablemente.

**1.3.2** Lic. Benito Juárez Presidente de la República en 1861-1872, y que en 1868 destinó el primer presupuesto importante para la apertura y conservación de caminos, el 13 de mayo de 1891 el Presidente de la República, Gral. Porfirio Díaz, creó la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas.

**1.4** Los caminos después de 1910 la Revolución Mexicana, iniciada en 1910, provocó en el País una conmoción profunda, que por largos años impidió la realización de todo intento de carácter constructivo.

- 1.4.1** Advenimiento del automóvil, la aparición del automóvil, acaecida en México en 1906, y que revolucionó definitivamente los viejos sistemas de transportación por carretera entre 1918 y 1920, influyó más en el incremento y modificación de los caminos, que los cuatrocientos años anteriores de nuestra historia.

Desgraciadamente, la aparición del nuevo vehículo no produjo en los caminos de México la misma evolución que en otros Países.

- 1.4.2** Necesidad de un nuevo tipo de camino hasta el momento de la aparición del automóvil, la curvatura, las pendientes y las superficies de rodamiento de los caminos, eran las adecuadas a las limitadas exigencias de los vehículos de tracción animal, entre las cuales destacaba principalmente su reducida velocidad; pero el rápido desarrollo del automóvil de pasajeros y la aparición de los camiones, ambos con velocidades y capacidad de carga desconocidas hasta entonces, exigieron caminos con diferentes alineamiento, y con pendientes y superficies de rodamiento apropiadas.

En consecuencia, los antiguos caminos se modificaron y se mejoraron, o bien se construyeron nuevos, de acuerdo con las nuevas exigencias de los vehículos. En nuestro país no se efectuó ese mejoramiento o mas bien esta transformación de los caminos carreteros, por haber coincidido la aparición del automóvil y el rápido desarrollo del mismo, con el movimiento revolucionario. El automóvil había adelantado demasiado para los viejos caminos de México, que resultaban ya totalmente inadecuados. Era preciso y urgente construir los caminos cuya necesidad era obvia y en consecuencia no hubo ni en realidad se requería, planeación lo que había que construir estaba a la vista; por los fondos disponibles.

- 1.4.3** El 30 de marzo de 1925, el entonces Presidente de la República Gral. Plutarco Elias Calles creo la Comisión Nacional de Caminos. Posteriormente se convirtió en 1932 en la Dirección Nacional de Caminos, dependiente de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas.

Con el aumento en la construcción, conservación y mejoramiento de los caminos, la Dirección creció también, siendo necesario para su buen funcionamiento separar en varias Direcciones sus labores; así, a la fecha existen tres Direcciones Generales dentro de la Secretaría de Obras Públicas que se encargan respectivamente de construir carreteras de cooperación y de conservar las carreteras federales.

**1.4.4 Primeros caminos construidos.** La Comisión Nacional de caminos inició las obras celebrando, para unas, contratos de construcción por administración y ejecutando otras directamente, debido a la carencia que entonces había de empresas contratistas nacionales debidamente organizadas. Pasado los primeros años, a mediados de 1927 se subsanó esta deficiencia y se empezó a contratar a base de cantidades de obra y precios unitarios, considerando que este sistema era el eficiente y económico.

Previendo el poco tránsito que al principio tendrían los caminos, la Comisión adoptó el procedimiento de "camino progresivo" consistente en mejorar paulatinamente la superficie de rodamiento en relación con la intensidad del tránsito.

**1.4.5 Implantación del Sistema de Cooperación con los estados** a pesar de los espectaculares avances obtenidos en los primeros años la federación no se encontraba satisfecha y la necesidad de construir caminos secundarios, en los cuales intervinieron los gobiernos de los Estados, se hacía sentir cada día con mayor fuerza.

Por acuerdo presidencial el 22 de diciembre de 1932 se colocó la primera piedra en el Sistema de Cooperación federal a los estados, se crearon mediante ese acuerdo juntas locales de caminos en todas las entidades federativas, encargadas de dirigir las obras y administrar los fondos.

**1.4.6** Para 1935 se obtuvo resultados satisfactorios, ya se habían construido 985 kilómetros de terracerías de los cuales 860 estaban revestidos y 177 petrolizados, habiéndose trabajado en los caminos, que prácticamente cubrían toda la extensión del país. Tijuana-Ensenada, La Paz-San José del Cabo, Nogales-Hermosillo, Gómez Palacio-Chávez, Culiacán-Novolato, Nacozari-Agua Prieta, Guadalajara-Navidad, Acaponeta-Tecuala, Temascal-Huetamo, Ruiz-Tuxpan, Querétaro-Jalapan, León-Silao, Salvatierra-Moroleón, San Luis de la Paz-Xichú, Iguala-Teloloapan, Pachuca-Huejutla, San Luis-Antiguo Morelos, Cuemavaca-Tepoxtlán, Alpuyeca-Jojutla, Tres Cumbres-Zempoala, Mitla-San Bartolo, Puebla-Atlixco, Puebla-Limón, Tampico-Villa Juárez, Texmelucan-Tlaxcala, Limón-Veracruz, Villahermosa-Teapa, Mérida-Uxmal, como se podrá ver por lo anterior, el Sistema de Cooperación con los Estados tuvo excelente acogida y se extendió rápidamente en la casi totalidad de las entidades federativas.

1.5 El país necesita construir todos los tipos de caminos vecinales, desde los de extracción e intercambio comercial hasta los de penetración a las regiones totalmente incomunicadas. Es preciso en muchos casos acondicionar los viejos caminos, convirtiéndolos en adecuados caminos vecinales, transitables en todo tiempo; en otros casos es necesario, construirlo todo.

No existe una fórmula que permita calcular con exactitud la cantidad de caminos vecinales necesarios.

Según datos estadísticos existen 556 Poblaciones de más de 5,000 y menos de 50,000 habitantes con las que seguramente no habría problemas porque están todos en los mapas; de menos de 5,000 habitantes hay unos 110,000 centros de población, incluyendo rancherías, de los cuales los principales, o sea entre 2,500 y 5,000 habitantes, suman 865 y tal vez se encuentren también en los mapas; pero aquellos con más de 50 y menos de 2,500 habitantes, totalizan 41,000, de los cuales seguramente una buena cantidad no figura en los mapas.

1.6 Creación del Departamento de Planeación y Fomento de carreteras vecinales -Desde 1947 siendo Presidente de la República el Lic. Miguel Alemán, se hizo resaltar la urgencia de construir caminos vecinales para ligar a todos aquellos pueblos, rancherías, comunidades agrarias y pequeños poblados que integran la gran mayoría de nuestra población y que se hallan incomunicados entre si y de la red de caminos nacionales y estatales, de los ferrocarriles y de los demás medios de comunicación del país; además, que la falta de estos caminos constituye un serio obstáculo para el desarrollo de la agricultura, del comercio, de las artes populares, de la industria, del turismo, de la educación, y de la salubridad e higiene de dichos pueblos; que por su falta, el país no incrementa debidamente su desenvolvimiento económico y social, privando a los mismos pueblos del derecho a participar de los adelantos de la civilización y de sus comodidades; que no es posible establecer una corriente de intercambio de los centro productores con los consumidores, impidiendo a los pueblos el envío oportuno y económico de sus productos y el abastecimiento muchas veces hasta de lo más indispensable para su subsistencia; y para fortificar la unidad nacional es preciso que nos conozcamos mejor, penetrando hasta las regiones más apartadas.

Se tuvieron así ya implantadas las tres fórmulas que han prevalecido hasta la fecha.

- a) Carreteras troncales o nacionales, costeadas 100% por la federación. Son las principales y constituyen la base de la red carretera del país.

- b) Carreteras secundarias, comprendidas en el plan llamado de cooperación, costeadas 50% por la federación y 50% por el Gobierno del Estado correspondiente.
- c) Caminos vecinales, costeados mediante 1/3 de la federación, 1/3 del Gobierno del estado correspondiente y 1/3 de los particulares.

1.7 Asociación Mexicana de caminos A:C:-A. principios de 1949, se fundó en México la Asociación Mexicana de caminos, como asociación civil mexicana desprovista de fines lucrativos, con personalidad jurídica y presupuesto propio; es asociada de la federación Internacional de carreteras, fundada en 1948 en la ciudad de Washington D.C. la federación internacional de carreteras (International Road Federation), es una organización mundial destinada al fomento de las carreteras y su buen uso: cuenta con 84 instituciones nacionales miembros, con sede en otros tantos países.

Sr. Don Rómulo O'Farril, Sr. Eminente Industrial y hombre de Negocios Fundador y Presidente Vitalicio de la Asociación Mexicana de Caminos.

La AMC fue fundada por un importante número de instituciones y empresas nacionales ligadas con las carreteras y el transporte, como son las que pertenecen a la industria automotriz, a la industria del hule, las manufactureras e importadoras de maquinaria, empresas del petróleo y derivados, constructoras y fábricas de cemento y numerosas agrupaciones cívicas que representan a los sectores bancarios de la construcción, distribución de automóviles etc.

El programa de la Asociación se formuló con el exclusivo propósito de servir, desde el ángulo del sector privado, a la vialidad mexicana, colaborando con las autoridades federales y estatales según se desprende de los fines que desde entonces han normado sus actividades.

Los objetivos de la Asociación son:

- Fomentar en el sentido más amplio de la palabra, la construcción, conservación y buen uso de carreteras en todo el territorio nacional.
- Fomentar el transporte en general, tanto de pasajeros como de carga, así como la coordinación de todos los medios de transporte.
- Fomentar la seguridad vial.

- Promover la cooperación económica de particulares para la construcción de carreteras vecinales.
- Fundar instituciones regionales como sus filiales.
- Fomentar la capacitación subprofesional y profesional en las técnicas relacionadas con carreteras y demás medios de transporte.
- Establecer y fomentar relaciones con instituciones a fines o similares en el país y en el extranjero.

La Asociación Mexicana de caminos continua trabajando dentro de los fines que motivaron su fundación en 1949, en los aspectos de promoción de caminos alimentadores; cooperando a la capacitación de los ingenieros mexicanos en nuestro país y en el extranjero y en la promoción de la vialidad en México y en el continente americano.

#### 1.8 Comité Nacional de Caminos Vecinales.

La Asociación Mexicana de caminos ofreció al Gobierno Federal, por conducto de la secretaria de comunicaciones y obras públicas, ahora secretaria de obras públicas, la más amplia colaboración para la construcción de un nuevo tipo de caminos, los vecinales a través del comité Nacional de caminos vecinales, creado mediante el decreto del 12 de Octubre de 1949, a iniciativa de la propia A.M.C.

El trazo y especificaciones geométricas de construcción de los caminos vecinales fueron establecidos por la entonces Secretaria de Comunicaciones y Obras Públicas, quien tuvo además a su cargo la supervisión técnica de las obras.

#### 1.9 Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos.

El pujante desarrollo del país, el incremento en el número de vehículos de motor y el sorprendente crecimiento demográfico, han motivado que numerosos caminos se hayan saturado y no cumplan satisfactoriamente con su misión comunicadora, o bien construir nuevas arterias de altas especificaciones, cabía la posibilidad de ensayar una nueva fórmula de financiamiento de

halagüeñas perspectivas en nuestro país, basada en el cobro de una cuota por transitar por un camino de mejores especificaciones y por lo tanto de mayor seguridad.

Por otra parte mediante esta modalidad se mantenía incolumne el principio de que el tránsito por los caminos del país debe ser libre de peaje, ya que deja el automovilista la opción de escoger la ruta que más le convenga, los caminos directos como se les llama también a las carreteras de cuota, proporcionan mayor seguridad, comodidad y economía en tiempo, en general en costos de transporte, por lo que se considera razonable que se cobre por la prestación de este servicio una cuota que en la mayoría de los casos se calcula con base en el ahorro que representa para el usuario, y que siempre se procura que sea menor a este ahorro las primeras carreteras de cuota, entre las que figuran la ciudad de México a Cuemavaca bautizada por el Vulgo con el nombre de autopista, fueron administradas y conservadas por una empresa de participación estatal denominada Constructora del Sur. Pronto se popularizó el sistema, con gran aceptación de los usuarios, por lo que se construyeron más caminos de este tipo; por este motivo el gobierno decidió crear en 1958 el organismo descentralizado caminos federales de ingresos.

En el decreto que lo creó, se anunciaba que la operación de esta clase de caminos no tenía como finalidad el lucro.

Posteriormente en 1963 se modificó su organización creándose lo que es ahora caminos y puentes federales de ingresos y servicios conexos.

El nuevo organismo descentralizado está constituido en tal forma que puede negociar importantes financiamientos para la construcción de otras carreteras, esto explica el notable impulso que se a dado a esta red vial.

La modalidad de operar carreteras de cuota se ha extendido también a los puentes y a los transbordadores.

A la fecha caminos y puentes federales de ingresos y servicios conexos, administra y conserva una red de más de 1,000 km. de carreteras de 2 y 4 vías de circulación, que es equivalente aproximadamente a 1,500 km. de caminos de 2 carriles; asimismo; administra y conserva 29 puentes de cuota con longitud total de 8,400m. y opera 8 transbordadores que dan servicio en el noroeste del país, entre las costas de Jalisco, Sinaloa y Sonora y la de la península.

## **CAPITULO II**

### **FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS**

#### **EL FACTOR ECONÓMICO EN LAS VÍAS TERRESTRES**

Las obras de ingeniería deben construirse en la forma más económica posible, pero cumpliendo cabalmente con las finalidades para las cuales fueron proyectadas; se debe entender que una obra es económica cuando la suma de los costos de construcción, conservación y operación son mínimos en relación con otras alternativas consideradas.

La misión de un ingeniero es proyectar y construir obras con el menor costo posible y que cumplan con las finalidades para la cual fueron concebidas.

#### **INFRAESTRUCTURA**

Las vías terrestres forman parte de la infraestructura de un país, que son aquellas obras, por lo general a cargo del gobierno, que provocan el desarrollo; entre otras obras de infraestructura se tienen la irrigación, la instalación de energía eléctrica, la introducción de agua potable, las obras de drenaje, caminos federales, aeropuertos y puertos.

Las vías terrestres tienen una importancia económica y, por tanto, deben evaluarse y programarse de acuerdo a los beneficios sociales y económicos que puedan proporcionar.

#### **TIPOS DE CAMINOS DE ACUERDO A SU UTILIDAD SOCIO-ECONÓMICA**

Los caminos se pueden dividir de acuerdo a su utilidad, en caminos de tipo de integración nacional, de tipo social, caminos para provocar el desarrollo y caminos en zonas desarrolladas.

## **CAMINOS DE INTEGRACIÓN NACIONAL**

Son aquellos que principalmente sirven para tener unido al territorio nacional; así en México los primeros caminos troncales se programaron para comunicar a la capital de la República con las capitales de los estados, más tarde se puso énfasis en comunicar a éstas últimas entre sí, así como a las cabeceras municipales, últimamente se ha dado importancia, a la terminación de los caminos costeros del Golfo y Pacífico, así como los fronterizos del norte y del sur, como el camino transpeninsular que recorre de norte a sur la península de Baja California.

## **CAMINOS DE TIPO SOCIAL**

Son aquellos que principalmente tienen como finalidad incorporar al desarrollo nacional a los núcleos sociales que han permanecido marginados por falta de comunicación. La evaluación de estos caminos se realiza por medio del costo por habitante servido que se calcule, dividiendo el costo de la obra entre el número de habitantes en la zona de influencia del camino, de acuerdo a las condiciones del clima, de las zonas que atraviesan estos caminos, desde su construcción, sobre todo en la superficie de rodamiento, deben tener las características que propicien los menores costos de conservación.

## **CAMINOS PARA EL DESARROLLO**

Son aquellos que nos sirven principalmente para propiciar un auge agrícola, ganadero, comercial, industrial o turístico de la zona de influencia, y su evaluación económica se realiza haciendo uso del índice de productividad que se obtiene, dividiendo los beneficios entre el costo de la obra, siendo los primeros, la suma de los costos de la producción que se obtiene durante un cierto tiempo, usualmente cinco años.

Este tipo de caminos tiene una corona entre 7 y 11 mts.

## **CAMINOS ENTRE ZONAS DESARROLLADAS**

Se construyen para disminuir los costos de operación, propiciando el mejoramiento del tránsito en los caminos regionales. Estos caminos tienen como misión comunicar sólo los puntos que han alcanzado mayor desarrollo; por lo tanto serán directos, con lo que se disminuyen las distancias de recorrido, el nivel de servicio debe ser mejor que el del resto de los caminos, por lo que la operación es más segura y cómoda.

Con frecuencia son caminos con control de acceso; dependiendo del tránsito, pueden ser de 2, 4 o más carriles principalmente en el país están constituidas por las llamadas autopistas que en general son caminos de cuota y su administración está a cargo de una dependencia oficial. En otros países, como los europeos, esta administración está a cargo de compañías particulares.

La evaluación de estos caminos se hace a través de la relación beneficio-costos, denominado índice de recuperación, que se calcula dividiendo los ahorros que se tendrán al utilizarse la nueva obra entre el costo de construcción. Los ahorros son de combustible, lubricantes, horas hombre (operadores y pasajeros) y de otros elementos menos tangibles como la comodidad y la seguridad.

## **PROGRAMACIÓN DE CAMINOS**

Para los diferentes tipos de caminos, cada uno se evalúa de manera diferente y hasta ahora ha quedado a criterio de las autoridades la elección de las obras de cada tipo que se construyan en los periodos de gobierno.

## **COMPARACIÓN ENTRE DIFERENTES TIPOS DE TRANSPORTE**

El transporte marítimo es el más económico pero el más lento, en cambio la aviación es la más rápida, pero también el medio más caro; lo mismo pasa con el ferrocarril y el transporte por carretera, pues mientras aquél es lento, cuando se administra correctamente es más barato por lo que se deberá utilizar para el movimiento de volúmenes grandes de productos perecederos; mientras que las carreteras deberán utilizarse para volúmenes menores, correspondiendo éstos a productos perecederos y pasaje.

Así, mientras los ferrocarriles mueven el 20 % de la carga, por carretera se transporta el 80 % restante.

## **RIESGOS DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONÓMICO**

Para el proyecto de las obras de ingeniería deben tomarse en cuenta los riesgos que se pueden tener si se presentara alguna falla, y con esta base se deben tomar los factores de seguridad. Como ejemplo considérese el caso de tres obras de tierra:

Una presa de almacenamiento, un Aeropuerto y una Carretera.

Presas de almacenamiento, estudios más detallados, factor de seguridad más alto, FS - 5

Un Aeropuerto, tipos de suelos, tipo de estructura para pavimentos, FS - 3

Una Carretera, estudio del suelo, FS - 1

De las tres obras propuestas, las carreteras son las que presentan menos riesgos, y su factor de seguridad puede ser lo más cercano posible a la unidad. FS - 1, y por lo mismo, los estudios pueden ser menos detallistas, pero en mayor número, por las extensiones de estas obras. Esto no quiere decir que se vaya a permitir una mala construcción, pues de cualquier manera el constructor debe apegarse a lo proyectado y el contratante, habitualmente el gobierno, debe verificar la calidad de la obra, haciendo uso ambos, de los procedimientos más modernos de control de calidad.

## **FACTOR ECONÓMICO EN LAS NORMAS DE PROYECTO**

Las especificaciones deben clasificar a las obras para que las características geométricas que marquen a cada una de ellas, estén de acuerdo a las necesidades y los costos de operación (fig. 2-1).

Para carreteras y ferrocarriles, el factor económico rige las características de pendiente, curvatura, número de carriles o vías paralelas, lo cual está en íntima relación al volumen de carga y tipo de maquinaria utilizada; en carreteras y ferrocarriles, la posición de la rasante económica con respecto al terreno natural debe estudiarse cuidadosamente tomando en cuenta las

especificaciones, las características fotográficas, las dimensiones y necesidades de las obras de drenaje, las geotécnicas de la zona en cuanto a terrenos blandos, nivel de aguas freáticas, zonas de inundación: se deben estudiar las secciones críticas con el fin de decidir hasta qué punto es conveniente mover el centro de línea en el proyecto horizontal, y hasta dónde conviene la construcción de muros de contención; principalmente en ferrocarriles se debe decidir cuál es la longitud más económica de terraplenes, viaductos y túneles.

En las vías terrestres es fundamental el estudio de los acarreo de los materiales de construcción, de tal manera que el costo de las terracerías sea mínimo para lo cual se hace uso de la curva masa. (fig. 2-2).

Se toma en cuenta el equipo que es necesario utilizar de acuerdo a la distancia de acarreo, los tratamientos que se deben hacer o se dejan de ejecutar al mover las compensadoras, los costos de estos tratamientos etc. Así mismo, una vez que se tengan los bancos de materiales que pueden ser utilizados para la construcción de la capa subrasante y de pavimento, en el caso de aeropuertos y caminos o para balasto en ferrocarriles, se debe hacer la selección de aquéllos que por sus tratamientos necesarios y acarreo sean lo que proporcionen los costos menores.

Dentro del proyecto se deben tomar muy en cuenta las obras de drenaje necesarias que hagan que los costos de conservación sean mínimos, sin dejar a un lado el costo de construcción.

## **FACTORES REGIONALES**

Dentro de los factores regionales que afectan a las obras de tierra, como son las vías terrestres son:

- Geología
  - Topografía
  - Clima
  - Geotécnia
- 
- La Geología influye en la estructuración de las vías terrestres en lo que se refiere a los materiales que pueden utilizarse y al drenaje que se tenga en la zona que cruzan; por lo cual es conveniente conocer la formación y los accidentes geológicos que se presentan: así, el drenaje será diferente si se tiene roca masiva o fracturada o si los suelos son arenosos o arcillosos; la

presencia en la zona de mantos rocosos y bancos de aglomerados influirá en la elección de los materiales de construcción, por tanto influirá en forma primordial en los costos.

- Topografía y la precipitación pluvial estarán íntimamente relacionados con el drenaje y la posición de rasante.
- Las características mecánicas o geotécnicas de las zonas en que se localiza la obra influirán en la cimentación de alcantarillas y puentes: en el uso de materiales y costos.
- Las zonas con temperaturas altas requerirán que carpetas asfálticas de mayor estabilidad que en aquellos de temperaturas menores; en las zonas de temperaturas de congelamiento se requerirá un espesor de pavimento tal, que rompa el ascenso capilar del agua y no se tenga su presencia en las capas superiores ya que al solidificarse, hace que se pierda la compactación de los materiales y, por tanto disminuye su resistencia.

Para llevar a buen término una obra es necesario conocer con detalle estas características a través de las zonas en que se localiza. Para ello se requiere conocerlas en forma general, para posteriormente particularizar lo necesario.

## **METODOLOGÍA**

Para la localización y el proyecto de este tipo de obras consiste en tres etapas principales: elección de ruta, anteproyecto y proyecto definitivo.

### **ELECCIÓN DE RUTA**

Abarca una amplia zona entre los puntos que se requiere comunicar; en esta intervienen ingenieros especialistas en proyecto, en planeación y geólogos.

Se hace un exhaustivo acopio de datos de la región, que pueden ser mapas con curvas a nivel, de clima, geológicos, planos fotogramétricos, fotografías aéreas, se proponen las alternativas que se recorren primero con vuelos altos en avionetas y posteriormente se estudian las más viables por medio de helicópteros. En esta etapa se toman fotografías aéreas de los corredores que contienen las rutas más probables a escala 1: 25,000 o si se tiene más seguridad en esas rutas, la escala puede ser de 1: 10,000.

Se pueden tener datos cuantitativos de pendientes transversales del terreno, de la posible pendiente longitudinal, del tipo y densidad del drenaje, de la formación geológica, de las fallas estructurales, de los plegamientos, de la posición de los echados, de zonas pantanosas y de inundación.

### **ANTEPROYECTO**

Consiste en conocer con detalle la topografía, en un ancho de 100m. aproximadamente, a cada lado de la línea aceptada como probable en la primera etapa.

Estos estudios, dependiendo de la vegetación existente, de la claridad atmosférica, del tipo de topografía y de la accesibilidad, se realizan por el medio tradicional de brigadas terrestres o por medios fotogramétricos electrónicos los ingenieros geólogos realizan inspecciones a diferentes puntos de control para verificar y afinar la foto interpretación realizada y estudiar con detalle algunos fenómenos que consideran de importancia. En esta etapa, interviene también ingenieros hidrólogos que detallan las características de drenaje y de hidrología a lo largo de la ruta ya que es importante obtener los datos de precipitación pluvial.

También inician sus estudios los especialistas en mecánica de suelos para realizar estudios generales de la zona que atraviesa el camino.

En esta etapa se proyecta en gabinetes la línea definitiva de la vía terrestre en cuestión, que queda marcada en fotografías aéreas a escala 1: 10,000 o 1: 5000 y en plantas topográficas escala 1: 2000 con perfiles deducidos a escala 1: 2000,000.

### **PROYECTO DEFINITIVO**

Se hacen los estudios necesarios para obtener los planos detallados que servirán para la construcción de la obra, como son: los de proyecto horizontal que constan de planta a escala 1: 2000. (fig. 2-3) perfil a escala 1:200 (fig. 2-4).

En la que se incluye la posición, tipo y dimensiones de las obras de drenaje y la curvamasa, en la que se indican los movimientos de tierra con los acarrees correspondientes, que deben realizarse para que la obra sea económica.

En esta etapa, el ingeniero geólogo asesora a los especialistas que realizan los estudios definitivos, los ingenieros hidrólogos detallan los estudios para la construcción de las obras de drenaje y los ingenieros especialistas en geotécnica dan a conocer los siguientes datos que se encuentran. (fig. 2-4).

### **DRENAJE NATURAL Y PRECIPITACIÓN COMO FACTORES PRINCIPALES.**

Con todos los datos que se tienen, el ingeniero encargado de proporcionar los procedimientos de construcción y la estructuración de las secciones transversales, deberá detallar para cada tramo el tipo de drenaje y de precipitación de la siguiente manera, cualitativa: zonas de baja, mediana y alta precipitación pluvial que pueden quedar tipificadas, respectivamente, como aquellas zonas de tipo desértico o semidesértico, en que las lluvias son esporádicas, zonas en que se tiene una época definida de las lluvias durante el año y, por último aquellas zonas en que llueve más del 40% de los días del año.

En cuanto al drenaje, se puede clasificar en bueno, regular o malo, tomando en cuenta las características topográficas, geológicas y de posición del nivel de aguas fráticas de la siguiente manera: zonas con pendiente transversal mayor de 25°, materiales permeables, con posición del NAF con profundidades mayores a 5 m; zonas con pendiente transversal entre 10° - 25° , permeabilidades medias y posición del NAF con profundidades entre 1 y 5 m. y las zonas con pendiente transversal menor a 10°, materiales impermeables y posición del NAF a profundidades menores de 0.5 m.

De acuerdo con los datos del proyectista la sección estructural de la obra se clasificará los tramos de la siguiente manera, cualitativa.

1. Zonas de bajo régimen pluviométricos y buen drenaje.
2. Zonas de regular régimen pluviométrico y regular drenaje.
3. Zonas de alto régimen pluviométrico y mal drenaje

## **TEMPERATURA**

En las vías terrestres son importantes los extremos: temperaturas altas y temperaturas de congelamiento.

Con respecto a las temperaturas altas, pueden afectar la estabilidad de las carpetas asfálticas la superficie de rodamiento sufre deformaciones por el arriñonamiento o corrimiento de las carpetas, este defecto se puede evitar o corregir utilizando los asfaltos de mayor dureza que son menos sensibles a cambios de temperatura, cuidando en todo el caso que los módulos de elasticidad de la carpeta y de la base sean lo más aproximados posibles.

En cuanto a temperaturas de congelamiento, éstas afectan a las estructuras de las vías terrestres al congelarse el agua que hay entre partículas, lo cual provoca que se pierda la compactación que tenían los materiales, al presentarse ese fenómeno, el volumen de agua aumenta y el problema se agudiza en primavera cuando se presenta el deshielo, ya que los suelos con menos compactación absorben el agua y baja considerablemente su capacidad de carga.

En las zonas en que se presenta este fenómeno de congelamiento se debe evitar que en las capas superiores de la estructura de una vía terrestre se pueda tener agua capilar, para la cual es necesario que en la profundidad que afecta este fenómeno se tenga una capa rompedora de capilaridad, es decir, material granular sin finos. En México se tienen muy pocas zonas con estos problemas, debiéndose poner especial cuidado en la sierra madre occidental, entre los estados de Sinaloa, Durango, Sonora, y Chihuahua en donde con un espesor de grava arena de 50 cm se puede tener la seguridad de que no se tendrán problemas de congelamiento.

## **DRENAJE**

Drenaje artificial.- al conjunto de obras que sirven para captar, conducir y alejar del camino al agua que puede causarle problemas.

El agua de lluvia, al caer sobre la superficie terrestre, tiene varios destinos; puede escurrir superficialmente, infiltrándose al subsuelo o evapotranspirarse.

El agua que escurre superficialmente se va uniendo, forma pequeños escurrideros que posteriormente serán arroyos y finalmente ríos, que puedan llevar sus aguas al mar o a una depresión continental como son los lagos y las lagunas. Al construirse un camino, por lo general se corta el escurrimiento natural, permitiéndose el paso del agua del camino, lo más pronto posible.

El estudio del drenaje, debe iniciarse desde la elección de ruta, para la cual se deberá elegir la zona que provoque menos problemas de escurrimiento. De ser posible, utilizando las pendientes máximas permisibles se tratara de aprovechar los parteaguas en donde el drenaje será mínimo.

Se puede decir que de una buena elección de ruta depende el éxito del proyecto.

## **CONSIDERACIONES HIDROLÓGICAS APLICABLES AL ESTUDIO DEL DRENAJE**

Los factores que afectan el escurrimiento del agua son;

- a) Cantidad y tipo de presentación.
- b) Ritmo de precipitación.
- c) Tamaño de la cuenca.
- d) Declive superficial.
- e) Permeabilidad de rocas y suelos.
- f) Condiciones de saturación.
- g) Cantidad y tipo de vegetación.

Con relación a la cantidad y tipo de precipitación, se debe tener en cuenta la cantidad de agua que cae al año, y si lo hace en forma de aguacero o de lluvia fina durante periodos largos.

El tamaño del área por drenar es importante ya que un aguacero puede abarcar la totalidad de una cuenca pequeña, pero si la cuencas son grandes, la lluvia puede caer sólo en partes de ella e infiltrarse bastante al escurrir sobre la zona no mojada; asimismo, la pendiente de la cuenca es importante, ya que el agua se concentrará más rápidamente a medida que la pendiente es mayor y que la topografía permite causas más directos.

Si la permeabilidad de los suelos y rocas es alta debido a su formación geológica estratigráfica, fracturación, etc., el escurrimiento es menor, ya que una parte importante del agua se infiltrará. En cambio, en suelos con una saturación alta o con una cubierta de pastizales cerrada, el escurrimiento es mayor aunque en el último caso puede ser lento.

## **CLASIFICACIÓN DEL DRENAJE**

El drenaje artificial se clasifica en superficial y subterráneo, según el escurrimiento se realice o no a través de las capas de la corteza terrestre.

Drenaje superficial se clasifica, según la posición que las obras guardan con respecto al eje del camino, en paralelo y transversal.

Drenaje longitudinal es aquel que tiene por objeto captar los escurrimientos para evitar que lleguen al camino o permanezcan en él, de tal manera que no le causen desperfectos; quedan comprendidos en este tipo las cunetas contracunetas, bordillos y canales de encauzamiento, se llaman de drenaje longitudinal por que están situadas más o menos en forma paralela al eje del camino.

El drenaje transversal es el que tiene por objeto dar paso expedito al agua que cruza de un lado a otro del camino, o bien, retirar lo más pronto posible el agua de su corona; quedan comprendidos en este tipo de drenaje los tubos, losas, cajones, bóvedas, lavaderos, vados, sifones invertidos, puentes y el bombeo de la corona, de acuerdo a la dimensión del claro de las obras de drenaje transversal, se ha convenido dividir a éste en mayor o menor. El drenaje mayor es aquel que requiere obras con claro mayor 6m. A las obras de drenaje mayor se les denomina puentes y a las de drenaje menor alcantarillas.

## **DRENAJE LONGITUDINAL**

### **Cunetas**

Son canales que se hacen a los lados de la cama del camino en cortes y tienen como función interceptar el agua que escurre de la corona, del talud del corte y del terreno natural adyacente.

Para conducirla hacia una corriente natural o a una obra transversal para alejarla lo más pronto posible de la zona que ocupa el camino fig. 2-5.

En la transición de las cunetas con las obras de alivio, con frecuencia se hace necesario construir otras auxiliares que pueden ser simples muros interceptores dentro de la sección de las cunetas o bien cajones de entrada con desarenadores que son los más ventajosos y recomendables.

Estas obras tienen una gran importancia en el funcionamiento de los caminos, y se deben tener cuidado en que se construya con la sección completa y que durante la operación no se azolven con arrastres o derrumbes de los taludes adyacentes. Requieren de una conservación constante.

### **Contracunetas**

Son zanjas que se construyen aguas arriba de los cerros de los cortes y tienen como finalidad interceptar el agua que escurre por las laderas y conducirla hacia alguna cañada inmediata o parte baja del terreno (Thalweg), evitando que al escurrir por los taludes las erosiones y que se aumente el caudal de las cunetas (fig 2-6).

El proyecto de la sección de una contracuneta intervienen los factores, la precipitación, el área por drenar, la forma y pendiente de la ladera, la cubierta vegetal y el tipo de suelo.

Su pendiente debe ser uniforme desde el punto de partida hasta su desfogue, para evitar los trastornos que se producen en los cambios de pendiente, como son excavaciones y azolves. Se debe tener cuidado de que esa pendiente uniforme no pase de cierto valor máximo, limitado por la velocidad de socavación en el material de que se trata.

Cuando las ramas de la contracuneta se alejen lo suficiente del camino, se dará salida libre al agua. Es el acta de entrega de un camino a la dependencia que se va hacer cargo de su conservación, se deberá indicar con claridad la localización de las contracunetas y de los bordos, así como la importancia de una conservación adecuada y constante de ellos.

## **CANALES DE ENCAUZAMIENTO**

En terrenos sensiblemente planos, en dónde el escurrimiento es del tipo torrencial y no existen cauces definidos, tal como sucede en algunas regiones del país, es necesario construir canales que intercepten el agua antes que llegue al camino y la conduzcan a sitios elegidos con anticipación para construir una obra y efectuar el cruzamiento.

El material que se extraiga al construir estos canales, si es de la calidad adecuada, puede utilizarse en la construcción de terraplenes, la pendiente del canal deberá proyectarse tomando en cuenta, entre otros factores, el que la descarga se efectúe en el sitio preestablecido y evitar la construcción de canales de salida de gran longitud.

## **BOMBEO**

Consiste en proporcionar a la corona del camino, en las tangentes del trazo horizontal, una pendiente transversal del centro del camino hacia los hombros y su fusión en dar salida expedida al agua que cae sobre la corona y evitar en lo posible que penetre en las terracerías.

En las curvas horizontales se proporciona al camino una sobre-elevación del hombro exterior con respecto al interior con el fin de contrarrestar la fuerza centrífuga.

Dicha sobre-elevación sirve también para dar salida al agua que cae en estas partes del camino, hacia el hombro interior.

El bombeo y la sobre elevación deberán proporcionarse a las terracerías al afinarlas y, posteriormente, en caso de necesitarse, se colocará el revestimiento con espesor uniforme.

## **VADOS**

Son estructuras superficiales del camino en el cruce con un escurrimiento de agua efímera o permanente de tirante pequeño.

Su configuración debe acercarse lo más posible a la del terreno natural para no alterar, si no en escala mínima el régimen hidráulico y para la protección del vado mismo; en consecuencia, la elección de este tipo de obra es, en general, cuando se tienen cauces amplios y la rasante del camino es baja.

## **PROYECTO ESTRUCTURAL.**

En cauces de corriente permanente, la construcción en seco, del vado, puede lograrse mediante canalizaciones o bordos provisionales para aislar del agua la zona de trabajo. En caminos rurales, el vado sustituye numerosas veces al puente mediano o chico y a la alcantarilla de grandes dimensiones.

## **ALCANTARILLAS**

Son estructuras de forma diversa que tienen la función de conducir y desalojar lo más rápidamente posible el agua de las hondonadas y partes bajas del terreno (Thalwegs) que atraviesan el camino. Y se pueden clasificar como tubos, bóvedas, losas sobre estribos y cajones. Están siempre alojados sobre el cuerpo de la Terracería.

CONCEPTO	UNIDAD	TIPO DE CARRETERA																								
		E		D		C		B		A																
TOPA EN EL HORIZONTE DE PROYECTO	m/da	HASTA 100		100 a 300		300 a 1500		1500 a 3000		MAS DE 3000																
TIPO DE TERRENO	MONTAÑO LOMERO PLANO																									
VELOCIDAD DE PROYECTO	km/h	30	40	50	60	70	30	40	50	60	70	40	50	60	70	80	90	100	110	60	70	80	90	100	110	
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA	m	30	40	53	73	93	30	40	53	73	93	40	53	73	93	113	133	153	173	73	93	113	133	153	173	
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE REBASE	m	-	-	-	-	-	153	180	223	270	313	180	223	270	313	380	463	550	633	270	313	360	423	490	553	
GRADO MAXIMO DE CURVATURA	o	60	30	17	11	7.5	60	30	17	11	7.5	30	17	11	7.5	33	4	23	23	17	11	7.5	33	4	23	23
CURVAS	K	CRESTA	m / %																							
		COLUMPIO	m / %																							
VERTICALES	LONGITUD MINIMA	m																								
PENDIENTE GOBERNADORA	%	9		7		6		6		5		5		4		4		3		3		3		3		
PENDIENTE MAXIMA	%	13		10		7		12		9		8		7		7		6		6		5		5		
ANCHO DE CALZADA	m	40		40		60		60		60		70		70		70		70		70		70		70		
ANCHO DE CORONA	m	40		40		60		60		60		70		70		70		70		70		70		70		
ANCHO DE ACOTAMENTOS	m	-		-		-		-		0.3		0.3		1.0		1.0		1.0		1.0		1.0		1.0		
ANCHO DE FAJA SEPARADORA CENTRAL	m	-		-		-		-		-		-		-		-		-		-		-		-		
BOMBEO	%	3		3		5		5		2		2		2		2		2		2		2		2		
SOBREELEVACION MAXIMA	%	0		0		10		10		0		0		10		10		10		10		10		10		

Fig. 2-1 Cuadro que muestra las especificaciones geométricas para caminos. La clasificación está con base en el tránsito diario promedio anual (TDPA) futura.

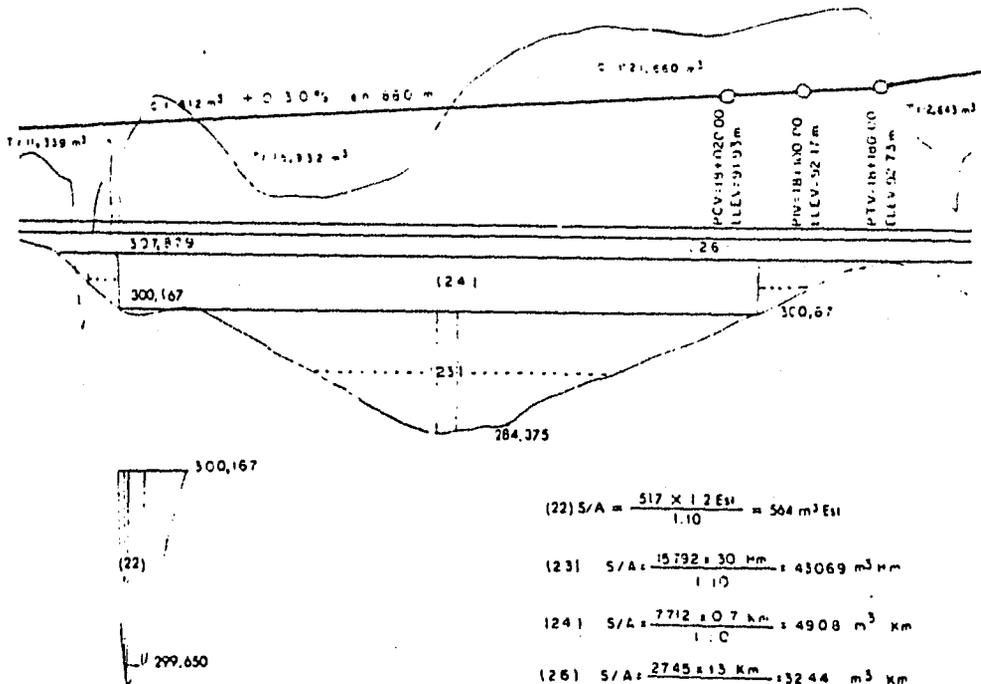


Fig. 2-2. Estudio de curvamasa para el proyecto económica de una obra vial.

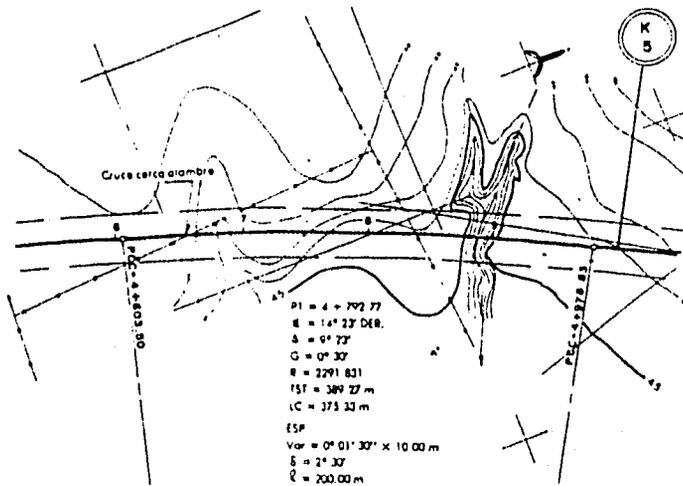


Fig. 2-3 Planta definitiva de un camino en donde se muestran datos del proyecto geométrico horizontales, necesarias para construir la obra.

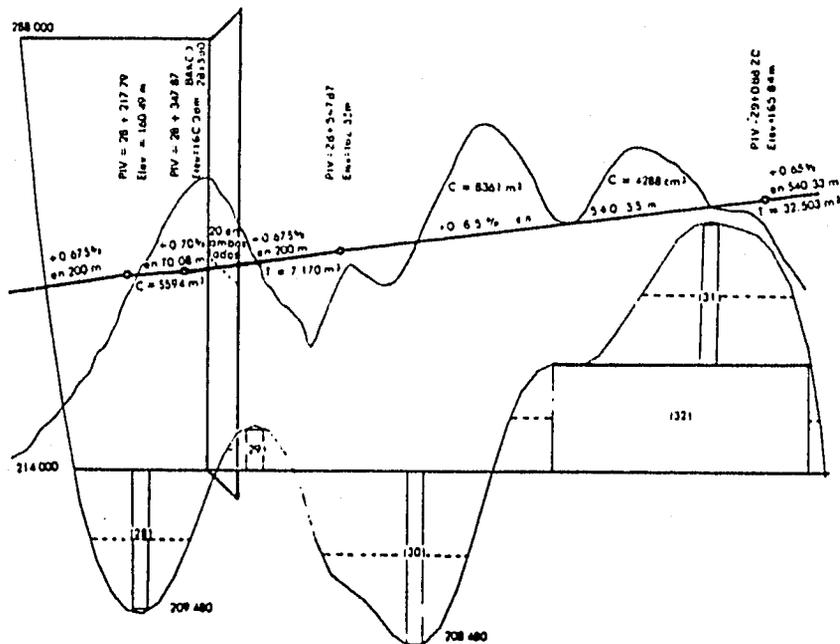


Fig. 2-4 Perfil definitiva de un camino mostrando la curvatura y los movimientos de tierra económicos, así como los datos de elevación del terreno natural y de la subrasante aceptada.



Fig. 2.5 Fotografía en que se observan las cunetas de un camino.



Fig. 2.6 Fotografía que muestra la contracuneta sin proteger de un camino.

## **CAPITULO III**

### **CONSIDERACIONES TEORICAS RELATIVAS A LA DISTRIBUCION DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RIGIDOS**

Los principales problemas que el ingeniero debe resolver para proyectar en forma adecuada los pavimentos, son los mismos a los cuales se enfrenta la mecánica de suelos; resistencia y deformación. Por ello es necesario conocer la distribución de los esfuerzos en la estructura de una obra vial originados por las cargas impuestas por el tránsito sobre la superficie de rodamiento, ya sea una calle, un aeropuerto, una carretera, etc.

Los pavimentos se diferencian y definen en terminos de los materiales de que estan constituidos y de como se estructuran esos materiales y no por la forma en como se distribuyen los esfuerzos y las deformaciones producidos por los vehiculos a las capas inferiores.

Pavimentos flexibles son aquellos cuyo elemento fundamental resistente sea una losa de concreto asfaltico.

Características fundamentales de un pavimento flexible:

1. Resistencia estructural
2. La deformabilidad
3. La durabilidad
4. Costo
5. Comodidad

## **1. RESISTENCIA ESTRUCTURAL**

La primera condición que debe cumplir un pavimento es soportar las cargas impuestas por el tránsito producen esfuerzos normales y cortantes en todo el punto de la estructura. En el estudio de los pavimentos flexibles debe considerarse a los esfuerzos cortantes como la principal causa de falla desde el punto de vista estructural.

La teoría o método para el análisis de la resistencia además de los esfuerzos cortantes actúan en los pavimentos esfuerzos adicionales producidos por la aceleración y el frenaje de los vehículos y esfuerzos de tensión que se desarrollan en los niveles superiores de la estructura.

## **2. DEFORMABILIDAD**

Dada la naturaleza de los materiales que forman las capas de los pavimentos, la deformabilidad suele crecer mucho hacia abajo y la terracería es mucho más deformable que el pavimento y dentro de este, la subrasante capa inferior es mucho más deformable que las capas superiores.

En los pavimentos las deformaciones interesan, como es usual en la ingeniería, porque las deformaciones excesivas están asociadas a estados de fallas.

Las cargas del tránsito producen en el pavimento deformaciones de varias clases, como son las elásticas que son de recuperación instantánea y las plásticas que tienen a hacerse acumulativa y puede llegar a alcanzar valores inadmisibles.

La deformabilidad parece ser el requisito básico para la aceptación o rechazo de un material de terracería y también el que condiciona su buen comportamiento como soporte de un buen pavimento.

Los materiales en que predominan los fragmentos grandes y medianos son deformables estructuralmente hablando por las dificultades constructivas que suele tenerse para darles el necesario acomodo que hacen que en muchas ocasiones se cometan grandes descuidos durante la construcción que tienen muy desfavorables repercusiones más graves más alto sea el terraplén.

Ya que un mismo suelo puede tener comportamientos muy diversos según sea las condiciones de clima, drenaje y subdrenaje, geometría del terraplén donde se coloque la topografía, etc.

### **3. DURABILIDAD**

La durabilidad de un pavimento flexible es difícil de definir ya que este está ligado a una serie de factores los cuales no son estándar para todos los caminos de ahí su imposibilidad de definir la durabilidad de un pavimento flexible.

### **4. COSTO**

Como primer razonamiento se debe pensar en elegir el tipo de pavimento a emplear en cada caso los pavimentos flexibles o rígidos son ventajosos o inconvenientes según los casos, hablando comparativamente, en general el pavimento flexible, requieren menor inversión inicial pero una conservación más costosa.

Los pavimentos rígidos demandan poco gasto de conservación y se deterioran poco pero su costo de construcción es alto y están circunscritos a la disponibilidad de los materiales necesarios y aun equipo de construcción especializado.

## 5. COMODIDAD

### PAVIMENTOS FLEXIBLES.

No hay problema ya que las juntas quedan perfectamente hechas por lo que su condición de rugosidad es muy buena.

### PAVIMENTOS RIGIDOS.

Resonancia debido a las juntas entre losas de concreto, que el cerebro las percibe y puede llegar a causar efectos en sus reflejos del individuo por lo que, para pavimentos rígidos se toman medidas severas en las condiciones de rugosidad.

### PAVIMENTOS RIGIDOS

Un pavimento rígido tiene como elemento estructural fundamental una losa de concreto hidráulico. Esta se apoya sobre una capa de material seleccionado, a la que se le da el nombre de sub-base; cuando la subrasante del pavimento tenga una calidad suficientemente buena, la losa de concreto puede colocarse directamente sobre ella, prescindiéndose así de una sub-base especial. Se trata de que la losa de concreto tenga un apoyo suficientemente uniforme y estable, como para garantizar que no quede localmente falta de soporte. Los concretos que se utilicen en la losa suele ser de resistencia relativamente alta, generalmente comprendida entre 200 y 400 kg/cm<sup>2</sup>. Las losas pueden ser de concreto simple, reforzado o pre-esforzado.

Cuando se utiliza concreto simple o reforzado, el tamaño de las losas es similar, tendiendo generalmente a ser cuadros con 3 a 5 mts. de lado, pero en la actualidad existe una tendencia a aumentar su área, el concreto presforzado permite la utilización de superficies continuas de área muy superior: este hecho, unido a los considerables ahorros de espesor que es posible lograr en este caso induce una tendencia en favor del uso cada vez más frecuentes del concreto pre-esforzado.

Los factores que afectan al espesor de la losa son principalmente el nivel de carga que han de soportar, las presiones de inflado de las llantas de los vehículos, el módulo de reacción del suelo de apoyo y las propiedades mecánicas del concreto que en ellas se utilice, la calidad del suelo influye en el diseño de la losa de concreto.

Los principales esfuerzos a que están sometidos los pavimentos rígidos son.

- a) Esfuerzos debidos al tránsito.
- b) Esfuerzos debidos a temperatura.
- c) Esfuerzos debidos al apoyo.

- a) Esfuerzos debidos al tránsito.

Se han estudiado 3 posiciones de las llantas

- 1) Cuando la huella de una de ellas es tangente en forma simultanea a 2 orillas. fig. 3-1.
- 2) La otra posición a cuando la huella de la llanta es tangente solo a una orilla de la losa, en este caso el esfuerzo principal de tensión es paralelo a la orilla y se presenta en la parte inferior. fig. 3-2.
- 3) Por último, cuando la llanta esta en el centro de ellas. En esta posición, los esfuerzos máximos de tensión se desarrollan en el lecho inferior de la losa y en forma radial. fig. 3-3.

- b) Esfuerzos debidos a temperatura.

Cuando el cambio de temperatura es igual en la parte superior o inferior de la losa, se presentan los fenomenos de dilatación y contracción, pero si se encuentran en forma simultánea a diferentes temperaturas, se tiene un gradiente que hacen que se presenten alabeos.

Si la temperatura de la superficie es menor que en la parte inferior, el alabeo es arriba o sea que la superficie de rodamiento se torna cóncava en caso contrario el alabeo es hacia abajo o sea la superficie de rodamiento es convexa. fig. 3-4.

c) Esfuerzos debidos al apoyo.

Pueden ser por fricción que se desarrolla entre la losa y la sub-base y se presentan por disminuirse la libertad de movimientos de la losa, teniéndose esfuerzos de tensión.

También se pueden desarrollar esfuerzos en la losa cuando se tienen expansiones diferentes en las capas de apoyo, lo más conveniente es evitar estos esfuerzos utilizando materiales de baja plasticidad y lo mas homogéneos posibles: el peso de la losa y de la sub-base tambien ayudan a que se tengan menores expansiones de las terracerías.

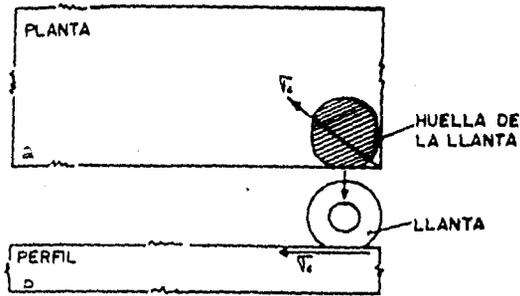


Fig. 3-1 Esfuerzos de tensión que se presentan en pavimentos rígidos en el caso que la huella de una llanta sea tangente a dos orillas de una losa, (a) planta, (b) sección (esfuerzos de esquina).

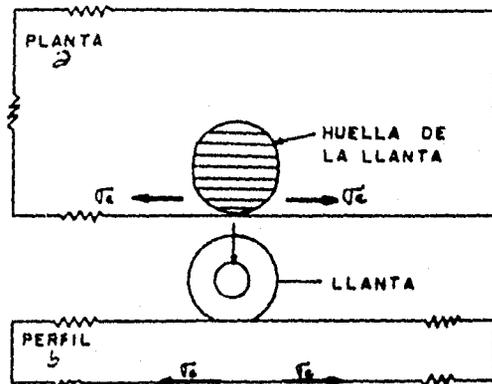


Fig. 3-2 Esfuerzos de tensión que se presentan en pavimentos rígidos en el caso que la huella de una llanta sea tangente a una sola orilla de la losa (esfuerzos de orilla), (a) planta, (b) sección.

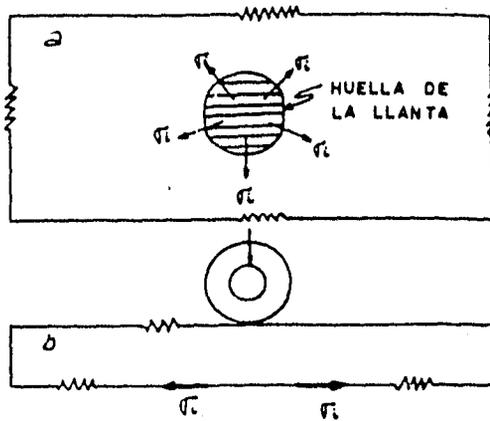


Fig. 3-3 Esfuerzos de tensión que se presentan en un pavimento rígido, en el caso que la huella esté hacia el centro de la losa (esfuerzos interiores), (a) planta, (b) sección.

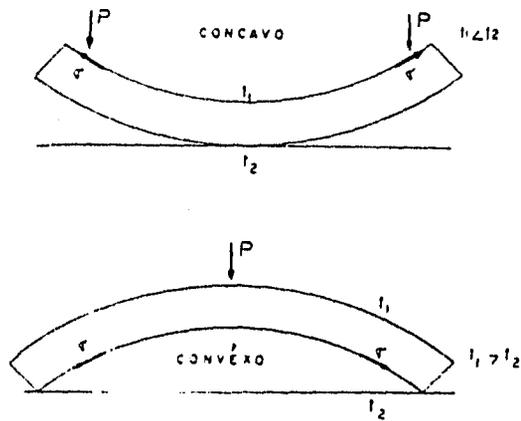


Fig. 3-4 Diferentes tipos de alabea en losas de concreto hidráulico de pavimentos rígidos debidos a la diferencia de temperatura en la parte superior y en la inferior.

## **CAPITULO IV**

### **ESTRUCTURACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS**

#### **Pavimentos**

Se define como pavimento al conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten adecuadamente distribuidas a las capas inferiores proporcionan la superficie de rodamiento en donde se debe tener una operación "rápida" y "cómoda".

#### **Secciones transversales típicas de las vías terrestres**

Las secciones transversales típicas de las vías terrestres son tres: en terraplén fig. 4-1, en corte fig. 4-2, y en balcón o mixto fig. 4-3.

### **ESTRUCTURACIÓN PAVIMENTOS FLEXIBLES**

#### **PAVIMENTOS FLEXIBLES**

**Pavimentos Flexibles.-** La superficie de rodamiento es proporcionada por una carpeta asfáltica y la distribución de las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores, se hace por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores, sin que se rompa su estructura.

Las capas que forman a un pavimento flexible son: Carpeta Asfáltica, Base y Sub-base, las cuales se construyen sobre la capa subrasante (fig. 4-4).

Bajo una carpeta bituminosa, formada típicamente por una mezcla de agregado pétreo y un aglutinante asfáltico, que constituye la superficie de rodamiento propiamente dicha, se disponen casi siempre por lo menos dos capas bien diferenciadas: una base de material granular y una sub-base, formada preferentemente, también por un suelo granular, aunque el requisito obligue menos que en la base, en el sentido de poderse admitir suelos de menor calidad, con mayor contenido de finos y menor exigencia en lo que se refiere a la granulometría, la razón es obviamente, el mayor alejamiento de la sub-base de la superficie de rodamiento, por el que llegan esfuerzos de menor intensidad.

Bajo la sub-base se dispone casi universalmente en el momento presente otra capa, denominada subrasante, todavía con menores requisitos de calidad mínima que la sub-base, por la misma razón, pero cuyo fundamental papel mecánico y económico se discute cada vez menos. Bajo la subrasante aparece el material convencional de la terracería, tratado mecánicamente en la actualidad casi sin excepción, por lo menos en lo referente a compactación.

## ESTRUCTURACIÓN PAVIMENTOS RÍGIDOS

### PAVIMENTO RÍGIDO

**Pavimentos Rígidos.-** La superficie de rodamiento de un pavimento rígido es proporcionada por losas de concreto hidráulico que distribuyen las cargas de los vehículos, hacia las capas inferiores, por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes que trabajan en forma conjunta con la que recibe directamente las cargas. Este tipo de pavimento no puede plegarse a deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural; aunque en teoría las losas de concreto hidráulico pudieran colocarse en forma directa sobre la subrasante, es necesario la construcción de una capa de sub-base para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento al paso de los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla en la losa; si falla las partes bajas de las capas falla la estructura.

La sección transversal de un pavimento rígido está formada por la losa de concreto hidráulico y la sub-base que se construyen sobre la capa subrasante (fig. 4-5).

Antiguamente, la losa se construía sobre las terracerías sin importar la calidad que tuvieran; esto dio lugar a que un gran número de pavimentos fallaran al aparecer grietas transversales o longitudes cercanas a las orillas; al investigar el fenómeno se encontró que la causa de ellas había sido lo que se ha dado por llamar "*fenómeno de bombeo*", que consiste en el ascenso de materiales finos y húmedos hacia la superficie de rodamiento a través de las juntas, en virtud de la deformación y recuperación de las losas en las orillas, al paso de los vehículos.

A partir de este estudio, se especificó que la losa debía colocarse sobre un material granular, que cuando menos cumpliera las normas para sub-base de pavimento; el espesor de la losa se puede disminuir, sobre todo si la sub-base se estabiliza con cemento portland.

Los concretos que se utilizan en la losa suelen ser de resistencia relativamente alta, generalmente comprendida entre 200 kg/cm<sup>2</sup> y 400 kg/cm<sup>2</sup>. Las losas pueden ser de concreto simple, reforzado o presforzado.

Cuando se utiliza concreto simple o reforzado, el tamaño de las losas es similar, teniendo generalmente a ser cuadradas con 3 a 5 m de lado, pero en la actualidad existe una tendencia a aumentar su área, el concreto presforzado permite la utilización de superficies continuas de área muy superior; se usa más frecuentemente ya que se ahorra en el espesor y es más económico.

Los factores que afectan al espesor de la losa son principalmente el nivel de carga que han de soportar, las presiones de inflado de las llantas de los vehículos, el módulo de reacción del suelo de apoyo y las propiedades mecánicas del concreto que en ellas se utilice.

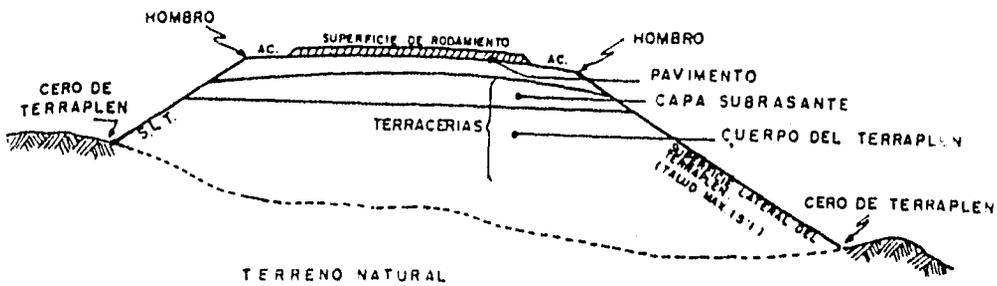


Fig. 4-1 Sección transversal típica en terrapién para carreteras de dos carriles

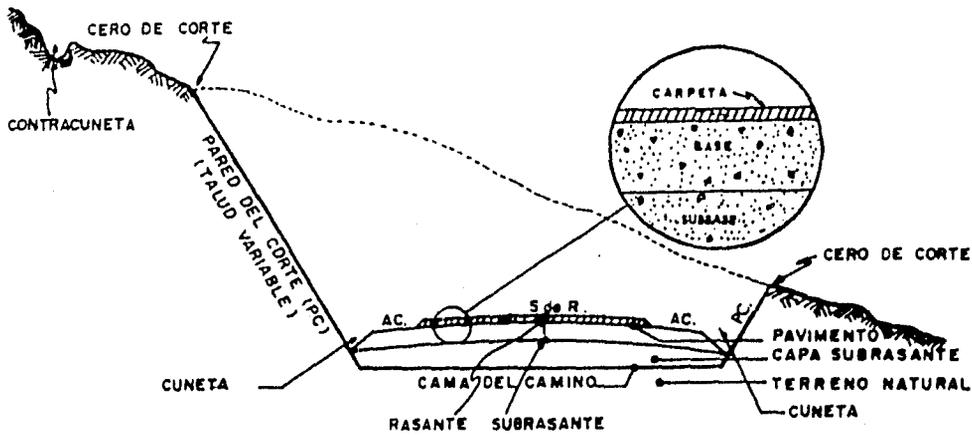


Fig. 4-2 Sección transversal típica en corte, para carreteras de dos carriles; se muestra un detalle de pavimento flexible.

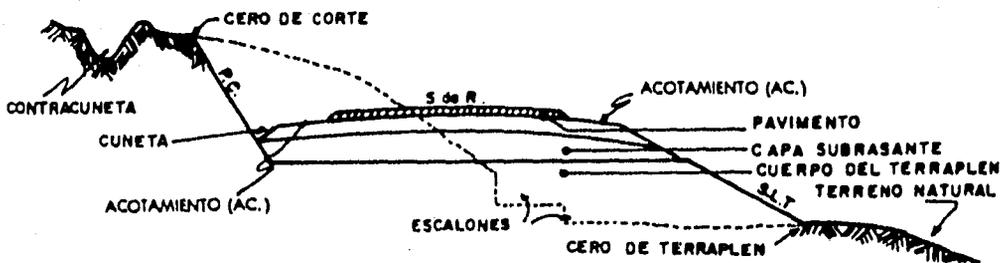


Fig. 4-3 Sección transversal típica mixta o en balcón, para caminos de dos carriles.

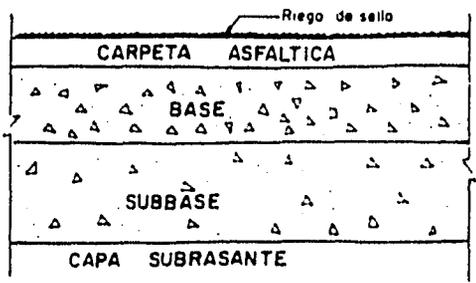


Fig. 4-4 Capas que forman en general un pavimento flexible.

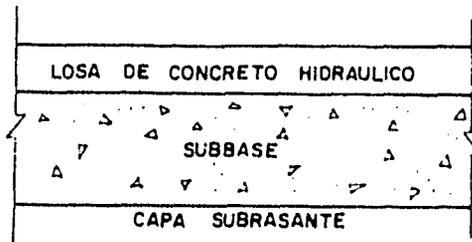


Fig. 4-5 Capas que forman un pavimento rigido.

## CAPITULO V

### CAPA SUBRASANTE

#### SUBRASANTE

Con relación a los materiales que deben formar la capa subrasante se puede decir que con excepción a las turbas y otros suelos altamente orgánicos en estado de descomposición, los demás son aptos como subrasante siempre y cuando se le compacte en forma correcta. La compactación de las terracerías, cuyo nivel superior se denomina subrasante, es de primordial importancia ya que cuando un suelo está bien compactado aumenta generalmente su VRS y se hace más estable ya que reduciéndose el volumen de vacíos se reduce, también la capacidad del suelo a absorber agua.

Sin embargo, es necesario que el grado de compactación que debe escogerse para la subrasante sea bien estudiado pues no pocos suelos con un alto porcentaje de compactación bajan ese porcentaje con el tiempo aunque parezca raro.

La resistencia de los materiales que forman a 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 entre el pavimento y la terracería, para soportar los esfuerzos transmitidos y transmitir a su vez, esfuerzos a la terracería a niveles convenientes.

Una subrasante resistente será capaz de tolerar niveles de esfuerzo relativamente altos, podrán usarse sobre ella espesores reducidos sin comprometer la estabilidad general, lo que conducirá a importantes ahorros en la inversión, ya que, debe repetirse, los costos de las diferentes capas de un pavimento flexible crecen en general según estas estén más cerca de la superficie, con respecto a la deformación, dada la naturaleza de los materiales que forman las capas del pavimento, la deformabilidad suele crecer mucho hacia abajo y la terracería es mucho más deformable que el pavimento y la capa subrasante, capa inferior, es mucho más deformable que las capas superiores.

Pocas reglas generales pueden darse respecto al espesor que convenga dar a la capa subrasante como quiera que se construya. La Secretaría de Obras Públicas de México ha establecido para sus carreteras la cifra mínima de 30 cm y llega a 50 cm en caminos de alto tránsito o en lugares en donde el material de terracería no sea de confiar; la misma cifra de 50 cm se utiliza sistemáticamente en aeropistas y en estas aun pueden aumentarse, como es el caso, por ejemplo, del aeropuerto de la Ciudad de México.

La Secretaría de Obras Públicas establece también en carreteras que el material de subrasante no debe de tener partículas mayores de 7.6 cm (3"): elimina los suelos finos (MH, CH) cuyo límite líquido sea mayor de 100% y todos los suelos orgánicos con límite líquido mayor de 50% (OH). Especifica grados de compactación mínimos de 95% respecto a los estándares en uso en la institución, y exige un valor relativo de soporte mínimo de 5% con el material en condición saturada en aeropistas, se pide un grado de compactación de 100% y se prohíbe en términos generales el uso de cualquier material MH, CH, u OH. Para la construcción de la capa subrasante en general, se utilizan materiales de banco que aunque tengan las características adecuadas para las funciones que vayan a tener en la estructura vial.

Si el material que se extraiga de los cortes, cumple con estas características, pueden utilizarlo tanto en ellos (escarificando, conformando y compactando) como en los terraplenes contiguos, para construir esta capa subrasante.

### **Capas de pavimento**

Los materiales para la construcción de las capas del pavimento siempre provienen de banco, pudiéndose utilizar aglomerados de arroyos y depósitos o conglomerados suaves o duros y rocas.

### **Características de la capa subrasante**

En cuanto a la capa subrasante, ésta apareció oficialmente en las especificaciones mexicanas en 1957, y sus características mínimas deben ser:

- Espesor de la capa 30 cm mínimo
- Tamaño máximo 7.5 cm. (3 ")

- Grado de compactación 95% del PVSM.
- Valor relativo de soporte: 15% mínimo
- Expansión máxima 5%

Estos dos últimos valores se deben obtener por medio de la prueba de porter estandar. Hasta la fecha, las especificaciones marcan para las dos últimas características valores de 5% mínimo y 5% máximo, respectivamente, pero los proyectistas están exigiendo los marcados con anterioridad; sin embargo, estas características deben adecuarse a la función que tendrá esta capa en la obra.

#### **Funciones de la capa subrasante**

- 1.- Recibir y resistir las cargas del tránsito, que le son transmitidas por el pavimento.
- 2.- Transmitir y distribuir adecuadamente las cargas del tránsito al cuerpo del terraplén. Estas dos funciones son de tipo estructural, y son comunes a todas las capas de las secciones transversales de una vía terrestre.
- 3.- Evitar que cuando el cuerpo del terraplén esté formado de materiales finos plásticos, estos contaminen el pavimento. El tamaño de las partículas deberá estar entre las finas correspondientes al cuerpo del terraplén y las granulares del pavimento.
- 4.- Evitar que el pavimento sea absorbido por las terracerías cuando estas esten formadas principalmente por fragmentos de roca (pedraplenes).  
En este caso, la granulometría del material debe ser intermedia entre los fragmentos de roca del cuerpo del terraplén y los granulares del pavimento (base o sub-base).
- 5.- Evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes se reflejen en la superficie de rodamiento.
- 6.- Uniformar los espesores de pavimento, principalmente cuando se tiene mucha variación de los materiales de terracería a lo largo del camino.

- 7.- Economizar espesores de pavimento, en especial cuando los materiales de las terracerías requieren un espesor grande.

### **Proyecto geométrico de la subrasante**

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

El proyecto geométrico de la subrasante económica debe tomar en cuenta lo siguiente:

- a) Las especificaciones de la pendiente longitudinal de la obra
- b) debe tener la suficiente altura, para dar cabida a las obras de drenaje
- c) debe tener la suficiente altura, para que el agua capilar no afecte el pavimento
- d) debe provocar los acarreo más económicos posibles por lo tanto, los elementos que la definen son de carácter topográfico, geométrico y de costos.

### **Construcción de la capa subrasante**

La compactación se debe de realizar utilizando el equipo más adecuado a sus características, de tratamiento de materiales en forma general, se contruye mediante 2 capas de 15 cm de espesor mínimo.

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

A veces, se tiene que el material de los cortes es adecuado para utilizarse en la capa subrasante, por lo que este no debe acarrear de prestamos de banco, sino que se utiliza el mismo material y para que no se tengan salientes en la capa de corte y que la compactación sea constante, se escarifican 15 cm del material, se humedece en forma homogénea, se extiende dando el bombeo o sobre-elevación de proyecto y se compacta a 95 % de su PVSM.

## **CAPITULO VI**

### **BASES Y SUB-BASES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES**

#### **CAPAS DE LOS PAVIMENTOS**

En Caminos y Aeropuertos, sobre la capa subrasante se construye el pavimento que en el tipo flexible esta constituido por sub-base, base y carpeta aunque la sub-base en ocasiones no se requiere los de tipo rígido están formados por una sub-base y la losa de concreto hidráulico.

#### **FUNCIONES DE LA BASE Y SUB-BASE**

Las sub-bases y las bases tiene finalidades y características semejantes sin embargo las primeras pueden ser de menor calidad.

#### **Las funciones de estas capas:**

- a) Recibir y resistir las cargas del tránsito a través de la capa que constituye la superficie de rodamiento (Carpeta asfáltica o losa).
- b) Transmitir adecuadamente distribuidas, estas cargas a las terracerías.
- c) Impedir que la humedad de las terracerías ascienda por capilaridad.
- d) En caso de que haya alguna introducción de agua por la parte superior, permitir que ésta descienda hasta la capa subrasante en la que por el efecto de bombeo, sobre elevación, sea desalojada hacia el exterior

## **CARACTERÍSTICAS DE BASES Y SUB-BASES**

En cuanto a la resistencia (VRS de la Porter standar), Plasticidad (Contracción lineal) y Valor Cementante, estas características se deben cumplir en forma simultánea (fig. 6-1 y 6-2).

### **Bases Cementadas**

Si los materiales que se van a utilizar para sub-base y bases en caminos con menos de 3000 vehículos diarios no tienen suficiente valor cementante, pueden estabilizarse mecánicamente mezclandoles materiales de baja plasticidad, o sea materiales con un límite líquido menor al 18 % o contracción lineal menor 6.5 %.

Debe tenerse especial cuidado en que al cementarse un material en la forma indicada, no disminuya su resistencia ni aumente la plasticidad más allá de que marcan las normas.

### **Bases mejoradas con Cemento Portland, Cal o Asfalto**

Las bases sobre las cuales se construye una carpeta de concreto asfáltico, deben tener un módulo de elasticidad semejantes al de esta última, por lo que conviene estabilizarla, mezclandoles cal hidratada o cemento portland, pues de lo contrario con pequeñas deformaciones de la base la carpeta se puede agrietar en forma prematura. También se pueden construir bases asfálticas (tamaño máximo hasta de 5 cm). Si se usa cemento portland para aumentar el módulo de elasticidad de los materiales de base, se pueden utilizar los procedimientos de suelo mejorado o de suelo cementado; con el segundo se alcanza una resistencia mayor; sin embargo, es posible que aparezcan agrietamientos semejantes a los de concreto hidráulico, formando cuadros de 5 a 7 m por lado que se reflejan en el concreto asfáltico, lo cual no es así una falla; en este caso, el riego de sello se dará después que se presente este agrietamiento con lo que se obtiene un buen calafateo, además de las características propias de este tratamiento como lo son; proporcionar diferente adherencia con las llantas de los vehículos y servir como superficie de desgaste. Cuando se utiliza el procedimiento de suelo mejorado se tiene menos problemas, aunque la resistencia de la base es menor que en el caso anterior, lo que debe tomarse en cuenta en la estructuración del pavimento, si es que los espesores de proyecto se corrigen en relación con la calidad de los materiales que se usen.

Con la misma finalidad, de tener una base con características semejantes a las del concreto asfáltico es posible construir bases "negras" o asfálticas que pueden producirse en plantas en "frío". (Utilizando FR3 o emulsiones) o lo que es menos común y recomendable, en "caliente" (con cemento asfáltico), en estas bases se usan materiales pétreos hasta de 4 cm (1.5") o 5 cm (2") de tamaño máximo y con 40% menos asfalto que el utilizado para carpetas.

### **Procedimientos de Construcción para las Bases y Sub-Bases**

Los procedimientos de construcción para las bases y las sub-bases, incluyendo las etapas de muestreo y pruebas preliminares, son como sigue:

- a) **Exploración:** Se requiere efectuar una exploración completa de la zona en que se construirá la obra vial, a fin de encontrar posibles bancos para pavimentación. Para este fin es muy útil poder hacer uso de las fotografías aéreas, los reconocimientos de tipo terrestre, ya sea que se realicen a pie, en vehículo o a lomo de bestias.

Los materiales que se pueden utilizar para la construcción de bases o sub-bases de pavimento varían desde gravas arenas de río o depósitos (aglomerados) ó materiales ligera o fuertemente cementados (conglomerados) o roca masiva. Existen materiales que aunque son finos, como el "sascab" de la península de Yucatán, de origen calcáreo, que cuando son de baja plasticidad, se comportan muy bien en estas capas; en cambio en otros materiales que a simple vista parecen resistentes pueden comportarse mal en las bases, como son los materiales puniticos que por un lado son fácilmente deleznable y al desmoronarse producen cambios volumétricos de las capas, y por otro lado, son de tipo resistente, es decir, que presentan rebote, o sea que bajo las cargas reducen su volumen en forma inportante, pero al cesar la carga lo recobran; materiales como éstos son los "jales" que existen alrededor de Guadalajara, Jal. la piedra "pómez" o el "Tezontle" tan abundante en la zona del eje volcánico, desde Colima hasta Veracruz. Estos pueden utilizarse en sub-bases o terracerías, si están empacadas en materiales finos, como tepetates de plasticidad aceptable. Hay otros que son muy duros de extraerse, pero que se intemperizan con facilidad, como las lutitas, las pizarras el "choy" que no deben usarse en bases o sub-bases a menos que se utilicen en zonas francamente áridas.

- b) **Muestreo, pruebas de laboratorio.** Elección de bancos. Una vez que se han localizado probables bancos, se realizan sondeos preliminares, para tener idea de la calidad de los materiales, y si los resultados son positivos, se realizan sondeos definitivos en mayor número que los anteriores, para conocer la extensión del banco y la variabilidad del material. Los sondeos pueden ser a cielo abierto, cuya profundidad varía de 2 a 4 m en materiales poco o nada cementados, para materiales con regular cementación y rocas, se realizan perforaciones con máquina rotatoria.

Realizados los sondeos, se efectúan los muestreos, que pueden ser en forma estratificada o integrales cuando se toman de los sondeos a cielo abierto o de frentes de ataque de bancos antiguos. De las máquinas rotatorias se toman como muestras los trozos de materiales que se recuperan en los tubos utilizados. A los materiales muestreados se realizan las pruebas necesarias y de acuerdo a los resultados y a la localización se hace la elección definitiva de bancos.

- c) **Extracción y acarreo de materiales.** Para realizar la extracción de los materiales, se debe tomar en cuenta, que aquéllos que se encuentran en forma masiva se deben obtener con tamaños accesibles, que en obras viales son del orden de 75 cm como máximo. Para ello, en primer lugar se barrena la roca, se coloca dinamita y algún otro producto de nitrógeno que disminuya el costo, se colocan los estopines y se lleva a cabo la explosión. De acuerdo a la cantidad de explosivos que se colocan en los barrenos, a la posición en que se encuentran éstos, y a la dureza de la roca, será el tamaño máximo de los fragmentos que se producen.

Una vez que se aflojó el material, ya sea producto de roca o de depósitos de aglomerados, se cargan a los vehículos de transporte por medio de diferentes máquinas que se usan de acuerdo a la dificultad que se presenta por el tamaño máximo de los fragmentos; así, se puede realizar la carga por medio de palas mecánicas. El equipo de transporte deberá ser más reforzado a medida que los tamaños de los fragmentos de roca sean mayores.

- d) **Tratamientos previos.** En seguida se efectúan los tratamientos previos, o sea los que se llevan a cabo antes de llegar a la obra: estos tratamientos pueden ser de cribado o de trituración; en la mayoría de los casos en que se necesita alguna estabilización, principalmente de tipo químico, también se realiza como tratamiento previo, y en todos estos casos se tienen plantas para realizar con eficiencia los trabajos necesarios.
- e) **Acarreo a la obra.** Los materiales tratados previamente, o los que pueden llevarse en forma directa del banco, se acarrean a la obra, en donde se acamellonan, es decir, se hace un acordonamiento de sección constante para medir su volumen, y en caso de que haya faltante, se deben realizar los recargues necesarios. Para acamellonar los materiales se utilizan motoconformadoras.
- f) **Tratamientos en la obra.** En seguida, a los materialistas que lo necesitan, se les efectúan los tratamientos en el tramo, que en general son estabilizaciones mecánicas aunque en ocasiones también son de tipo químico. Para utilizar estos tratamientos, con el material que constituye el mayor volumen, una vez acamellonado y medido, se forma una capa en parte de la corona de la obra y sobre ella se coloca el material que se le va a mezclar en forma acordonada; si es necesario, se disgrega para luego mezclarlo con motoconformadoras hasta homogeneizarlos, después de lo cual, conviene volver a acamellonarlos para comprobar el volumen, la suma de los volúmenes de materiales separados es mayor que cuando ya están unidos. Para realizar la revoltura en la obra, también se pueden utilizar mezcladoras mecánicas, que para realizar su trabajo requieren que los materiales ya estén debidamente disgregados.
- g) **Compactación.** En seguida se efectúa la compactación del material, para lo cual se requiere humedecerlo con una cantidad de agua cercana a la óptima; esta humedad óptima de campo, en general es menor que la del laboratorio, porque las máquinas que se utilizan son de gran peso, aunque se debe compensar el agua que se evapora mientras que se hacen los tratamientos, el agua no se riega de una sola vez, sino que se distribuye en varias pasadas de la pipa, que es el nombre del vehículo formado por un tractor y un tanque, con el que se humedece el material.

El material acamellonado se abre parcialmente hacia la corona de la obra y pasa la pipa haciendo un primer riego, luego, la motoconformadora abre una nueva cantidad de material y la coloca sobre el ya humedecido, vuelve a pasar la pipa y así en seguida, hasta que se proporciona toda el agua necesaria; en seguida se homogeniza la humedad en todo el material por medio de la motoconformadora, que hace cambios sucesivos del material hacia un lado y otro, sobre la corona de obra.

Ya que se consiguió uniformar la humedad en todo el material se distribuye a través de la corona, para formar la capa con el espesor suelto necesario. Se debe cuidar que el material no se segregue, es decir, que no se separen los finos de los gruesos; para ello es conveniente que el material húmedo se coloque en el centro de la corona y se vaya distribuyendo hacia los lados por medio de la o las motoconformadoras que operan a una velocidad moderada, más bien baja.

Una vez que se tiene extendido el material, se compacta hasta alcanzar el grado de proyecto, que en general es de 95 % del PVSM, aunque a últimas fechas se ha estado pidiendo el 100 % a este respecto cabe mencionar que para pasar del 95 al 100 % de compactación, se requiere de un gran esfuerzo o energía, que se traduce en un mayor costo; sin embargo, el aumento de resistencia es relativamente bajo, en este caso valdría más la pena agregar un poco de cal o cemento portland con lo que si aumentaría la resistencia de una forma considerable.

La compactación de este material se realiza con máquinas de rodillos sin salientes, ya sea metálicos lisos o cajas con neumáticos; el peso de estos equipos puede variar entre 15 y 25 ton, si se cuenta con ellos con una unidad vibratoria, la eficiencia para obtener la compactación es mayor.

Para darle una sustentación adecuada a las carpetas asfálticas delgadas, conviene que la base tenga un valor cementante de acuerdo a las especificaciones; esta cementación, si el material natural no lo tiene, se le debe proporcionar mezclándole algún otro de baja plasticidad como limo, caliches, tobas, tepetates silicosos o arenas arcillosas, cuyo índice plástico sea menor a 18 % o contracción lineal 6.5 %.

Además de la necesidad que se tiene de cementar las bases para que no aparezcan deformaciones cíclicas en la superficie de rodamiento, se tienen otras propiedades secundarias que busca el constructor; los materiales de base y sub-base con cementación son más fácilmente compactables y disminuyen los costos de conservación en la obra. Para que no se abuse de la cementación, se debe recordar que las especificaciones en cuanto a VRS, plasticidad y valor cementante se deben cumplir simultáneamente.

- h) **Riego de impregnación.** Una vez alcanzado en las bases el grado de compactación de proyecto, se dejan secar superficialmente durante varios días. Una vez que se tiene a la capa en esa condición, se barre para retirar de ella la basura, polvo y partículas sueltas que pueda haber; esta operación se puede realizar con cepillos manuales o mecánicos. En seguida, se debe proporcionar a la base un riego llamado de impregnación que se realiza distribuyendo asfalto FM-1 en proporción de 1.5 L/M<sup>2</sup>. Este riego de impregnación sirve para tener una zona de transición, entre la base de materiales naturales y la carpeta asfáltica. El asfalto debe penetrar en la capa de base cuando menos 3 mm; si la superficie de la capa está muy "cerrada" es posible que se deba a que tenga un exceso de finos y el riego es probable que no penetre; en estos casos conviene cambiar la granulometría, reduciendo los finos para proporcionar la penetración del asfalto; si la base por el contrario está muy abierta, conviene que la proporción de asfalto se aumente a 1.8 L/M<sup>2</sup> para que cumpla su finalidad.

#### **Bases con Estabilización Química**

Cuando las bases son del tipo de suelo cemento, una vez incorporado el cemento portland y homogeneizada el agua, de inmediato se extiende el material en la corona y se compacta. En cambio, si es del tipo de suelo mejorado, ya incorporados el cemento y el agua, no se permite que se agrume el material, para lo cual es necesario que éste se revuelva 2 o 3 veces al día durante 3 días, para luego agregar el agua necesaria, extender y compactar.

Si la base es del tipo asfáltico, éstas se pueden efectuar en plataformas, en plantas en frío o en caliente siguiendo los procedimientos que se indicarán en carpetas asfálticas ya que solo se diferencian de éstas en el tamaño máximo del agregado y la cantidad de asfalto.

### MATERIALES DE SUBBASE

CARACTERÍSTICAS	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRÍA		
	1	2	3
Valor máximo para el coeficiente de uniformidad	6.0	4.5	3.0
Valor máximo para el coeficiente de curvatura	3.5	3.0	2.5
Valor máximo para el coeficiente de gradación	5.5	4.5	3.5
Valor mínimo para el porcentaje de finos	50 Min.		
Valor máximo para el porcentaje de finos	20 Min. (Tentativa)		

### ZONAS DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS PARA MATERIALES DE SUBBASE Y BASE

ABERTURA EN MILIMETROS

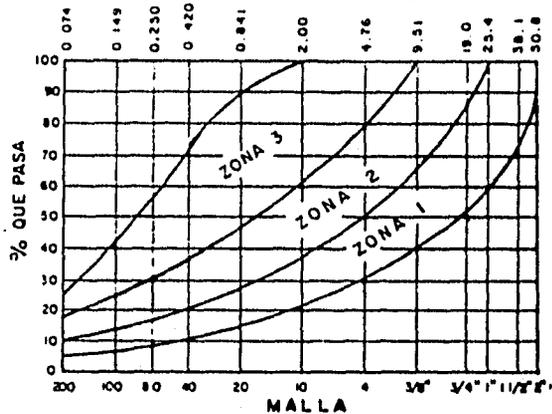


Fig. 2-7 (a) Características de calidad que se requieren en los materiales que se utilizarán como subbases de pavimento.  
 (b) Zonas granulométricas a las que se refieren las especificaciones de base y subbase.

MATERIALES DE BASE

CARACTERISTICAS	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRIA		
	1	2	3
Límite líquido en porcentaje (Máx.)	30	30	30
Contracción lineal en porcentaje (Máx.)	4.5	3.5	2.0
Valor cementante, para materiales angulosos, en kg/cm <sup>2</sup> (Mín.)	3.5	3.0	2.5
Valor cementante, para materiales redondeados y lisos en kg/cm <sup>2</sup> (Mín.)	5.5	4.5	3.5

MATERIALES DE BASE

PARA EMPLEARSE EN	INTENSIDAD DE TRANSITO EN AMBOS SENTIDOS	Valor relativo de soporte estándar	Equivalente de arena — (tentativa)	Índice de durabilidad — (tentativa)
CARRETERAS	Hasta 1000 vehículos pesados al día (Mín.)	80	30	35
	Más de 1000 Vehículos pesados al día (Mín.)	100	50	40
AEROPISTAS PARA AERONAVES CON PESO TOTAL	Hasta 20 ton (mín.)	80	35	35
	Más de 20 ton (mín.)	100	50	40

Fig. 4-2. Características de calidad que se requieren en los materiales que se utilizarán como bases de pavimento.

## CAPITULO VII

### DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Existen varios métodos para realizar el cálculo de los espesores de las capas que forman la estructura de un pavimento flexible, entre ellos podemos mencionar

- a) El método de AASHTO
- b) Método de HVEEM
- c) Método Triaxial de Texas
- d) Método de Cuerpo de Ingenieros de EUA

Estos métodos antes mencionados nos dan unos espesores mayores a los reales, por lo que basados en la experiencia obtenida por los ingenieros proyectistas el método más adecuado es el Método de la porter modificada.

En la tecnología que se presenta en las obras viales existen el tipo de espesores de carpeta que se recomiendan, son como se indican a continuación.

<b>VEHÍCULOS PESADOS</b>	<b>TIPOS DE ESPESORES DE CARPETA ASFALTICA</b>
Menos de 500	Carpeta de un riego
De 500 a 2 000	Carpeta de dos riegos o mezclas en el lugar de 4 a 6 cm de espesor.
De 2 000 a 3 000	Carpeta de tres riegos o mezclas en el lugar de 6 a 10 cm de espesor.
Más de 3 000	Carpeta de concreto asfáltico de 15 cm sobre base hidráulica o de 5 cm mínimo de base rigidizada.

Por otro lado cuando se recomienda el uso de concreto asfáltico, se deberá proyectar una base rigidizada al menos que el espesor de carpeta sea del orden de 15 cm de esta manera, se evitarán agrietamientos en la superficie de rodamiento.

La prueba de porter modificada (padrón), consiste en obtener el valor relativo de soporte de un espécimen compactado estáticamente para obtener la combinación de peso volumétrico y humedad que el proyectista crea conveniente de acuerdo a las condiciones críticas que se esperan en la obra, el espécimen no se satura. De acuerdo a los resultados de la investigación ya reseñados, se dieron las siguientes recomendaciones para elaborar los especímenes:

CONDICIONES DE ZONA	GRADO DE COMPACTACION	HUMEDAD
Zonas con baja precipitación y buen drenaje (NAF > 5 m)	100%	W <sub>o</sub>
Zonas con condiciones regulares de drenaje y precipitación (5 m > NAF > 1 m)	95%	W <sub>o</sub> + 1.5%
Zonas con alta precipitación y mal drenaje (NAF < 1 m)	90%	W <sub>o</sub> + 3.0%

El grado de compactación (Gc) es con respecto al PVSM obtenido en la prueba de laboratorio de acuerdo al tipo de material y W<sub>o</sub> es la humedad óptima correspondiente.

Se ha notar que las condiciones de drenaje son de la zona que atraviesa la obra vial y no se refiere al drenaje artificial, el cual en todos los casos debe estar perfectamente solucionado.

De hecho, para cada sondeo se necesitara sólo un espécimen con las características que marque el proyectista; sin embargo, conviene en un banco de materiales, que cuando menos en la mitad de los sondeos se efectúen las tres combinaciones indicadas, a fin de comprobar que los ensayos estén bien realizados y para que el proyectista tenga una idea de cambio en las características del material al variar el peso volumétrico y la humedad.

Para realizar esta prueba se requiere con anticipación conocer el PVSM y la  $W_o$  del material, así como su humedad inicial.

Una vez compactado el material, de inmediato se coloca en la prensa para efectuar la penetración del espécimen con la que se puede calcular la VRS.

Teniendo ya los datos iniciales, las pruebas para un sondeo (3 especímenes máximo) se realizan en menos de una hora, lo que muestra su facilidad y versatilidad para conocer con acuosidad la resistencia de los materiales que se utilizarán, muestreados en la obra o en los bancos de terracerías.

Cuando los materiales son de baja calidad y se encuentran en una zona de alta precipitación y mal drenada, últimamente se ha procedido a comparar el VRS obtenido de la porter estandar con el obtenido de la prueba modificada y el menor de ellos se usa para proyecto.

En cada uno de los bancos para materiales de terracería o de cada subrasante, se realizan tantos sondeos como sean necesarios, para conocer la calidad que tengan y su capacidad y volumen utilizable. Para cada sondeo se tendrá un VRS obtenido de la porter modificada.

- a) Si se toma el valor mayor de todos ellos, la obra estará subdiseñada para todos los demás valores menores.
- b) Si se toma el menor, el cálculo estará sobrediseñado para todos los valores restantes.

El VRS de proyecto para un banco se acostumbra que sea el ochenta percentil de los valores obtenidos, o sea, aquel valor que es menor del 80 % de los valores que se tienen y que es mayor del 20 % de los restantes, con lo cual se podría pensar que se tiene un 20 % de riesgo de que la obra falle; sin embargo, no es así, ya que este valor es menor al medio y por otro lado existe la posibilidad de que el 20 % de los valores menores se hayan obtenido de pruebas mal ejecutadas, y que en realidad la calidad de los materiales sea mayor

Para calcular el 80 percentil o sea el VRS de proyecto, se procede como se indica en seguida.

- 1) En una zona en donde puede ser posible obtener material de la calidad deseada, se hacen 3 o 4 sondeos preliminares, se efectúa el muestreo y en el laboratorio se realizan las pruebas de clasificación y de porter modificada (Padrón)

- 2) Si el resultado de las pruebas indica que el material es adecuado para la capa que se trata de construir, se realiza un mayor número de sondeos en forma de cuadrícula, se muestrean los materiales y se les realizan las pruebas de clasificación y de porter modificada (Padrón) con el resultado de las pruebas, en primer lugar se conoce y delimita la extensión del banco y en seguida se calcula el o los VRS de proyecto.
- 3) Si es posible se hace una zonificación del banco, de tal manera que en cada sección se tengan VRS del mismo orden (fig. 7-1).
- 4) Se ordenan los valores de menores a mayores, se registra la frecuencia y para cada valor se calcula el porcentaje de valores mayores e iguales a cada uno de ellos (fig. 7-2).
- 5) Se forma una gráfica colocando en las abscisas los VRS y en las ordenadas los porcentajes calculados y se encuentra el VRS correspondiente al 80 % que corresponde al 80 percentil, que es el VRS de proyecto de esa sección.

Para el cálculo de espesores basados en esta prueba de porter modificada, de acuerdo con la experiencia obtenida durante la investigación ya mencionada se formó un nomograma en el que se tomaba al tránsito mezclado en un sentido de circulación, y se excluían los vehículos con menos de 3 tons.

Obteniendo de tal forma el tránsito equivalente en función de ejes de 8.2 tons. y extrapolando hasta 200 millones de ejes, que resulta exagerado, pues cuando en un carril se llega a una cantidad del orden de 125 millones de ejes equivalentes que han transitado sobre él, durante 15 o 20 años, lo más probable es que ya se haya llegado a su capacidad y ese carril no es forzoso que requiere un mayor espesor de pavimento sino que se necesita que el camino cuente con mayor número de caniles.

El espesor  $D$  que se obtiene en las ordenadas de las gráficas, corresponde al necesario desde la capa en estudio (que puede ser desde el terreno natural, o cualquier nivel del cuerpo del terraplén o de la capa subrasante) hasta la superficie de rodamiento; es decir ya está incluido el espesor de la carpeta asfáltica, el espesor correspondiente es de material natural o grava.

En la fig. 7.3 se muestra el nomograma de proyecto; para calcular los espesores de pavimento de acuerdo a este método de la porter modificada (Padrón), se requiere contar con el

tránsito equivalente durante la vida útil del pavimento y los datos VRS de proyecto. Con el VRS de la parte superior del cuerpo del terraplén y el dato del tránsito se encuentra un espesor  $D_1$ , con el correspondiente a la capa subrasante se encuentra el espesor  $D_2$  la diferencia de estos valores, fig. 7.4 es el espesor de la capa subrasante necesario para resistir las cargas; sin embargo, como ya se dijo, esta capa puede tener hasta cinco funciones además de las estructurales por la que su espesor debe ser de 30 cm mínimo; así el cálculo anterior se tiene un espesor menor, se debe aumentar, por especificaciones, hasta esa cantidad.

Sólo en ocasiones, cuando el material del cuerpo del terraplén es de baja calidad y el tránsito intenso, al efectuar el cálculo anterior se pueden tener espesores de capa subrasante mayores de 30 cm; lo anterior debe evitarse y en el caso que se tenga buenos materiales en el cuerpo del terraplén, se puede reducir el número de pruebas de resistencia para proyecto en estos materiales bajo la capa subrasante y sólo realizar algunos por seguridad.

El cálculo del espesor de las capas de pavimento, o sea el de la carpeta, de la base y la subbase, que se hace a partir del espesor  $D_2$  que corresponde a material de grava o natural. Como al utilizarse materiales estabilizados en forma química o con asfalto, estos tienen mayor resistencia que los naturales, el espesor de la capa en que intervienen se puede reducir; para ello, se recomienda utilizar los factores de equivalencia siguiente:

TIPO DE MATERIAL	FACTOR DE EQUIVALENCIA
Carpeta de concreto asfáltico.	2
Carpeta de mezcla en el lugar de buena calidad.	1.8
Carpeta de mezcla en el lugar de regular calidad	1.3
Base estabilizada con cemento portland	1.8
Base estabilizada con cal	1.5
Carpeta de tres riegos	1.3
Carpeta de uno o dos riegos	1.0
Material natural	1.0

Estos valores son tentativos y semejantes a los que utilizan algunas agencias extranjeras se hace la aclaración que algunos proyectistas no utilizan estos valores y colocan el espesor de pavimento que se obtiene de la grafica de proyecto sin hacer ninguna reducción, con lo que obtienen un mayor factor de seguridad pero también un costo mayor (fig. 7.3). Con los valores anteriores podemos hacer uso de la siguiente igualdad:

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

en la que

$D_2 =$  Espesor de grava necesaria en el pavimento, obtenido de la gráfica de proyecto, utilizando el VRS de proyecto de la capa subrasante.

$a_1, a_2, a_3 =$  Factores de equivalencia correspondiente a la carpeta, base subbase de acuerdo con la calidad de materiales que se usen.

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

El tipo y espesor de la carpeta se recomienda en el nomograma de proyecto de acuerdo al tránsito diario promedio anual actual de vehículos con peso mayor a 5 tons., en los dos sentidos; es decir se descartan los automóviles y los camiones de carga con 5 tons. o menos. Lo anterior se hace, para que sobre todo en caminos nuevos, la carpeta se vaya construyendo por etapas y en cada una de ellas se tenga la posibilidad de corregir pequeñas fallas que se vayan presentando en la estructura, si al principio el tránsito es muy bajo, se puede construir una carpeta de un riego, cuando aumente el tránsito, quizá a los 5 años de la puesta en servicio, se colocaría una carpeta de mezcla en el lugar y al final, cuando se requiera, por ejemplo, a los 10 o 12 años, se coloca una carpeta de concreto asfáltico, para lo cual es probable que la capa asfáltica actual se disgregue y se incorpore a la base a la cual se rigidizará con cal o cemento Portland para darle al concreto asfáltico una sustentación adecuada.

Con estas recomendaciones, que aparecen en el nomograma de proyecto se tienen  $d_1$  y  $a_1$ ; para la elección del espesor y calidad de la base, se debe tomar en cuenta si se necesita rigidizar o no y qué producto se utilizará para ello; además, se deben considerar los espesores mínimos, que para base y sub-base, por los procedimientos de construcción son de 12 cm; se hace la aclaración que en ocasiones no se requiere subbase, en cuyo caso no se colocará; si se necesita, tendrá como mínimo el espesor indicado. En caminos con tránsito diario promedio pesado actual mayor de 5,000 vehículos, el espesor de base mínimo será de 20 cm.

Por otro lado, si el cálculo nos indica que el espesor de subbase es el orden de 8 a 10 cm, lo más conveniente será aumentarlo a los 12 cm, pero si es menor quizá sea mejor adicionárselos al espesor de base, haciendo las correcciones por calidad y no construir aquella capa. El espesor de la subbase se calcula con la siguiente igualdad:

$$d_3 = D_2 - a_1 d_1 - a_2 d_2$$

Es pertinente en que el nomograma de proyecto sólo se puede aplicar con datos procedentes de la prueba de porter modificada (Padrón), ya que aunque existen otras tecnologías que utilizan el VRS como elemento de resistencia, los valores cambian al variar la forma de obtención.

Por último a continuación se enumeran los factores de equivalencia para los tipos de vehículos autorizados a circular en la Republica Mexicana.

Para la mejor interpretación de la prueba porter modificada se detalla un ejemplo de cálculo

TIPO DE VEHICULO	PESO EN TONELADAS	COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA A EJES DE 4.2 TONS.
Automovil	2	0.003
Autobuses	15	1.80
Autobuses	20	2.00
Autobuses	25	2.30
Camión	5	0.06
Camión	15	1.80
Camión	30	4.20
Camión	40	5.20
Camión	50	6.40
Camión	60	7.30
Camión	70	8.10

**Ejemplo:**

Para construcción de un tramo de camino de dos carriles, se realizaron sondeos en los bancos para el cuerpo de terraplén y de cada capa subrasante; para cada uno de ellos se obtuvo el VRS de proyecto, correspondiente al 80 percentil teniendo los siguientes datos:

VRS de proyecto para el cuerpo del terraplén 5 %.

VRS de proyecto para capa subrasante: 7 %.

El TDPA inicial será de 5840 vehículos con la siguiente composición:

Vehículos con menos de 15 tons.	40 %
Autobuses	10 %
Camiones de 17 tons.	20 %
Camiones de 25 tons.	15 %
Camiones de 40 tons.	10 %
Camiones de 70 tons.	5 %

Periodo de diseño de 15 años.

Tasa de incremento anual de tránsito 7 %.

**Resolución:**

- a) Los datos anteriores se registran en la hoja de proyecto correspondiente se calcula el TDPA para el carril de diseño que en este caso, por ser un camino de dos carriles es del 60 % del TDPA en dos sentidos.

$$TDPA_{cd} = 60 \% \times TDPA = 3\ 505 \text{ veh\u00edculos.}$$

$$= 60 \% \times 5\ 840 = 3\ 505 \text{ veh\u00edculos.}$$

- b) Se calcula el factor de proyección de tránsito futuro  $c$ , por medio de la fórmula que aparece en la hoja de registro de datos de la prueba de porter modificada.

$$c = \frac{(1+r)^n - 1}{r} \times 365$$

Donde:

r = Taza de crecimiento anual %

n = Período de diseño.

Por lo que

$$c = \frac{(1+0.07)^{15} - 1}{0.07} \times 365 = 9\ 172$$

- c) Se calculan los datos de la columna (multiplicando el TDPA en el carril de diseño, por los porcentajes de la composición del tránsito, que se tienen en la columna 2 y los de las columnas 3 por los factores de equivalencia, que para cada tipo de vehículo corresponda para obtener los ejes correspondientes de 8.2 tons.) se hace la suma de la columna 5 que se multiplica por el factor de proyección futuro (c) que nos dará el tránsito acumulado en ejes 8.2 tons., al final de la vida de proyecto.
- d) Con el dato anterior y el VRS de proyecto del cuerpo de terraplén se obtiene el espesor necesario desde la parte inferior de la capa subrasante hasta la superficie de rodamiento, utilizando el nomograma de proyecto de la fig. 7.3, en este caso se tiene 77 cm, con el mismo dato de tránsito pero ahora con el VRS de proyecto del material de capa subrasante y el mismo nomograma, se obtiene el espesor del pavimento (sub-base, base y carpeta)  $D_2 = 68$  cm.

Si VRS del cuerpo del terraplén = 5 %

VRS de la capa subrasante = 7 %

Transito acumulado de ejes de 8.2 ton - 74'806 832

$D_1 = 77$  cm

$D_2 = 68$  cm

- e) Con los valores anteriores se calcula el espesor de la capa subrasante  $D_{cr} = D_1 - D_2$ ; este valor debido a las funciones que tiene esta capa además de la estructural, debe ser de 30 cms. como mínimo

$$D_{crs} = 77 - 68 = 9 \text{ cms.}$$

- f) Se efectúa el cálculo de las capas de pavimento; se procede como sigue: (Supongase un 30% de vehículos con menos de 5 tons.)

Cantidad de vehículos actuales con peso mayor a 5 tons.

$$0.70 \times 5\ 840 = 4\ 088 \text{ vehículos por día}$$

de donde según la recomendación que se encuentra en las curvas de proyecto, para más de 3 000 vehículos pesados se requiere carpeta de concreto asfáltico de 7 a 10 cms; y con una base rigidizada.

Por lo que se recomendará una carpeta de concreto asfáltico de 7 cm. y sobre una de material rigidizado con cal. El espesor mínimo de la base es de 15 cm, con los datos anteriores se procede a encontrar los factores de conversión de grava, y a calcular el espesor de la subbase con la fórmula.

$$\text{Espesor de pavimento} = a_1d_1 + a_2d_2 + a_3d_3 \text{ o sca;}$$

Para la carpeta de concreto asfáltico,  $f_{cg} = 2.0$

y el de la base de material rigidizado  $f_{cg} = 1.5$

Por lo tanto,

$$68 \text{ cm} = 2(7) + 15 \text{ cm} \times 1.5 + SB(!)$$

$$SB = 68 - 36.5$$

$$SB = 31.5 \text{ cm}$$

g) La estructuración final de las capas del pavimento.

Capa subrasante	= 30 cm
Subbase	= 32 cm
Base rigidizada con cal	= 15 cm
Carpeta de concreto asfalto	= 7 cm

Actualmente en otros países se utilizan métodos que son semejantes al desarrollado con anterioridad por el ing. Padrón en base al VRS obtenido en muestras compactadas en forma estática; lo cual prueba su eficiencia.

**Cálculo de los espesores para pavimentos flexibles  
Método de Porter modificado (Padrón)**

Obra \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

Tramo \_\_\_\_\_  
Subtramo \_\_\_\_\_

Datos para proyecto:

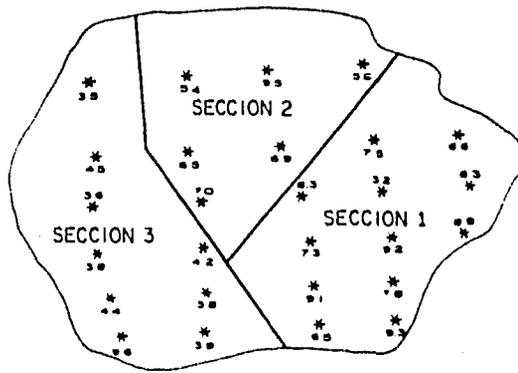
Tránsito diario promedio anual en dos sentidos (TDPA) \_\_\_\_\_ 5840 \_\_\_\_\_ VEH

Tránsito en el carril de diseño (60%) \_\_\_\_\_ 3 505 \_\_\_\_\_ Período de diseño (n) \_\_\_\_\_ 15 \_\_\_\_\_ años

Tasa anual de crecimiento (r) \_\_\_\_\_ 70 \_\_\_\_\_ % Factor de proyección al futuro (c) \_\_\_\_\_ 9 172 \_\_\_\_\_

TIPO DE VEHICULOS	DIST. DEL TRANSITO (%) (2)	DIST. DEL TRANSITO (NUM) (3)	COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA (4)	EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 6.2 t (5)
Vehículos hasta 15 tons.	40	1 402	.06	84
Autobuses	10	350	2.1	735
Camiones (15 a 23 tons)	20	700	2.1	1 470
Tractor c / semirremolque (25 a 33 tons.)	15	526	4.1	2 157
Camión c/remolque (35 a 55 tons)	10	350	6.4	2 240
Tractor con semirremolque (65 a 85 tons)	5	175	8.4	1 470
				8 156
				74 806 832

1 - VRS de diseño de las terracerías		5%
2 - Índice de espesor		77 cm
3 - VRS de diseño de la capa subrasante		7%
4 - Índice de espesor		68 cm
5 - Estructuración del pavimento en espesores equivalentes	Carpeta	7 cm
	Base (BH)	15 cm
	Sub-base (SB)	31.5 cm
	Subrasante (SB)	9 cm
6 - Estructuración del pavimento en espesores reales	Carpeta	7 cm
	Base (BH)	15 cm
	Sub-base (SB)	32 cm
	Subrasante (SB)	30 cm



\* VRS Porter modificado

### ZONIFICACION DE BANCO

Fig. 7-1 Zonificación de un banco de acuerdo a los VRS de las diferentes sondas.

Valores ordenados	Valores iguales o mayores	Porcentaje de valores iguales mayores
5.4	6	100.00
5.6	5	83.33
6.5	4	66.66
6.9	3	50.00
7.0	2	33.33
9.5	1	16.66

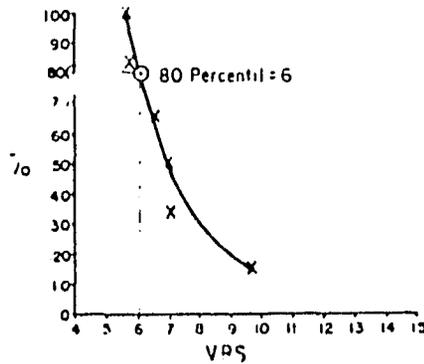


Fig. 7.2 V.R.S. tabuladas de mayor a menor y porcentajes correspondientes en relación a la frecuencia para obtener el VRS de proyecto.

### GRAFICA PARA LA ESTRUCTURACION DE UNA OBRA VIAL EN BASE A VRS OBTENIDO DE PRUEBA PORTER MODIFICADA

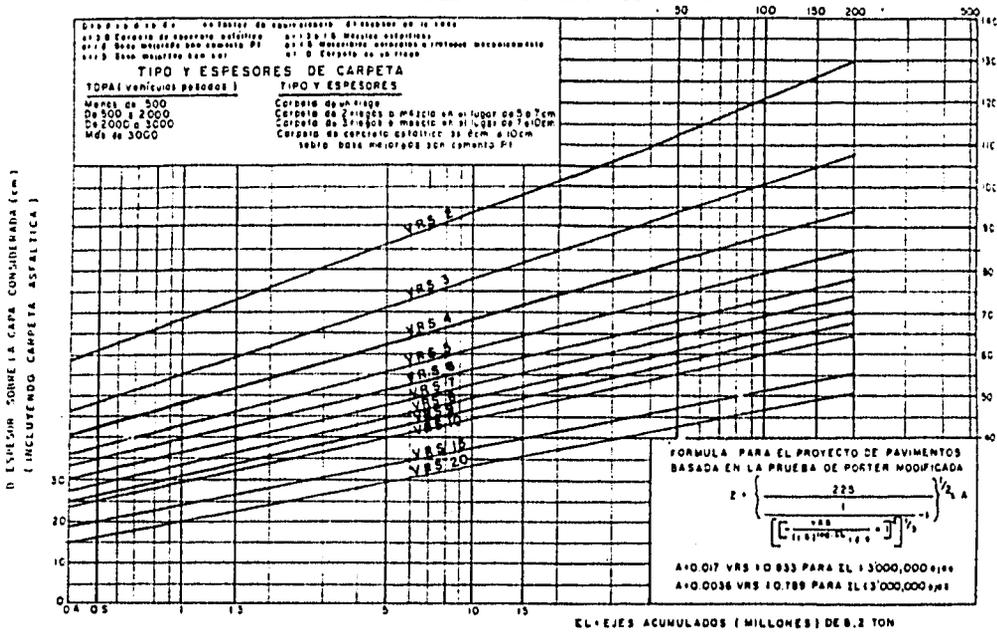


Fig. 7-3 Gráficas de proyecta por el método de Porter modificado (Padrón) propuestas por el autor, con base en tránsito equivalente (8.2 ton) acumulado durante la vida útil de la obra.

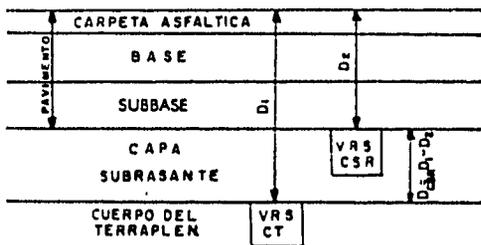


Fig. 7-4 Figura que muestra en forma objetiva los espesores  $D_1$  y  $D_2$  para la estructuración de una vía terrestre con pavimento flexible. Método de Porter modificado (Padrón).

## CAPITULO VIII

### CAUSAS DE FALLAS MAS COMUNES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.

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

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

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

La fig. 8-1 presenta una clasificación en este sentido, con todas las fallas primariamente referidas a tres tipos: fracturamiento, deformación y desintegración.

La fig. 8-2 es un intento para agrupar que características de las tres causas finales influyen más en cada uno de los tres tipos principales de fallas.

Puede verse, como conclusión, que las fallas por insuficiencia estructural, defecto constructivo o fatiga pueden ser afín de cunetas de cualquiera de los tres tipos fundamentales (fracturamiento, deformación o desintegración) y el que una determinada deficiencia de origen a uno y otro tipo de falla dependerá de cómo se conjuguen en el caso todas las variables que genéricamente se agrupan bajo los encabezados "Efecto tránsito", "Características mecánicas y estructuración de los materiales en el pavimento" y "apoyo de capas inferiores, de la terracería o en última instancia, del terreno de cimentación".

Desde el punto de vista estrictamente mecánico, las fallas en los pavimentos suelen ser resultado de la deformación bajo esfuerzos cortantes o de la deformación por consolidación o por aumento de compacidad; estos procesos pueden tener lugar en cualquiera de las capas del pavimento o aún de la terracería.

Se describen a continuación en forma muy somera algunas de las fallas más comunes en los pavimentos flexibles.

#### 1.- Agrietamiento en "piel de cocodrilo"

Se trata de un agrietamiento que se extiende sobre toda la superficie de rodamiento o por lo menos, sobre una parte muy substancial de ella, por el cual dicha superficie adquiere el aspecto que da nombre al fenómeno.

Esta condición es indicativa de movimiento excesivo de una o más de las capas del pavimento o de fatiga, muchas veces en la propia carpeta. El agrietamiento en "piel de cocodrilo" es común en pavimentos flexibles contruidos sobre terracerías resistentes o dentro de los cuales, la subrasante muestre resistencia, también es típico de bases débiles o insuficientemente compactadas, el fenómeno puede ser o no progresivo, cuando lo es, termina en destrucciones locales del pavimento, que comienzan por desprendimientos de la carpeta en lugares localizados y en rápida remoción de los materiales granulares expuestos. Cuando el fenómeno alcanza estos grados destructivos puede decirse casi con seguridad que está ligado a deficiencias estructurales en la base.

En países en que el congelamiento es un fenómeno relevante, el agrietamiento es frecuente cuando se utilizan materiales susceptibles, también puede ser indicativo de lugares en que se requiere subdrenaje. Al estudiar este tipo de agrietamiento resulta esencial determinar si se trata de un fenómeno evolutivo. En general, los procesos asociados a envejecimiento y fatiga de la carpeta

progresan muy lentamente; en cambio son muy rápidas las evoluciones del fenómeno asociados a deficiencia estructural o exceso de agua, En consecuencia, para definir la evolución futura de un proceso detectado suelen ser precisos estudios de detalle en el pavimento.

## **2.- Deformación permanente en la superficie del Pavimento. Surcos**

Frecuentemente está asociada a aumento de compacidad en las capas granulares de base o sub-base, debida, a su vez, a carga excesiva, carga repetida (aumento de compacidad por vibración) o a rotura de granos; también puede deberse a consolidación en la subrasante o aún en el cuerpo de la terracería.

El ancho del surco excede al de la llanta y tiende a ser mayor en comparación a este, cuando más profunda sea la cedencia que provoca el fenómeno.

La deformación a que se esta haciendo referencia debe distinguirse del surco que se produce por simple desplazamiento lateral de una carpeta defectuosa; la señal distintiva es que en este último caso el material se eleva a los dos lados del surco, en tanto que en un surco de origen profundo, este se produce sin dichas ondulaciones.

## **3.- Falla por cortante**

Están típicamente asociados a falta de resistencia al esfuerzo cortante en la base o sub-base del pavimento y más raramente en la subrasante. Consisten generalmente en surcos profundos, nitidos y bien marcados, cuyo ancho no excede mucho del de la llanta. En este caso suele haber también elevación del material de carpeta a ambos lados del surco, pero la falla se distingue fácilmente de un simple desplazamiento de carpeta por la mayor profundidad afectada.

## **4.- Agrietamiento Longitudinal**

Consiste en la aparición de grietas longitudinales de no gran abertura (en el orden de 0.5 cm) en toda el área que corresponde a la de circulación de las cargas más pesadas. Agrietamientos de este tipo son debidos a movimientos de las capas de pavimento que tienen lugar predominantemente en dirección horizontal; el fenómeno puede ocurrir en la base, en la sub-base o, con cierta frecuencia, en la subrasante. Son indicativos de fenómenos de congelamiento y deshielo o de cambios volumétricos por variación del contenido de agua, sobre todo en la subrasante.

## 5.- Consolidación del terreno de cimentación.

La consolidación de terrenos de cimentación blandos puede producir distorsión del pavimento, independientemente de los espesores o de la condición estructural del mismo, las deformaciones de la sección transversal pueden producir agrietamientos longitudinales. Cuando por falta de resistencia en el terreno de cimentación, se compromete la estabilidad de los terraplenes, también se producen agrietamientos típicos con trayectoria circular, marcando lo que podrá llegar a ser la cabeza de la falla eventual; estas grietas perjudican, como es natural, al pavimento.

## CAUSAS DE FALLAS MÁS COMUNES EN PAVIMENTOS RÍGIDOS.

Las fallas en los pavimentos rígidos pueden deberse a dos causas principales.

- 1.- Se refiere a deficiencias de la propia losa y comprende por un lado defectos del concreto propiamente dicho, tales como utilización de materiales y agregados no adecuados, desintegración por reacción de los agregados con los álcalis del cemento, problemas derivados del uso de sales para proteger al concreto de los fríos extremos en zonas de clima severo, etc. y, por otro lado, defectos de construcción o de insuficiencia estructural en la losa, tales como inapropiada colocación o insuficiente dotación de elementos de transmisión de carga, insuficiente resistencia ante las restricciones de fricción, impuestas a los movimientos de la losa por la sub-base, alabeo de las losas o mal comportamiento de las juntas de contracción y expansión.
- 2.- La otra causa principal de falla en los pavimentos rígidos se refiere al inadecuado comportamiento estructural del conjunto losa, sub-base, subrasante, y aun terracería y terreno de cimentación. De este tipo son las fallas por bombeo, la distorsión general, la ruptura de equinas o bordes por falta de apoyo necesario y otras del mismo estilo.

El uso de agregados inapropiados, no duraderos se traduce en la aparición de grietas que comienzan por ser capilares, muy próximas y que se desarrollan con trayectorias semicirculares en torno a juntas o a los bordes de las losas; el fenómeno es progresivo y suele terminar con la desintegración total de la losa.

Otros defectos comunes que causan la desintegración del concreto son el fabricarlo con una mezcla demasiado húmeda, el uso de agregados con excesivo contenido de finos o los problemas, ya comentados, derivados del uso de sales. Durante el período de curado, los concretos sufren a veces agrietamientos, excesivos por contracción; las grietas típicas de este estilo son cortas y distribuidas al azar sobre la superficie de la losa, tanto en dirección longitudinal como en transversal. Este agrietamiento es independiente de las cargas del tránsito.

Los agrietamientos causados por trabajo defectuoso de los pasa-juntas son debidos casi siempre a que estos elementos quedan mal lubricados y no permiten el movimiento para el que fueron diseñados. El espaciamiento excesivo de estos elementos también es fuente de problemas.

Otro defecto común por mal funcionamiento de juntas se tienen cuando estas faltan o se espacian en demasía a lo largo de un trecho importante del pavimento.

Naturalmente, el concreto crea por agrietamiento sus propias juntas de contracción y expansión, pero estas grietas se disponen a espaciamientos irregulares, dando al pavimento una apariencia deteriorada, que generalmente no corresponde a una verdadera deficiencia estructural, en el sentido de que las grietas formadas liberan los esfuerzos y trabajan, en principio, como verdaderas juntas; el comportamiento puede no ser tan satisfactorio a largo plazo, pues las grietas naturales carecen de todo tratamiento o de los rellenos plásticos apropiados, de manera que en ellas el concreto se va disgregando, pulverizando y ejerciendo una acción auto-abrasiva que puede llegar a agrandar las grietas más allá de lo conveniente, pudiendo llegar a presentarse en ellas también fenómenos de bombeo. Naturalmente la insuficiencia de espesor de las losas conduce a su agrietamiento bajo la acción del tránsito.

De los fenómenos en que se ve envuelto el material de la sub-base, ya se ha mencionado el bombeo que es el más importante. Conduce a la destrucción de las losas, sobre todo en zonas de esquina. En las losas de borde pueden desarrollarse agrietamientos más o menos paralelos al mismo, cuando el material de los hombros genera importantes restricciones al movimiento de las losas por fricción, lo que es común cuando dicho material es arenoso.

Los movimientos del terreno de cimentación o de espesores importantes de material de terracería comprensible, conducen al agrietamiento de las losas cuando los asentamientos diferenciales son importantes en trechos cortos y ocurren con rapidez también es relativamente común que las grietas que por esta causa se puedan llegar a producir no lleguen a plantear graves deficiencias en el funcionamiento del pavimento, especialmente si se van sellando apropiadamente a medida que se producen.

En las aeropistas es relativamente frecuente que se produzcan daños estructurales sistemáticos en las zonas de canalización de tránsito, siendo esto indicativo de que actúan cargas que exceden el nivel de proyecto, sea por su magnitud o por el número de sus repeticiones, por lo que la aeropista que presente este defecto deberá ser estructuralmente reforzada.

<i>Tipo</i>	<i>Manifestación</i>	<i>Causas</i>
Fracturamiento	Agrietamiento	Exceso de carga (insuficiencia estructural) Repetición de carga (fatiga) Cambios de temperatura Cambios de humedad (defecto constructivo) Ondulamiento por fuerzas horizontales (deficiencia estructural o defecto constructivo) Contracción
	Dstrucción por agrietamiento	Exceso de carga (insuficiencia estructural) Repetición de carga (fatiga) Cambios de temperatura Cambios de humedad (defecto constructivo)
Deformación	Deformación permanente	Exceso de carga (insuficiencia estructural) Proceso de deformación viscosa (fatiga, insuficiencia estructural y defecto constructivo) Aumento de compacidad (defecto constructivo. Rotura de granos) Consolidación Expansión
	Falla	Exceso de carga (insuficiencia estructural) Aumento de compacidad (defecto constructivo. Rotura de granos) Consolidación Expansión
Desintegración (falla de carpeta)	Remoción	Perdida de adherencia en la carpeta Reactividad química Abrasión por efecto del tránsito
	Desprendimiento	Pérdida de adherencia en la carpeta Reactividad química Abrasión por efecto del tránsito Degradación de los agregados

**Fig. 8.1 Tipos y manifestaciones de las fallas de los pavimentos flexibles.**

<i>Tipo de falla</i>	<i>Causas últimas</i>		
	<i>Tránsito</i>	<i>Pavimento</i>	<i>Cimentación (apoyo)</i>
<b>Fracturamiento</b>	Carga por rueda (magnitud) Repeticiones Area de Influencia de la carga Velocidad Arreglo y disposición de ruedas y ejes	Rigidez de las diversas capas Flexibilidad (adaptabilidad a la fatiga) Durabilidad Deformación plástica Deformación elástica	Rigidez en base y sub-base Deformación plástica Deformación elástica
<b>Deformación</b>	Carga por rueda (magnitud) Repeticiones Area de Influencia de la carga Velocidad Arreglo y disposición de ruedas y ejes	Espesor Resistencia Compresibilidad Susceptibilidad a cambios de volumen Deformación plástica Deformación elástica	Susceptibilidad a los cambios de volumen Deformación plástica Deformación elástica
<b>Desintegración (fallas de carpetas)</b>	Presión de la llanta Repeticiones Velocidad	Características del asfalto Características del agregado (porosidad, falta de adherencia con el asfalto)	Resiliencia en las capas de pavimento Infiltración de agua Cambios de temperatura

**Fig. 8.2 Principales factores que afectan a los tres tipos básicos de fallas de un pavimento flexible**

## CAPITULO IX

### CARPETA ASFÁLTICA

ESTA  
SALA DE LA  
TECNICA  
DE  
CONSTRUCCION

La carpeta asfáltica es la capa superior de un pavimento flexible y proporciona a la superficie de rodamiento para los vehiculos. Se elabora con materiales pétreos y productos asfálticos.

Características de los materiales pétreos para la construcción de carpetas son suelos inertes, provenientes de playones de ríos o arroyos, de depósitos naturales denominados minas, o de rocas, los cuales, por lo general requieren de cribado, triturado a ambas para poder utilizarse.

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

- 1) granulometría aceptable según proyecto
- 2) adherencia alta con el asfalto
- 3) plasticidad baja
- 4) que la forma de las partículas sea cúbica y de superficie rugosa
- 5) que su dureza sea la adecuada para el proyecto y en el desgaste pase las pruebas necesarias (prueba de los angeles y Deval)
- 6) que no se usen materiales de densidad menor, como piedra pomez, cal, tezontle, tepez.

La granulometría es de mucha importancia, y debe satisfacer las normas correspondientes, pues como los materiales pétreos deben cubrirse en su totalidad. Con el asfalto, si la granulometría cambia, también cambiara la superficie por cubrir.

Las pruebas para determinar el desgaste de los materiales pétreos que se usan para carpetas son:

- a) prueba de los angeles
- b) prueba Deval

**Contenido Optimo de Asfalto.** Para una carpeta, es la cantidad de asfalto que forma alrededor de las partículas una membrana, de tal espesor que sea suficiente para resistir los elementos de interperismo, es decir, que al asfalto no se oxide con rapidez y que no sea tan gruesa como para que la mezcla pierda estabilidad o resistencia y no pueda soportar las cargas de los vehículos.

### **Materiales Asfálticos.**

Son materiales bituminosos con propiedades aglutinantes, sólido o semisólidos, que se licuan gradualmente al calentarse cuyos componentes básicos son hidrocarburos.

Las funciones de los materiales asfálticos son:

- a) aglutinar el material pétreo en las carpetas de rodamiento
- b) impermeabilizar y aglutinar superficialmente las bases del pavimento
- c) cementar los materiales granulados finos en trabajos de estabilización de sub-base y base de pavimentos.

Los tipos de los materiales asfálticos son:

- a) **Cemento Asfáltico.**

Son los productos de la destilación del petróleo al que se le han eliminado sus solventes volátiles y parte de sus aceites. Dichos cementos en estado natural son sólidos o semisólidos de color café oscuro para poder ser mezclados con los materiales pétreos debe calentarse a 140° C, por lo que para ello es necesario contar con una planta.

- b) **Rebajados asfálticos**

Son cementos asfálticos a los cuales se han adicionado solventes para obtener un producto asfáltico líquido de fácil manejo durante la construcción de pavimentos.

c) **Emulsiones Asfálticas.**

Para tener un producto asfáltico que se pueda aplicar o mezclar con pétreos húmedos, se fabrican las emulsiones asfálticas, en las que el cemento asfáltico por medio de un emulsificante y un estabilizador se encuentra en suspensión de agua.

Las carpetas asfálticas deberán llenar las características que a continuación se mencionan.

- 1) No debén desplazarse por la acción del tránsito.
- 2) No deberán desintegrarse por la acción del tránsito.
- 3) Deberán ser prácticamente impermeables
- 4) Resistir sin agrietamientos las deformaciones normales de la base de pavimentación.
- 5) Presentar una superficie uniforme y de textura ligeramente aspera para hacerlas antiderrapante.
- 6) Tener una superficie que estando seca no refleje los rayos luminosos.

Las funciones principales que debe satisfacer las carpetas asfálticas son las siguientes.

- a) Proporcionar una superficie de rodamiento adecuada que permite en todo el tiempo un tránsito fácil comodo de los vehiculos.
- b) Impedir las infiltraciones del agua de lluvia hacia las capas inferiores del pavimento, que ocasionan una disminución en su capacidad para soportar cargas.
- c) Resistir la acción destructora de los vehiculos y de los agentes del interperismo.

El tipo de carpeta se elige de acuerdo al tránsito que circulará por la carretera.

### **TIPOS DE CARPETAS ASFÁLTICAS.**

Son 3 tipos de Carpetas Asfálticas más usados en el País.

- 1.- Por riegos.
- 2.- Mezclas en el lugar.

### 3.- Concretos asfálticos.

**Carpetas por el Sistema de Riegos.** Consisten en una serie de capas sucesivas de productos asfálticos y pétreos sobre la base impregnada, la forma de construir las carpetas asfálticas es la siguiente:

Sobre la base impregnada se da un primer riego de producto asfáltico que se cubre con un riego de material pétreo más grueso que se vaya a usar, por medio de una compactadora de rodillo liso de 10 tons.; se le da un acomodo haciendo tres cubrimientos de la superficie. En seguida se repite toda la operación, sólo que el material pétreo será de dimensiones menores al usado con anterioridad; en seguida, utilizando el material pétreo más fino que vuelve a repetir toda la operación; es decir, se da un riego de asfalto fluidificado, riega el material pétreo y se acomoda con un rodillo liso. Se deja una semana para que fragüe el producto asfáltico (se evaporen los solventes) y después, por medio de un barrido manual o mecánico, se retira el material fino que no este adherido al resto de la estructura. Esto es muy importante para evitar contratiempos a los usuarios, pues no se hace o se realiza en forma defectuosa, se pueden romper los parabrisas con las partículas que son expedidas hacia atrás por las llantas de los vehículos.

El tipo de carpeta que se denomina, se denomina de tres riegos, y los materiales pétreos que se utilizan tienen granulometría de tipo uniforme, es decir, de una gama corta de tamaños.

También se tienen carpetas de 2 riegos y un riego. Para las que el procedimiento de construcción es semejante, solo que en ellas se omiten una o dos de los ciclos mencionados: el correspondiente al material, para la carpeta de 2 riegos y de los materiales 1 y 2 para la de un riego.

La cantidad apropiada que se debe utilizar en cada caso depende de la densidad y absorción del material pétreo, así como del tipo de producto asfáltico que se vaya a utilizar.

**Carpetas Asfálticas de Mezcla en el lugar o en frío.** Las mezclas asfálticas elaboradas en el lugar, se ejecutan utilizando materiales pétreos de granulometría continua.

La granulometría del pétreo debe tener una forma semejante a las que marcan las fronteras entre las zonas; el material pétreo se mezcla a la temperatura ambiente; se puede utilizar en la mezcla: rebajado asfáltico FR3 (que se caliente a la temperatura adecuada) o emulsión de fraguado medio; la mezcla se puede usar con motoconformadoras o con mezcladoras semifijas.

### **Procedimiento de Construcción para mezclas elaboradas en el lugar o en frío.**

- 1.- Elección de bancos. Se hace una exploración de la zona que atravesará la obra y sus alrededores; se muestran los bancos de depósitos en ríos y arroyos los materiales de mina, los bancos de conglomerado y las rocas que pudieran utilizarse. Se obtiene el contenido óptimo de asfalto para cada material y al final, tomando en cuenta la calidad de las mezclas elaboradas y los estudios económicos, se elegirán los bancos a utilizarse en la obra de que se trate.
- 2.- Ataque de los bancos. Son materiales conglomerados o de roca firme se tendrá que hacer uso de explosivos y la extracción se hará con palas frontales o palas mecánicas se trata de materiales conglomerados, la extracción puede hacerse con palas manuales frontales o con dragas.
- 3.- Tratamientos previos. Pueden ser de cribado o triturado de acuerdo al desperdicio que tengan los materiales.
- 4.- Transporte a la obra. Después de los tratamientos previos, se transportan a la obra en donde por medio de una motoconformadora se acamellonan y se mide el volumen acarreado con lo que se hacen los ajustes necesarios, si es que falta o sobra, de acuerdo, con los espesores de proyecto y se calcula la cantidad de producto asfáltico que se requiere.
- 5.- Una vez que se ha calculado la cantidad de asfalto para regarse en un tramo de longitud determinada, se va abriendo la motoconformadora el material pétreo cubriendo parte de la corona de la obra, sobre este material se agrega asfalto, por medio de una petrolizadora, la motoconformadora volverá a abrir material acamellonado (esparcido sobre el anterior) y la petrolizadora regará otra parte del asfalto calculado. Estas operaciones se volverán a realizar hasta que se incorpore en pasadas carpetas de la petrolizadora, todo el asfalto necesario. A partir de este momento, la motoconformadora empezará a mezclar el material pétreo y el asfalto, pasándolos de un lado a otro de la corona, hasta que se homogeneice completamente el asfalto. Si el contenido de solventes en la mezcla, es mayor a 0.09 con respecto a la cantidad del Cemento Asfáltico utilizado, se seguirá moviendo la mezcla con la motoconformadora hasta que su contenido este abajo de ese valor.

- 6.- Una vez alcanzado lo anterior se procede a dar, sobre la base impregnada y barrida, un riego de liga con rebajado asfáltico FR3 en proporción de 0.7 L/M<sup>3</sup> y de inmediato se extiende la mezcla sobre la corona con un espesor constante; para que no haya segregación de materiales. Es conveniente que se acamellone toda las mezclas hacia el centro y que las motoconformadoras lo vayan extendiendo hacia las orillas a baja velocidad..
- 7.- Ya extendida la mezcla, se procede a compactarla para lo cual se procede a utilizar rodillos neumáticos o rodillos lisos o ambos con pesos entre 8 y 15 tons. hasta alcanzar el 95% del peso volumétrico de la prueba de porter estandar. Al final de la compactación se borran las huellas de los neumáticos por medio de un rodillo liso, que viene a media rueda toda la superficie compactada.

#### **Verificación de la Calidad de Mezclas Elaboradas en el Lugar.**

Consiste en conocer el contenido de asfalto y el peso volumétrico alcanzado en la compactación; con anticipación, se conocerá la granulometría del material y el porcentaje de solvente antes de la compactación, por último, se debe conocer si la permeabilidad de la carpeta es menor al 10%, ya que en el caso contrario deberá proporcionar un sello; este sello también se dará si se quiere tener una superficie de desgaste o mejorar la fricción.

#### **Carpetas de Concreto Asfáltico.**

Son mezclas de materiales pétreos y cemento asfáltico; como este último a temperatura ambiente es solido es necesario que la elaboración se efectúe en una planta en la que se caliente hasta 140°C, y por consiguiente también se calienta el material pétreo, lo que se hace hasta temperatura de 160°C. Debido a las características de Cemento Asfáltico, este tipo de carpetas tiene características de tipo elástico, con ruptura de tipo frágil y de poca resistencia, principalmente a bajas temperaturas, este tipo de carpetas no deben construirse sobre bases naturales, con módulo de elasticidad bajos que pueden tomar deformaciones bajo la acción del tránsito, sino que se deben construir sobre bases rigidizadas con cal hidratada o cemento portland o sobre bases asfálticas.

El material pétreo se utiliza en este caso, en general, es roca triturada del tipo del basalto, andesita oreolita sanos, aunque también pueden ser bancos de grava-arena, de minas playones de río arroyo; conviene que estos dos últimos tipos tengan bastante desperdicio de triturar, ya que, como muchas veces son materiales redondeados, puede ser que la mezcla no pase las normas de resistencia, pero al triturarse se producen superficies rugosas que mejoran su calidad.

### **Granulometría de Proyecto.**

Para este tipo de carpetas las normas son muy exigentes en lo que a granulometría se refiere y marcan a una sola zona granulométrica, fig. 9-1 relativamente angosta en donde debe de quedar alojada la curva de proyecto y la curva, esta en función de la dureza de los materiales y el equipo de trituración del contratista, en el que algunos casos deben hacerse cambios o ajustes para dar cumplimiento a las especificaciones.

### **Procedimiento de Construcción para Carpetas de Concreto Asfáltico**

- 1.- Se eligen los bancos de material pétreo, que en general son de roca masiva como basalto, riolitas, andesitas, calizas, o bien bancos de conglomerados o aglomerados; pero conviene que estas tengan suficiente desperdicio para ser triturados; si el tipo de material que se va a utilizar por no haber otro tiene un fuerte porcentaje de partículas lisas, es conveniente que se les produzca una superficie rugosa, pasando el material por una trituradora, aunque no sea necesario reducir los tamaños.

Los probables bancos se sondan, ya sea con maquinas rotatorias o a cielo abierto y se realizan los muestreos correspondientes, los materiales se llevan al laboratorio para realizar las pruebas de identificación y por fin hacer la selección de los bancos que se usarán en la obra, en esta etapa.

- 2.- Se hace el proyecto de granulometría en el laboratorio y se encuentra el contenido óptimo de asfalto (cemento) con base en la granulometría se calibra el abastecimiento de la planta mezcladora.
- 3.- Se hace la extracción del material, para rocas y conglomerados duros se necesitan explosivos, y para la carga se requieren desde palas manuales en aglomerados hasta palas mecánicas para fragmentos de rocas, se realiza el triturado y cribado del material, para lo cual en general se requiere de una trituradora de quijadas, una o dos de cono o de rodillos, cribas y bandas. Es conveniente que se realicen almacenamientos con 3 o 4 tamaños diferentes.

- 4.- En la planta de mezclado, se realiza un primer proporcionamiento aproximado de pétreos en frío, por medio de cargadores frontales o utilizando las compuertas de las tolvas, auxiliadas de bandas, este primer proporcionamiento se hace para que no haya posibilidades de suspender el mezclado por falta de material de algún tamaño.
- 5.- Por medio de elevadores de congilones el material se lleva al cilindro de calentamiento y de secado aquí el pétreo se calienta entre 150° C y 170° C en esta etapa, la planta produce una gran cantidad de polvo que se va a la atmósfera a no ser que se tenga un equipo especial de captación, que en actualidad es obligado para evitar la contaminación del aire.
- 6.- Ya con la temperatura necesaria, el pétreo se eleva otra vez con congilones a la unidad de mezclado en donde en primer término se hace un cribado para alimentar a 3 o 4 tolvas con material de diferentes tamaños. Se pesa la cantidad de pétreos necesaria de cada una de ellas y se deposita en la caja mezcladora en donde se provee el cemento asfáltico a una temperatura de 130° C a 140° C, se realiza la mezcla hasta su completa homogeneización y por último se hace el vaciado al Equipo de Transporte o a un silo de almacenamiento provisional.

Existen 2 tipos de plantas: de producción discontinua o de "bachas" y de producción continua. En la primera se hace un mezclado en la caja, en donde se deposita el pétreo y el asfalto a la temperatura necesaria y por medio de aspas se hace mezclado, hasta su homogeneización; en general, para llenar un camión se necesitan de 3 a 4 ciclos de mezclado. En las segundas, el material pétreo y el asfalto se proporcionan en forma continua, en un canal en el cual se tiene un tornillo sinfín de tal longitud que al final se tenga la mezcla homogénea y la producción se presenta en forma continua.

- 7.- Se transporta la mezcla al tramo, a donde debe llegar a una temperatura de 110 a 120° C para lo que si es necesario, se deben utilizar lonas que la cubran durante el trayecto.

Antes de colocar la mezcla se debe dar un riego de liga con FR-3 sobre la base impregnada en proporción 0.7 L/M al llegar el equipo de transporte al tramo, descarga su contenido en las máquinas extendedora (finisher) que forma una franja de mezcla asfáltica, evitando segregación del material y dándole una ligera compactación al terminar de vaciar un camión la mezcla que acarreo, se para el tren de extendido y luego al ensamblarse el siguiente se reanuda el trabajo, por lo que entre vehículo y vehículo se tiene una junta en donde puede

haber una discontinuidad que deberá ser cortada o reducida por un equipo de rastrilleros, que en número de 4 o 6 por extendedora, tienen como misión, además de lo anterior, la de asegurar una textura conveniente en la superficie y borrar las juntas longitudinales entre las franjas.

- 8.- A una temperatura mayor de 90° C se debe iniciar la compactación de la franja, para lo que al principio se utiliza un rodillo de aproximadamente 7 ton, para dar un primer armado y permitir posteriormente la entrada de equipo, con peso de 15 ton aproximadamente, el cual no se puede usar desde el principio, porque produce el desplazamiento de la mezcla. Se pueden utilizar rodillos lisos o neumáticos; al final se deben borrar las huellas de la compactación utilizando un rodillo liso. El grado de compactación será de 95% como mínimo, con respecto al peso volumétrico de proyecto, que no necesariamente corresponde al máximo. Para conocer este grado de compactación, se extraen corazones con maquinas rotatorias.

### **Impermeabilización de Carpetas**

Además de la compactación y de temperaturas ya indicadas, se debe controlar la cantidad de asfalto en las mezclas y la granulometría del material pétreo; a 2 o 3 días de compactada la mezcla, se hace la prueba de permeabilidad, aunque en este tipo de carpetas en general se cumple con las especificaciones respectivas; sin embargo, de ser necesario, o por requerirse de una capa de desgaste, se podrá sellar la carpeta. Una carpeta asfáltica debe ser bastante impermeable, por lo que si una carpeta nueva o una antigua no cumplen con esta característica, se deben sellar superficialmente, para lo cual se pueden utilizar principalmente dos procedimientos; riego de sello o mortero asfáltico.

### **Riego de Sello**

El tratamiento de riego de sello es similar a la construcción de la carpeta de un riego, sólo que ésta se hace sobre una base y aquel sobre una carpeta que se requiere impermeabilizarla; aunque también sirve como capa de desgaste, para mejorar el coeficiente de rugosidad y aún para señalar la superficie de rodamiento, que los conductores reconocerán por el ruido de las llantas o por el color de la superficie.

El tratamiento de mortero asfáltico, que en inglés se denomina Slurry Seal, es una mezcla íntima de arena y emulsión asfáltica de fraguado medio o lento, que al momento de colocarse, tiene una consistencia pastosa.

Existen en el mercado distintos tipos de maquinaria móvil que a la vez que mezclan los materiales, los extienden en la superficie; aunque este tratamiento en general es más costoso que el anterior tiene la ventaja que no deja partículas sueltas o semisueltas, que con el paso de los vehículos pueden salir como proyectiles a altas velocidades y que en muchas ocasiones son causa de que se rompan los parabrisas de los vehículos como puede suceder con el riego del sello. Es por esto que en aeropuertos se utiliza el mortero asfáltico, pues las actuales turbinas se dañan seriamente con las partículas sueltas. En general todas las actividades para la construcción de las carpetas deben llevarse a cabo con mucho cuidado y con buen control de calidad ya que por ejemplo, cuando se incorpora menos asfalto del necesario, la carpeta se desgranará; en caso de que se tenga más, el asfalto brotará a la superficie, tornándola lisa y resbaladiza; lo anterior se aplica en forma especial a los riegos de sello, pues si no están bien ejecutados, pueden echar a perder una carpeta de buena calidad; por ello el personal que realice este trabajo debe tener una amplia experiencia para la dosificación de los materiales pétreos, asfálticos, ya que el plazo transcurrido para colocar el material pétreo depende del tipo de productos asfálticos que se hayan utilizado: rebajado o emulsión y dentro de estas si es catiónica o aniónica.

ZONA DE ESPECIFICACION GRANULOMETRICA  
 PARA MATERIALES PETREOS QUE SE EMPLEAN  
 EN CONCRETOS ASFALTICOS

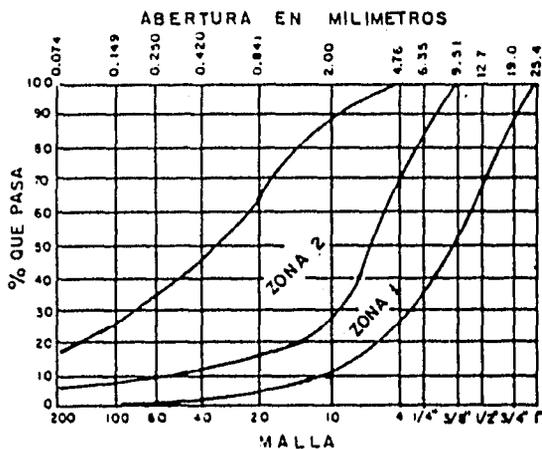
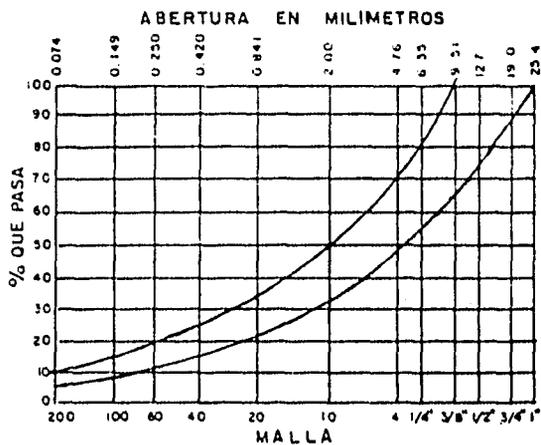


Fig. 9.- Zona en la que deben localizarse los granulometrias de los materiales petreos para (a) concretos asfálticos; (b) mezclas en el lugar

## CAPITULO X

### EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON VISTA A CONSERVACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN Y REFUERZOS

Los problemas de rehabilitación de pavimentos pueden ser inmensamente variados y van desde la colocación de riesgos de "rejuvenecimiento" o construcción de sobre-carpetas, hasta reconstrucciones integrales; también han de considerarse los problemas emanentes de las ampliaciones de sección.

Las rehabilitaciones por incremento normal deL tránsito suelen resolverse con el empleo de sobre-carpetas, en tanto que las reconstrucciones serán necesarias en pavimentos que muestren indicios de falla, consistentes en la aparición de deformaciones excesivas o en niveles muy elevados de deflexión, detectada con los instrumentos de que hoy se dispone el planteamiento de un criterio de rehabilitación es un rigor en enlistado de las circunstancias que hacen insatisfactorio el servicio de un pavimento dado; desde luego es algo mucho más complicado que la simple aparición de grietas superficiales.

Insatisfactorio no implica, desde luego, la necesidad de una falla catastrófica; puede requerir rehabilitación un pavimento que esté soportando adecuadamente muy altos volúmenes de tránsito, pero en el que se gaste más de lo conveniente en conservación.

Los siguientes son las principales normas de criterio que suelen considerarse para definir la necesidad de una rehabilitación.

a) **Nivel de Servicio**

Este concepto variará con el tipo de la vía terrestre.

b) **Condición Estructural**

Este concepto se refiere a la capacidad del pavimento para soportar las cargas del tránsito en la actualidad y seguirlo haciendo en el futuro próximo.

c) **Condiciones de la superficie**

La apariencia del pavimento (deformaciones, grietas, etc.) no necesariamente está ligada a la capacidad estructural y desde luego no lo está por una relación única y sencilla, si bien es cierto que una falta de capacidad estructural se reflejará rápidamente en la apariencia del pavimento. Muchos defectos en las condiciones superficiales pueden corregirse fácilmente con métodos que no producen ninguna mejoría real en las condiciones estructurales.

d) **Seguridad**

El concepto se valúa generalmente con base en estadísticas de accidentes.

e) **Costo**

Se refiere no sólo a la erogación necesaria para pagar la rehabilitación, sino también a los costos de conservación y de operación a que se llegue el índice de servicio se estima frecuentemente con base a la opinión de un grupo de usuarios quienes recorren el camino en condiciones normales y lo califican de algún modo.

Se ha intentado llegar a una clasificación por medio de fórmulas de regresión estadística de medidas obtenidas por procedimientos mecánicos en la superficie del pavimento.

Adicionalmente al concepto de nivel de servicio es importante considerar las condiciones de la superficie de rodamiento en lo que se refiere a agrietamientos deformaciones permanentes y cualquier otro deterioro cuya presencia, no siempre debe atribuirse a insuficiencia estructural (fig. 10-1) muestra un esquema utilizado por la Secretaría de Obras Públicas de México para efectuar el levantamiento de deterioros de pavimentos flexibles.

Por lo que se refiere a la capacidad estructural de un pavimento, esta característica se ha relacionado, para fines de valuación, con la medición de la deflexión del pavimento cuya capacidad estructural se desea valorar, las deflexiones de un pavimento flexible bajo una carga estática pueden ser determinadas con equipos tales como la viga de Benkelman o un curvimetro Dehlen.

Un deflectómetro del tipo Dynaflect permite la medición de deflexiones cuando la carga que se aplica al pavimento es dinámica.

La viga Benkelman se muestra esquemáticamente en la fig. 10-2. Un brazo D fijo se sitúa nivelado sobre el pavimento apoyado en tres puntos (un punto A y dos puntos B). Un brazo móvil  $D_1$ , girará en torno a la articulación con respecto al brazo  $D_1$  previamente nivelado (se supone que las dimensiones de la viga son tales que la posición del 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.

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.

En la misma fig. 10-2 nótese que en realidad se ha medido la recuperación de c al remover la carga y no la deformación al colocar ésta. Las distintas instituciones que han popularizado el método usan diferentes cargas en el sistema dual de llantas empleado.

El Dynaflect 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, cuyas complicaciones de detalle exceden el dominio de esta obra, viaja en un remolque arrastrado por un vehículo en que se disponen los controles de la medición. El medidor trabaja a base de un generador de fuerzas dinámicas ejercidas sobre el pavimento (impactos), cuyos efectos se recogen en un sistema de sismógrafos alineados (geófonos). Una ventaja importante del aparato es no requerir ningún punto de referencia fijo en la superficie en que se realizan las mediciones y otras es la operación automática, libre de errores de operación y susceptible de ser realizada a una velocidad relativamente alta del remolque.

La fig. 10-3 muestra un conjunto de curvas de deflexión proporcionando por el Dynaflect. Cada curva se refiere a las lecturas de los cinco geófonos que tiene el aparato al aplicar la carga de impacto en un punto; los geófonos dan lecturas más bajas según van estando más alejados del impacto. Generalmente se utiliza la lectura del primer geófono como valor del cálculo, pero al dibujar las lecturas de los cinco se obtiene una gráfica cuya inclinación, quiebres y cambios de pendiente puedan dar a un interprete experimentado una imagen cualitativa muy clara del estado en que se encuentra el pavimento, en el espesor de influencia del proceso dinámico; desde este punto de vista el Dynaflect realiza una especie de estudio geofísico del espesor influido.

Fig.101 Condiciones superficiales del pavimento flexible

Camino o Aeropuerto _____			
Observador _____	Tramo de		
Fecha _____			
0 Ninguna 1 Menor 2 Moderada 3 Mayor 4 Severa  -0 } Muy Bien -9 } A -8 } -7 } Bien -6 } B -5 } Regular -4 } C -3 } Pobre -2 } D -1 } Muy Pobre 0 }	TIPO GRIETA	Fisuración Longitudinal Transversal Poliedrica (7.5cm Aprox) Poliedrica (15 cm Aprox) En forma de rapa (>30cm) Reflexión Menor que 0.3175 cm (1/8") Menor que 0.635 cm (1/4") Mayor que 0.635 cm (1/4") Desprendimiento Local Desprendimiento general Deformación Transv. Marcada Deformación Longitudinal Distorsión Asentamiento Subrasante Bacheo Superficial Bacheo Profundo Reconstrucción Localizada Rugosidad Superficial Drenaje Superficial Subdrenaje Condiciones generales Calificación General Trabajos Requeridos	
	Observaciones ( Drenaje )		
Observaciones :			

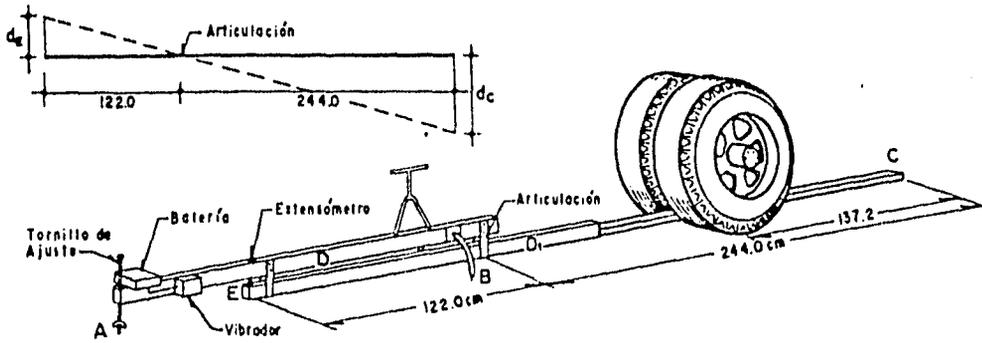


Fig. 10-2 Esquema del deflectómetro Benkelman.

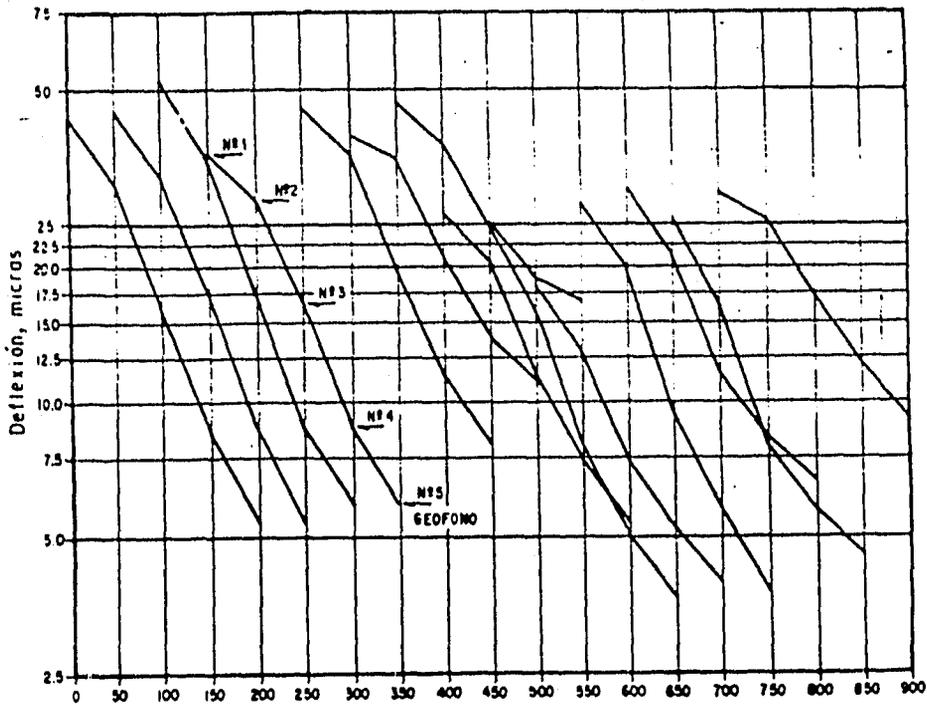


Fig 10-3 Longitud sobre la carretera, en m

## CAPITULO XI

### EL EFECTO DE LOS SUELOS EXPANSIVOS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

En la construcción de vías terrestres en muchos sitios es preciso utilizar suelos arcillosos o con muy importante contenido de arcillas. Muy frecuentemente estos suelos presentan marcadas características de expansividad; son los suelos activos cuya característica es sufrir grandes cambios de volumen cuando varía su contenido de agua, es común la presencia de estos suelos en las terracerías y en la capa subrasante. En regiones áridas los suelos activos suelen encontrarse con contenidos de agua muy bajos y es frecuente que pierdan por acción solar parte del agua que se les incorpore durante el proceso de compactación, con la consecuencia de que al pasar más tiempo pueden volver a aumentar su contenido de agua por la natural tendencia a acumularse ésta bajo la superficies cubiertas por los pavimentos o por efecto natural humedecimiento que acompaña a las estaciones lluviosas; en tales zonas áridas existirá siempre una mayor tendencia a los cambios en el contenido de agua para efecto climático.

Estos cambios producen en los suelos activos muy nocivos efectos, sobre todo en lo referente a la estabilidad volumétrica y a las características de resistencia al esfuerzo cortante.

Los siguientes son los efectos principales que un *suelo expansivo* puede sufrir en un pavimento flexible.

- a) Contracción por secado.
- b) Expansión por humedecimiento.
- c) Desarrollo de presiones de expansión en los suelos confinados en que se restringe la expansión.
- d) Disminución de la resistencia al esfuerzo contante y de la capacidad de carga como consecuencia de la expansión.

Es común que varios de estos efectos se presenten simultáneamente, de los hechos anteriores en un pavimento flexible son generalmente de uno o más de los siguientes cuatro tipos:

- a) Elevaciones o descensos de la superficie de rodamiento en una longitud importante, que se traducen en desigualdades e irregularidades, aunque no produzcan agrietamiento y otros daños visibles.
- b) Agrietamiento longitudinal.
- c) Deformaciones significativas localizadas por ejemplo en torno a las alcantarillas, generalmente acompañadas de agrietamiento.
- d) Agrietamiento generalizado (piel de cocodrilo) en la carpeta, con tendencia a desintegración.

De los daños anteriores, seguramente el primero es el más frecuente; puede ser medido por rugosidad, el agrietamiento longitudinal acompaña usualmente al ascenso o descenso de la carpeta.

Cualquier intento para tomar en cuenta la presencia de los suelos expansivos en el comportamiento de un pavimento flexible, es necesario la estimación de las condiciones de humedad y las propiedades significativas en el momento de la construcción y en la estimación de los cambios de contenido de agua que van a ocurrir durante la vida útil del pavimento. También será de máxima utilidad la clasificación de suelos finos, bien sea en laboratorio o en el campo que se detectará en forma sencilla la presencia de suelos expansivos.

Existen varios métodos de clasificación de los suelos expansivos entre ellos podemos mencionar:

- a) Skempton
- b) Bureau of Reclamations de los EUA
- c) Mc Dowell
- d) Seed

De todos los métodos de clasificación anteriores según resultados el más apropiado es el propuesto por el Bureau of Reclamations de los USA por haber sido establecido tomando en cuenta un mayor número de factores.

El Bureau of Reclamations de los E.U.A. realizó un intento para clasificar a las arcillas desde el punto de vista de la intensidad de su potencial de expansión.

En realidad el potencial de expansión se define en términos de varias otras características de la arcilla, grado de expansión, límite de contracción, el índice de plasticidad, el porcentaje de partículas menores que una micra y la expansión libre.

Cada día es más amplia la tecnología de laboratorio que se va desarrollando, para medir la tendencia a expansión de los suelos y las presiones de expansión que se producen en diferentes circunstancias.

Las presiones de expansión que obtienen en el laboratorio dependen de las condiciones y los tiempos de humedecimiento y de carga y de la secuencia con que se permite la expansión y se aplican las cargas. También dependen del tiempo que se deja transcurrir antes de la medida, pues se ha visto que es preciso que transcurra un cierto lapso para que se desarrolle el potencial de expansión por completo.

Se ha encontrado que cuando se destruye la estructura de un suelo natural y después se compacta al mismo peso específico seco y con el mismo contenido de agua originales, el potencial de expansión del suelo aumenta, esto puede explicarse en términos de la energía que se da a la arcilla remodelada cuando se compacta y que se libera cuando la arcilla se humedece en el proceso de expansión, en tanto que el suelo en su estado natural había ya liberado mucha de su energía en procesos anteriores de humedecimientos y secado a lo largo de su historia. Se ha visto que el potencial de expansión es mayor en los suelos compactados con métodos estáticos que con métodos por impactos.

Aspecto importante es sin duda la predicción en el campo de potencial de expansión. Antes de la construcción del pavimento la arcilla en la zona activa sufre cambios continuos en el contenido de agua y en el peso específico seco, así como en la presión de succión. En la época de sequía la presión de succión aumenta, lo mismo que el peso específico seco, y el contenido de agua disminuye. Si en esta época la superficie del suelo se cubriera, se producirían los efectos contrarios, es decir, el contenido de agua se incrementaría y la presión de succión, así como el peso volumétrico seco disminuirían; lo anterior ocurriría unido a una expansión y cuanto de superficie del terreno.

Después de algunos años de construido el pavimento en su sección central se alcanza un equilibrio en la distribución del contenido de agua y de la presión de succión con la profundidad. Como la magnitud de la expansión depende de la composición de la arcilla, de su estructura, historia de esfuerzos, contenidos inicial humedad y del peso específico seco durante la construcción del pavimento, así como de la sobrecarga y de la carga negativa del agua en contacto con la arcilla, la predicción de la magnitud de expansión no es tan fácil.

En el empeño de lograrlo se han originado varios métodos los mas en uso son el de McDowell, y el de Jennings.

La expansión depende en realidad de la trayectoria de esfuerzos a que se sujete el suelo.

## CAPITULO XII

### EL EFECTO DE LOS SUELOS EXPANSIVOS EN LOS PAVIMENTOS RIGIDOS

En la construcción de vías terrestres en muchos sitios es preciso utilizar suelos arcillosos o con muy importante contenido de arcillas. Muy frecuentemente estos suelos presentan marcadas características de expansividad; son los suelos activos cuya característica es sufrir grandes cambios de volumen cuando varía su contenido de agua, es común la presencia de estos suelos en las terracerías y en la capa subrasante. En regiones áridas los suelos activos suelen encontrarse con contenidos de agua muy bajos y es frecuente que pierdan por acción solar parte del agua que se les incorpore durante el proceso de compactación, con la consecuencia de que al pasar más tiempo pueden volver a aumentar su contenido de agua por la natural tendencia a acumularse ésta bajo la superficies cubiertas por los pavimentos o por efecto natural humedecimiento que acompaña a las estaciones lluviosas; en tales zonas áridas existirá siempre una mayor tendencia a los cambios en el contenido de agua para efecto climático.

Estos cambios producen en los suelos activos muy nocivos efectos, sobre todo en lo referente a la estabilidad volumétrica y a las características de resistencia al esfuerzo cortante.

Los siguientes son los efectos principales que un *suelo expansivo* puede sufrir en un pavimento flexible.

- a) Contracción por secado.
- b) Expansión por humedecimiento.
- c) Desarrollo de presiones de expansión en los suelos confinados en que se restringe la expansión.
- d) Disminución de la resistencia al esfuerzo cortante y de la capacidad de carga como consecuencia de la expansión.

Es común que varios de estos efectos se presenten simultáneamente, de los hechos anteriores en un pavimento flexible son generalmente de uno o más de los siguientes cuatro tipos:

- a) Elevaciones o descensos de la superficie de rodamiento en una longitud importante, que se traducen en desigualdades e irregularidades, aunque no produzcan agrietamiento y otros daños visibles.
- b) Agrietamiento longitudinal.
- c) Deformaciones significativas localizadas por ejemplo en torno a las alcantarillas, generalmente acompañadas de agrietamiento.
- d) Agrietamiento generalizado (piel de cocodrilo) en la carpeta, con tendencia a desintegración.

De los daños anteriores, seguramente el primero es el más frecuente; puede ser medido por rugosidad, el agrietamiento longitudinal acompaña usualmente al ascenso o descenso de la carpeta.

Cualquier intento para tomar en cuenta la presencia de los suelos expansivos en el comportamiento de un pavimento flexible, es necesario la estimación de las condiciones de humedad y las propiedades significativas en el momento de la construcción y en la estimación de los cambios de contenido de agua que van a ocurrir durante la vida útil del pavimento. También será de máxima utilidad la clasificación de suelos finos, bien sea en laboratorio o en el campo que se detectará en forma sencilla la presencia de suelos expansivos.

Existen varios métodos de clasificación de los suelos expansivos entre ellos podemos mencionar:

- a) Skempton
- b) Bureau of Reclamations de los EUA
- c) Mc Dowell
- d) Seed

De todos los métodos de clasificación anteriores según resultados el más apropiado es el propuesto por el Bureau of Reclamations de los USA por haber sido establecido tomando en cuenta un mayor número de factores.

El Bureau of Reclamations de los E.U.A. realizó un intento para clasificar a las arcillas desde el punto de vista de la intensidad de su potencial de expansión.

En realidad el potencial de expansión se define en términos de varias otras características de la arcilla, grado de expansión, límite de contracción, el índice de plasticidad, el porcentaje de partículas menores que una micra y la expansión libre.

Cada día es más amplia la tecnología de laboratorio que se va desarrollando, para medir la tendencia a expansión de los suelos y las presiones de expansión que se producen en diferentes circunstancias.

Las presiones de expansión que obtienen en el laboratorio dependen de las condiciones y los tiempos de humedecimiento y de carga y de la secuencia con que se permite la expansión y se aplican las cargas. También dependen del tiempo que se deja transcurrir antes de la medida, pues se ha visto que es preciso que transcurra un cierto lapso para que se desarrolle el potencial de expansión por completo.

Se ha encontrado que cuando se destruye la estructura de un suelo natural y después se compacta al mismo peso específico seco y con el mismo contenido de agua originales, el potencial de expansión del suelo aumenta, esto puede explicarse en términos de la energía que se da a la arcilla remoldeada cuando se compacta y que se libera cuando la arcilla se humedece en el proceso de expansión, en tanto que el suelo en su estado natural había ya liberado mucha de su energía en procesos anteriores de humedecimientos y secado a lo largo de su historia. Se ha visto que el potencial de expansión es mayor en los suelos compactados con métodos estáticos que con métodos por impactos.

Aspecto importante es sin duda la predicción en el campo de potencial de expansión. Antes de la construcción del pavimento la arcilla en la zona activa sufre cambios continuos en el contenido de agua y en el peso específico seco, así como en la presión de succión. En la época de sequía la presión de succión aumenta, lo mismo que el peso específico seco, y el contenido de agua disminuye. Si en esta época la superficie del suelo se cubriera, se producirían los efectos contrarios, es decir, el contenido de agua se incrementaría y la presión de succión, así como el peso volumétrico seco disminuirían; lo anterior ocurriría unido a una expansión y cuanto de superficie del terreno.

Después de algunos años de construido el pavimento en su sección central se alcanza un equilibrio en la distribución del contenido de agua y de la presión de succión con la profundidad. Como la magnitud de la expansión depende de la composición de la arcilla, de su estructura, historia de esfuerzos, contenidos inicial humedad y del peso específico seco durante la construcción del pavimento, así como de la sobrecarga y de la carga negativa del agua en contacto con la arcilla, la predicción de la magnitud de expansión no es tan fácil.

En el empeño de lograrlo se han originado varios métodos los mas en uso son el de McDowell, y el de Jennings.

La expansión depende en realidad de la trayectoria de esfuerzos a que se sujete el suelo.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se comentó una breve historia de los caminos y la evolución de los vehículos y la transformación de las vías terrestres.

Es de gran importancia conocer los factores que intervienen en la construcción en la construcción de un pavimento ya que influyen en su funcionamiento: como son económico, características de los materiales de construcción, calidad de los materiales, tratamiento y posición de las capas que se usan, condiciones de clima y drenaje, etc.

Y así se podrá determinar que tipo de maquinaria se usará en la obra.

Es importante conocer la distribución de esfuerzos de una obra vial originadas por las cargas impuestas por el tránsito sobre la superficie de rodamiento ya sea una calle, un aeropuerto o una carretera.

Se menciona como se estructura un pavimento flexible y sus secciones transversales.

Es importante conocer la elección de los materiales de la capa subrasante y procedimiento constructivo considerando sus especificaciones.

Es importante que las capas de base y sub-base deben ser seleccionados los materiales y su granulometría, tratamiento y su proceso constructivo, ya que son las capas que llevan acabo la distribución de esfuerzos.

Se menciona el método para el calculo de espesores ya que por experiencia obtenida por los ingenieros proyectistas, el método mas adecuado es el de la porter modificada.

También se hablo de algunos tipos de fallas en los pavimentos y sus diferentes alternativas para su solución.

Se menciona la carpeta asfáltica y tipos de carpetas.

Es necesario conocer la evaluación de los pavimentos para saber en que indice de servicio se encuentran.

Es importante conocer el efecto de los suelos expansivos y su comportamiento en los pavimentos flexibles y rígidos.

Por último de acuerdo a lo expuesto en esta tesis se puede mencionar que para obtener un pavimento funcional y económico es necesario hacer un estudio detallado de la calidad de los bancos de materiales que se emplearan en la construcción del mismo así mismo se requiere de un proyecto que se haya desarrollado con las tecnologías más acordes a los requerimientos del país y por último es necesario contemplar que el proceso constructivo se apegue a los lineamientos marcados por el proyecto en cuanto a normas de calidad espesores de la capa y grados de compactación.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1) Estructuración de Vías Terrestres  
Ing. Fernando Olivera Bustamante
- 2) Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres Vol. 2  
Alfonso Rico y Hermilio del Castillo
- 3) Vías de Comunicación  
Ing. Carlos Crespo Villaz
- 4) Proyecto y Construcción de Carreteras  
Georges Jeuffroy
- 5) Firms de Carreteras y Autopistas  
Gonzalo Nava Cerrado Farías
- 6) Firms de Carreteras y Autopistas  
Erio Prandí
- 7) Ingeniería de Carreteras  
Clarkon H. Oglesby
- 8) Manual de Pavimentos  
Jesús Moncayo U.
- 9) Normas para Construcción de Carreteras  
S.C.T. Libros 3
- 10) Diseño Estructural de Carreteras con Pavimento Flexible  
Santiago Corro C.  
UNAM Instituto de Ingeniería