

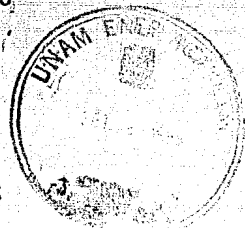
34  
2ei



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

MANTENIMIENTO Y - O REHABILITACION  
DE CAMINOS



T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
LICENCIADO EN INGENIERIA CIVIL

P R E S E N T A :

DANIEL VERDIN BALDERAS



ACATLAN, EDO. DE MÉXICO.

1988.

**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 está 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.

## I N D I C E

Pág.

INTRODUCCION .....	
CAPITULO I ANTECEDENTES TEORICOS .....	12
I.1 Conocimientos previos	
I.1.1 Terraplén	
I.1.2 Capa subrasante	
I.2 Pavimentos .....	14
I.2.1 Pavimento definición	
I.2.2 Pavimento flexible	
I.2.3 Pavimento rígido	
I.2.4 Pavimento mejorado	
I.2.5 Descripción de las capas que constituyen a un pavimento flexible .....	17
I.2.5.1 Sub-base	
I.2.5.2 Base	
I.2.5.3 Carpeta	
I.2.6 Caminos vecinales .....	19
I.2.6.1 Definición de camino vecinal	
I.2.6.2 Importancia de los caminos vecinales	
I.2.6.3 Características	
I.3 Especificaciones de construcción para pa vimentos .....	22
CAPITULO II MANTENIMIENTO .....	25
II.1 Generalidades	
II.1.1 Factores a considerar en el manteni-- miento.	

	Pág.
II.2 Clasificación de la transitabilidad .....	25
II.3 Clasificación administrativa .....	26
II.4 Clasificación técnica oficial .....	26
II.5 Clasificación de capacidad .....	27
II.6 Estado actual del camino .....	28
II.7 Presupuesto en el mantenimiento .....	28
II.8 El tránsito en el mantenimiento .....	29
II.9 Actualización del proyecto geométrico ori- ginal del camino .....	29
II.10 Tipos de fallas .....	31
II.10.1 Falla funcional	
II.10.2 Falla estructural	
II.11 Fallas en las capas de un pavimento flexi- ble típico .....	33
II.11.1 Falla en la carpeta	
II.11.2 Falla en la base	
II.11.3 Falla en la sub-base	
II.12 Tipos y causas de fallas .....	35
II.13 Descripción de las fallas más comunes en una sección estructural .....	36
II.14 Mantenimiento y/o rehabilitación .....	39
II.14.1 Generalidades de mantenimiento	
II.14.2 Conservación de pavimentos flexibles	
II.14.2.1 Conservación preventiva	
II.14.3 Mantenimiento en caminos vecinales .....	44
II.14.3.1 Desmonte	
II.14.3.2 Especificaciones para efectuar la roza y la tala	



II.14.3.3 Tala	
II.14.3.4 Rastreos	
II.14.3.5 Técnica de rastreo	
II.14.4 Construcción de sobrecarpetas .....	48
II.14.5 Tipos de carpetas asfálticas	
II.14.5.1 Tratamientos superficiales	
II.14.5.2 Macadam asfáltico	
II.14.5.3 Mezcla en el lugar	
II.14.5.4 Mezcla en planta	
II.14.5.5 Concreto asfáltico	
II.15 Riego de impregnación .....	49
II.16 Tratamiento superficial simple .....	49
II.17 Tratamiento superficial doble .....	50
II.18 Tratamiento superficial triple .....	50
II.19 Macadam asfáltico .....	51
II.20 Mezcla en el lugar .....	53
II.21 Mezcla en planta con modificación por vo- lúmen .....	54
II.22 Concretos asfálticos .....	54
II.23 Requerimientos de compactación .....	56
II.24 Requerimientos de carpeta terminada .....	58
II.25 Reconstrucción de carpetas .....	59
II.26 Reconstrucción de la estructura: de un pa- vimento flexible .....	61
II.27 Ampliación de caminos .....	62
II.28 Mantenimiento de otras obras importantes.	63
II.28.1 Acotamientos	
II.28.2 Taludes	

II.28.3 Cortes	
II.28.4 Terraplenes	
II.28.5 Remoción de derrumbes	
II.28.6 Relleno de deslaves	
II.28.7 Desviaciones	
II.29 Maquinaria de construcción y conservación de caminos .....	69
II.29.1 Motoconformadora	
II.29.2 Tractores sobre orugas	
II.29.2.1 Utilización de los bulldozer	
II.29.2.2 Tractores sobre neumáticos	
II.29.3 Escarificador .....	72
II.29.4 Escrepas .....	74
II.29.5 Moto-escrepas .....	75
II.29.6 Equipo de compactación .....	75
II.29.6.1 Rodillos pata de cabra .....	76
II.29.6.2 Aplanadoras de rodillos metálicos lisos .....	30
II.29.6.3 Aplanadores de rodillos de rejilla .....	82
II.29.6.4 Rodillos de ruedas segmentadas ..	82
II.29.6.5 Rodillos vibratorios .....	32
II.29.6.6 Compactadores combinados .....	83
II.29.6.7 Aplanadoras de neumáticos.....	83
II.29.7 Barredor .....	85
II.29.8 Esparcidores de materiales pétreos.	86
II.29.9 Petrolizadora	
II.29.10 Máquinas estabilizadoras	

	Pág.
CAPITULO III CALIDAD DEL PAVIMENTO .....	83
III.1 Estudios previos	
III.1.1 Condiciones de superficie	
III.2 Estado de la superficie de rodamiento	
III.3 Estado de la sección estructural	
III.4 Estado de las obras de drenaje y subdrenaje	
III.5 Índice de servicio actual .....	89
III.6 Dispositivos de evaluación superficial.	90
III.7 Dispositivos de evaluación estructural.	
III.8 Calificación actual del pavimento .....	92
III.8.1 Evaluación de la superficie de rodamiento en función de la seguridad ...	95
III.8.2 Dispositivos para obtener el número de deslizamientos de un pavimento....	95
III.8.3 Evaluación de la estructura de un pavimento	
III.8.4 Muestreo y sondeo	
III.8.4.1 Método de evaluación de la estructura del pavimento	
Métodos no destructivos	
Métodos destructivos .....	96
III.9 Métodos de reconstrucción de pavimentos flexibles .....	100
III.9.1 Diseño de estructuras nuevas .....	101
III.9.2 Diseño de refuerzo o modificaciones .	102
III.9.2.1 Método del I.I.U.N.A.M. ....	102
III.10 Pruebas de laboratorio de materiales -	

	Pág.
pétreos empleados en carpetas asfálti- cas .....	108
III.10.1 Características	
III.10.2 Pruebas de laboratorio	
III.11 Pruebas de Laboratorio .....	117
III.11.1 Pruebas en material pétreo	
III.11.2 Clasificación de las muestras	
III.11.3 Propiedades índice de los materiales - pétreos	
III.12 Asfaltos .....	122
III.12.1 Características	
III.12.2 Usos	
CAPITULO IV DRENAJE Y SUBDRENAJE .....	130
IV.1 Drenaje y subdrenaje	
IV.1.1 Tipo de drenaje y subdrenaje	
IV.1.2 Objetivo del drenaje y subdrenaje	
IV.2 Clasificación del drenaje .....	132
IV.2.1 Drenaje superficial	
IV.2.2 subdrenaje	
IV.3 Mantenimiento .....	140
IV.3.1 Conservación preventiva	
IV.3.2 Conservación correctiva	

## I N T R O D U C C I O N

Países que en la actualidad presentan altas perspectivas de desarrollo como el nuestro, requieren de una infraestructura de caminos y carreteras importantes.

El gobierno de México a través del S.C.T., durante las últimas décadas se ha tomado la tarea de construir caminos que proporcionen un intercambio comercial importante. Se han construido cientos de kilómetros de caminos que han comunicado poblaciones que antes se encontraban parcialmente desligadas y que tenían un alto grado de productividad. Todas estas circunstancias, han ocasionado que caminos vecinales, carreteras estatales y federales principalmente, se vean incrementados sus niveles de tránsito en forma considerable y como consecuencia el diseño del pavimento se vea rebasado en cuanto a su vida útil se refiere.

Al incrementarse el número de vehículos que circulan por los caminos y carreteras, éstas sufren desgastes y asentamientos entre otras fallas bien conocidas, que al combinarse con los efectos del intemperismo hacen que las condiciones originales del pavimento, concretamente su carpeta, se vean modificadas y se tenga que dar un mantenimiento y/o rehabilitación casi inmediata con el objeto de que dichos efectos no perjudiquen más a la estructura del pavimento y se tenga que reconstruir por completo.

Carreteras de Cuota y Federales, debido a que el Gobierno Federal las controla, sí presentan un mantenimiento y/o rehabilitación importante, aunado a ésto, son las que presentan los mayores índices de transitabilidad y por consiguiente las que mayores fondos de la Federación requieren.

Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, se encarga de establecer la cuota de paso que ha de cobrarse a los usuarios por hacer circular sus vehículos de acuerdo con las características de los mismos. Dicha cuota servirá para que en coordinación con el Departamento de Conservación de Caminos dependiente --

del S.T.C., dicten y realicen las obras de rehabilitación o reparación necesarias, una vez que se han dictaminado el grado de deterioro de los caminos.

Aspectos, tales como, drenaje y sub-drenaje son de vital importancia en cuando a conservación de caminos se refiere, por consiguiente, será necesario llevar a cabo una supervisión periódica con el objeto de verificar que las obras de desalojo de agua se encuentran en perfecto estado y en caso contrario tomar las medidas necesarias para hacerlas funcionar a la capacidad para la cual fueron diseñadas, evitando así que el agua erosione por completo la carpeta y penetre en todo el terraplén en el caso de los pavimentos flexibles o en las terracerías de un camino.

Las condiciones de drenaje y sub-drenaje de las vías terrestres son seguramente uno de los puntos más importantes para definir tanto la vida útil del pavimento, como su necesidad de conservación. La degradación estructural de los materiales constructivos por carga repetida, es otro aspecto importante a reflejarse en los requerimientos de mantenimiento.

Es frecuente que la carretera y caminos sufran falta de conservación, con lo que su vida se acorta. Es pues, el objetivo de ésta tesis establecer las normas y procedimientos a seguir para la rehabilitación de un tramo de camino o carretera, según el caso, una vez que ha sido dañado por los efectos ya mencionados con anterioridad.

No cabe duda entonces, que el gobierno de México debe de estar conciente que antes de construir más carreteras y caminos será necesario intensificar los programas de conservación con las ya existentes.

## ANTECEDENTES HISTORICOS.

Cuando los españoles llegaron a 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, para asombro de los extranjeros, contaban con un buen número de calzadas de piedra, así como una considerable cantidad de caminos, veredas y senderos.

Los principales constructores en aquel entonces eran los Aztecas y los Mayas que por sus actividades comerciales y bélicas, utilizaban ampliamente los caminos; también se preocupaban por su mantenimiento y conservación, emitiendo leyes sobre la manera y la época en que debían repararse, que casi siempre era al finalizar la temporada de lluvias. Dichos caminos fueron de gran importancia para Cortés, ya que éstos les permitían movilizarse a pie y a caballo, así como para transportar sus víveres y armamentos.

A raíz de la colonización, se produjo un sensible mejoramiento de los caminos ya existentes y la construcción de muchos más -- que debido a las condiciones predominantes originaron las primeras modificaciones a los viejos caminos. Posteriormente, debido a que la comunicación del Centro de la Nueva España con sus puertos marítimos era un tanto deficiente, requería entonces la construcción de caminos adecuados para enviar a España los variados ricos productos del país y para hacer llegar a la capital los que arribaban del extranjero.

Todo este desarrollo económico que produjo la colonización -- trajo consigo que se construyeran caminos que comunicaran las entidades más importantes del territorio nacional, dando origen a la construcción del primer camino que se hubo de construir en la Nueva España en el año de 1522, que unía las ciudades de México-Veracruz. Décadas más tarde con la introducción de la carreta se siguieron construyendo más y más caminos, creándose diferentes dependencias por parte del Gobierno de México encargadas de la construcción y mantenimiento de los mismos.



La revolución mexicana, iniciada en 1910, provocó en el país una profunda conmoción que por largos años impidió la realización de todo intento de carácter constructivo. La inestabilidad de los gobiernos de aquella época permitían solamente atender los aspectos sociales y políticos; pero hacía imposible formular planes o programas de obras materiales de cualquier naturaleza.

#### APARICION DEL AUTOMOVIL.

Una verdadera revolución produjo a principios del siglo XX la aparición del automóvil, hubieron de modificarse casi por completo los viejos sistemas de transportación por carretera. Entre 1918 y 1920 influyó más el incremento y modificación de los caminos, que en los cuatrocientos años anteriores de nuestra historia.

Las condiciones geométricas y físicas eran las adecuadas a las limitadas exigencias de los vehículos de tracción animal, entre los cuales destacaba principalmente su reducida velocidad, pero los nuevos vehículos exigieron caminos con diferente 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 a las exigencias de los nuevos vehículos. Sucitiéndose hasta nuestros días un alto incremento de tránsito por las carreteras, que han llegado a la saturación absoluta en algunas de ellas, por lo cual, será necesario llevar a cabo la construcción de más caminos atendiendo un aspecto muy importante de estos: Su mantenimiento y Conservación.



## GENERALIDADES.

Muchas obras de ingeniería se contruyen hoy en día en países que se encuentran ante la alternativa de una economía más provechosa y productiva, en bien de la sociedad.

Han habido adelantos tecnológicos bastante importantes en cuanto a ingeniería se refiere, y esto ha traído como consecuencia que países como el nuestro vayan definiendo su futuro de manera prometedora. Si bien es cierto, que ha habido adelanto también lo es que se han descuidado aspectos muy importantes en cuanto a obras infraestructura se trata.

Lo anterior no quiere decir que los diseños y proyectos hayan sido inadecuados, si no que no se ha tenido responsabilidad suficiente para mantener nuestras obras (por ejemplo en vías terrestres), a las mínimas capacidades que se requieren.

Por tal, el objetivo de esta tesis es concientizar y de alguna manera contribuir a que el ingeniero en las vías terrestre, tenga presente que el mantenimiento de las mismas es imperativo en esta época en que los costos de reconstrucción y rehabilitación son altos y entorpecedores. Así pues, se tratará de establecer ciertas normas y procedimientos a seguir en el mantenimiento y/o rehabilitación de caminos mediante una adecuada y oportuna conservación.

## TEORIA DE MANTENIMIENTO.

El mantenimiento de un camino consiste en una serie de operaciones que tienen por objeto mantener en buen estado el sistema estructural que compone dicho camino, en beneficio del usuario, para que al transitarlo se sienta cómodo y seguro, sin riesgos que sean inherentes al camino, así como para evitar que sea destruido y deteriorado por el constante tránsito de vehículos y por los agentes del intemperismo.

Se debe establecer un mantenimiento y conservación periódica con el objeto de no modificar las condiciones por las cuales fue construido el camino.

La dirección General de Conservación, dependiente del S.C.T., asume las labores de conservación y su finalidad será la de mantener el camino en buenas condiciones de transitabilidad y seguridad para el usuario, realizando una serie de operaciones en las partes que componen el camino, tales como: superficie de rodamiento, base sub-base, terracerías, acotamientos, obras de drenaje, etc. teniendo que realizar las mejoras que se consideren necesarias lo más rápido posible. En algunas ocasiones los caminos y carreteras ya no solo requieren de un simple riego o la sobreposición de una carpeta asfáltica de mayor espesor, sino que es imprescindible la reconstrucción parcial ó total de algún tramo de camino. REF. 9

La reconstrucción tiene por objeto, sin modificar las especificaciones geométricas ó estructurales, reparar el camino que ha sido usado después de varios años de construído, en los que se han registrado incrementos en cuanto al número de vehículos y cargas de los mismos, los deterioros que sufre el camino por estas causas los trabajos de conservación normal resultan insuficientes para mantenerlo en buenas condiciones y los desperfectos aumentan considerablemente, es entonces cuando hay que decidirse por su reconstrucción en aquellos tramos que lo ameriten.

Es importante hacer notar que algunas veces los daños que sufre el camino no se debe a que haya sido mal construído, sino por el uso a que ha estado expuesto por un tiempo más o menos largo, el cual fue previsto durante la etapa de diseño, pero que por el aumento de las cargas y el mayor número de repeticiones aunadas al efecto destructivo de la intemperie, las especificaciones con las que fue construído resulten inadecuadas.

Los diseños de vida útil de pavimentos flexibles para caminos de 20 ó más años resulta por demás incosteable, ya que requerirían espesores bastante grandes. En cambio si en un período aproximado de cada 10 años vamos reforzando los espesores de pavimento originales según lo requieran el tránsito de vehículos y las cargas, estaremos en la posibilidad aún cuando muy restringida de tener una red de caminos y carreteras en buenas condiciones.

Como se mencionó anteriormente, la reconstrucción se impone cuando la conservación normal es insuficiente, y además costosa para mantener el camino debidamente. La reconstrucción puede consistir en la construcción de una carpeta asfáltica de 5 a 10 cm. de espesor, previa renivelación de la carpeta antigua y del bacheo correspondiente si el tramo lo merita; puede suceder que sea necesario además aumentar el espesor de la base por lo que la reconstrucción abarca desde esa capa. REF. 1

Muchas carreteras fueron construidas de acuerdo con las normas existentes en su tiempo y tienen solamente 5.50 m. de anchura o menos. La velocidad de tráfico mayor y la mayor anchura admitida legalmente en los vehículos exigen por razones de seguridad franjas de tráfico de una anchura mínima de 3.60 m. Como consecuencia, se ha convertido en uso corriente carreteras de 7.20 m. ó más. --- REF. 8

La nivelación y construcción de un nuevo pavimento para perfeccionar las cualidades de la superficie constituye una forma de mejoramiento de carreteras. Este tipo de mejoras se presenta cuando las especificaciones de trazo horizontal y vertical ya no son congruentes con las exigencias del tránsito de vehículos, tales como, aumento de velocidades y cargas transportadas.

El incremento de tránsito y la amenaza de la intemperie ha contribuido a la labor destructora de la superficie de rodamiento de infinidad de caminos.

La acción de la intemperie ha sido muy representativa en el mantenimiento de las carreteras y dentro del alto costo que significa su conservación han influido factores tales como:

- Espesores inadecuados
- Mala calidad de los materiales
- Incrementos de tránsito imprevistos no contemplados en el diseño.

Dichas desaveniencias merman la capacidad del camino y nos vemos en la necesidad de construir un refuerzo de pavimento bien planeado en base a un estudio tal que nos reduzca el costo de conservación.

Cientos de kilómetros de carreteras construídos hace años para tráfico lento, presentan una proporción considerable de irregularidades superficiales. Las principales razones que han exigido la nivelación y construcción de los nuevos pavimentos es la consolidación y asiento adicionales de las terracerías y de las capas que constituyen la estructura del camino.

#### REHABILITACION DE CAMINOS.

En la modernización de las carreteras y caminos existentes, la nivelación y construcción de un nuevo pavimento se realizan a la vez que el ensanche; sin embargo pueden darse casos en que el camino existente tenga la anchura necesaria no siendo preciso portanto el ensanche o aumento de carriles en su caso. Las reconstrucciones y modernizaciones son motivo de constantes estudios para definir las soluciones más apropiadas, seleccionando los tramos que deben tener preferencia en su reconstrucción para evitar molestias al tránsito, por las condiciones en que se encuentran las superficies de rodamiento las cuales, se agravan principalmente con las lluvias.

Dentro del mantenimiento, podemos hablar de algunos otros ejemplos de reconstrucción como el modificar la rasante y el sistema de drenaje del camino, o de los estudios de las zonas de falla de la carretera, o bien, de algunas modernizaciones que aparentemente se hacen necesarias.

De lo mencionado anteriormente, podemos decir que si bien es necesario realizar inversiones para ampliar y reconstruir caminos, cuando los ya existentes empiezan a padecer el efecto demoleedor de un tránsito que día a día se incrementa, lo es también, el alargar la vida de aquellas carreteras que durante escasas horas de un día

acusar señales de saturación, sin tener que recurrir a grandes inversiones para su ampliación sin perjudicar la buena fluidez del tránsito, este tipo de criterio nos liberará fondos para ampliar nuestra capacidad de conservación a lo largo de los caminos.

El mantenimiento de las carreteras tiene grandes variantes en función de la zona de desarrollo y del tipo de carretera de que se trate, como ya se hizo mención, los costos son un índice de ello, pues a parte de cumplir, y en el caso de los Caminos Federales con las altas especificaciones que para éstos se fijan, deberán tener los ingresos suficientes para cubrir las amortizaciones correspondientes, su conservación y administración con base en el proyecto.

Así pues, todo tipo de obra de mantenimiento y/o rehabilitación, deberá llevarse a cabo con todo rigor dentro de las normas y procedimientos de construcción fijados para carreteras y caminos.

Respetando todas las disposiciones de que se han hecho mención, tendremos asegurada la función primordial que hace que los caminos sean los que motivan e impulsan el desarrollo generalizado de un país.

## NOTAS DE CAMINOS.

Las carreteras federales, estatales y caminos vecinales, en general basan su funcionamiento en un buen diseño de pavimentos.

Podemos considerar que el 90% de los caminos que se construyen en nuestro país son de las características de los pavimentos flexibles. Aún cuando podamos considerar ciertas diferencias entre los caminos (federales, estatales y caminos vecinales), éstas es-triban en su financiamiento esencialmente. Puesto que como nos da-remos cuenta, los caminos vecinales aunque de características más-modestas, se requiere igualmente de una gran eficiencia técnica en su construcción y mantenimiento; si bien es cierto, que sus cuali-dades son menores comparadas con las de un camino federal por ejem-plo, no deja de ser importante en el global de la red carretera su participación en cuanto a niveles de tránsito se refiere.

En esta tesis, manejaremos algunos aspectos en forma conjunta, (sean caminos vecinales o carreteras construídas en base al diseño de los pavimentos flexibles).

Con el objeto de no desviarnos del propósito principal, que es el mantenimiento. Así entonces, cuando sea necesario se mencio-narán algunas similitudes y diferencias o cuando no, hablaremos -- simplemente de caminos ó carreteras, tomando siempre en considera-ción a los pavimentos flexibles como punto de partida.

## EFFECTOS DE LOS VEHICULOS.

Los pavimentos flexibles se construyen de tal manera que las cargas que sobre él se apliquen no provoquen deformaciones permanentes y perjudiciales en la subrasante sobre el cual está colocado, y a la vez, se impida la formación de grietas internas en la estructura del mismo y el desplazamiento de partículas por la acción del tránsito. De ahí que el espesor de los pavimentos flexibles, sea determinante para que éstos puedan soportar y distribuir las cargas de los vehículos.

La acción abrasiva de las llantas de los vehículos provoca -- desgaste de la superficie y desprendimiento de partículas del pavimento. Lo cual quiere decir que los pavimentos deban resistir dichos efectos para garantizar su funcionalidad. El establecimiento de modelos sería muy representativo e ilustrativo para la elección de los materiales a emplear en la construcción de pavimentos flexibles que se encuentran sometidos a tal acción destructora.

## EFFECTOS DE LA INTEMPERIE.

Es conocida la acción destructora de los agentes atmosféricos que actúan continuamente sobre la superficie de los pavimentos provocando la alteración de los materiales que lo forman. Se debe tomar en cuenta que hay materiales que resisten mejor que otros éstos efectos y por lo tanto la vida útil de un pavimento es fluctuante. Un pavimento alargará su funcionamiento cuando los materiales que lo formen tengan más capacidad de resistencia a los agentes físicos y químicos. REF. 9

## CONDICIONES DEL PAVIMENTO.

Los pavimentos flexibles deben tener una superficie de rodamiento adecuada que permita en todo tiempo un tránsito fácil y cómodo de los vehículos.

La superficie de rodamiento debe ser segura para la conduc---



ción de los vehículos y lo suficientemente lisa para proporcionar una marcha confortable y una larga vida de los vehículos, sin embargo, esa superficie lisa y uniforme debe ser siempre antiderrapante y antideslizante cuando se encuentre húmeda.

Las capas constructivas del pavimento deben presentar cierta flexibilidad para adaptarse a algunas fallas de la base o sub-base. En no pocas ocasiones, por una u otra causa, generalmente controlable, se presentan pequeños asentamientos ya sea de la base o de la sub-base, los cuales no son en extremo perjudiciales, de ahí que convenga que el pavimento tenga cierta flexibilidad que lo haga capaz de adaptarse a esas pequeñas fallas sin necesidad de hacer reparaciones costosas. Hasta aquí se han mencionado los propósitos principales que debe satisfacer un pavimento flexible.

Sabemos sin embargo, que analizando la subrasante de tierra compactada (camino vecinal) sirviendo como superficie de rodamiento, se observa que en tiempo seco la subrasante tiene buena estabilidad bajo las cargas de tránsito ocasional, más no así las de tránsito intenso; ya que esto provoca una disgregación de las partículas y por consiguiente la formación de una capa de polvo que cada vez se hace mayor y más inestable. En tiempo de lluvias la subrasante se convierte rápidamente en una superficie lodosa y prácticamente intransitable ya que con el exceso de humedad los vehículos forman carriles y baches peligrosos. Puede decirse entonces que la subrasante, por si sola, no satisface las condiciones exigidas para un buen funcionamiento de un pavimento flexible pero si en cambio, para un camino de temporada.

Ahora bien, pasemos a considerar la misma subrasante compactada pero revestida con un material granular.

La capa de material granular proporcionará a la subrasante una mayor capacidad de carga debido a que se disminuye la capacidad de la presión sobre ella al aumentarse el área de repeticón de esfuerzos (hablamos entonces de un camino vecinal transitable en todo tiempo).



Esta capa de material granular le dará también una cierta protección de la subrasante en cuanto a infiltración se refiere. Debido a que un exceso de agua a través del revestimiento puede afectar la estabilidad de la subrasante, y por lo tanto se presentarán asentamientos a no ser que se coloque un espesor muy fuerte de revestimiento que algunas veces resulta antieconómico. Estas superficies no proporcionan comodidad del tránsito y es costoso mantenerlo en buenas condiciones y exenta de baches, máxime en la época de lluvias. Sin embargo infinidad de caminos de terracerías asumen estas características en forma por demás satisfactoria.

Si analizamos ahora una subrasante compactada y revestida, pero ahora con una carpeta asfáltica de desgaste superficial se observa que si el espesor de la capa de revestimiento fue perfectamente fijado tendremos un pavimento capaz de resistir y distribuir eficazmente las cargas a las terracerías, las cuales al estar protegidas de la infiltración del agua de lluvias, mediante la carpeta impermeable, permanecerá en todo tiempo con la estabilidad necesaria para impedir que se presenten deformaciones permanentes y perjudiciales.

La carpeta asfáltica que se coloque sobre el revestimiento -- compactado servirá para proporcionar una superficie de rodamiento que evite al máximo posible las pérdidas de materiales por la acción abrasiva de las llantas de los vehículos en movimiento, proporciona una superficie lisa, cómoda, flexible y resistente a los agentes atmosféricos. Luego entonces, se tendrá un pavimento flexible que sí satisface los propósitos para los cuales fue construido

## CAPITULO I

## ANTECEDENTES TEORICOS

### I.1-----CONOCIMIENTOS PREVIOS.

En la ingeniería de las Vías Terrestres se acostumbra separar los conceptos: pavimento y terracería, como si no estuvieran relacionados, esto es un gran error, puesto que las terracerías y el pavimento de cada una de estas partes, además de depender entre sí también está en función del comportamiento del terreno natural o de cimentación. Así pues, se introduce un nuevo concepto, que es el de sección estructural, y como su nombre lo indica, implica considerar el pavimento, las terracerías y el terreno natural como una estructura total.

#### I.1.1. TERRAPLEN.

Las terracerías generalmente comprenden el cuerpo de terraplén y a la capa sub-rasante. El cuerpo del terraplén debe construírse con material de buena calidad que tenga pocos cambios volu métricos bajo variaciones de humedad y sirve para elevar el nivel de la rasante de proyecto.

Para el cuerpo de terraplén, las reglas que se siguen actualmente establecen que se pueden usar ciertos materiales de dudosa calidad y de cualquier tamaño, a este respecto lo conveniente sería adoptar las normas propuestas en las observaciones de las Especificaciones Generales de Construcción del S.C.T.

Es conocido el efecto que tienen los materiales finos plásticos al dárseles una compactación, como es el de aumentar su fuerza de expansión, por lo tanto, es imprescindible que se fijen normas de calidad para los materiales que se empleen en la construcción del cuerpo del terraplén.

Cuando el camino se encuentra a pelo de tierra (a nivel de terracerías) o en sección en corte y aún en terraplén, y el terreno en el que se va a apoyar es de muy mala calidad, también se llega

a usar una capa de mejoramiento llamada subyacente, con objeto de reducir los efectos perjudiciales de ese suelo natural como son de formaciones y expansiones, o reducir espesores de pavimento. Esta capa por lo general se construye entre la capa sub-rasante y el cuerpo del terraplén o el terreno natural.

#### I.1.2. CAPA SUB-RASANTE.

La capa sub-rasante, como se mencionará, es una capa de transición entre el terreno natural o el cuerpo del terraplén y el pavimento. Cuando el material del terreno natural es de buena calidad, únicamente se conforma y se le da una buena compactación, usándose como capa sub-rasante para absorber las irregularidades que resulten al efectuar un corte.

Las finalidades de la capa sub-rasante son: (REF.9)

- A) Resistir los esfuerzos que le transmita el pavimento, debidos al paso de los vehículos.
- B) Tomar los esfuerzos que le transmita el pavimento, y hacerlos llegar a las terracerías de tal forma que éstas los resistan fácilmente, es decir, sin deformarse plásticamente.
- C) Servir como capa de transición entre el pavimento y las terracerías, esto es, debe evitar que se contamine la parte inferior del pavimento con los materiales que forman las terracerías, si está formado por material grueso o viceversa.
- D) Impedir que las irregularidades en la cama de los cortes en roca, se reflejen en la superficie del pavimento.
- E) Reducir espesores en las capas del pavimento, con el ahorro que esto implica, sobre todo si se tienen terracerías de mala calidad y/o mal drenaje y subdrenaje.
- F) Uniformizar los espesores requeridos del pavimento, al pensar la variación de resistencia en las terracerías.

En estudios realizados en el "Laboratorio Fernando Espinoza" del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M., se observó que la capa

sub-rasante tiene primordial importancia, aún cuando el pavimento sea de muy buena calidad y del espesor adecuado. Las combinaciones de capas en donde la sub-rasante estuvo más compacta, tuvieron mejor comportamiento. Es sabido que algunos materiales al ser compactados aumentan su fuerza de expansión por lo cual será muy conveniente evitarlos al máximo posible.

A la capa sub-rasante se le ponen requisitos que debe cumplir sin embargo, se ha visto que estos requisitos son muy tolerantes.

El tamaño máximo de los materiales empleados en esta capa es de 75mm. (3"). Las secciones típicas de pavimentos flexibles se presentan en la figura 1.1, y son: secciones en terraplén, en corte y en balcón. (REF. 8)

Sobre la capa sub-rasante se construye el pavimento, constituido por capas de mejor calidad y que son las capas finales de la sección estructural. En la figura 1.2, se aprecia el tipo de pavimento flexible que generalmente se construye.

## 1.2 PAVIMENTOS.

En la construcción de carreteras y caminos se usan diferentes tipos de pavimentos, que son principalmente los siguientes:

PAVIMENTOS FLEXIBLES

PAVIMENTOS RIGIDOS

PAVIMENTOS MEJORADOS

### 1.2.1. PAVIMENTO DEFINICION:

Se llama pavimento al sistema formado por diferentes capas -- con cierto grado de calidad y resistencia, que va decreciendo conforme la capa es más profunda, generalmente; estas capas no van a funcionar independientemente una de otra, sino en conjunto con las terracerías y el terreno natural, como ha sido mencionado anteriormente. REF. 9;

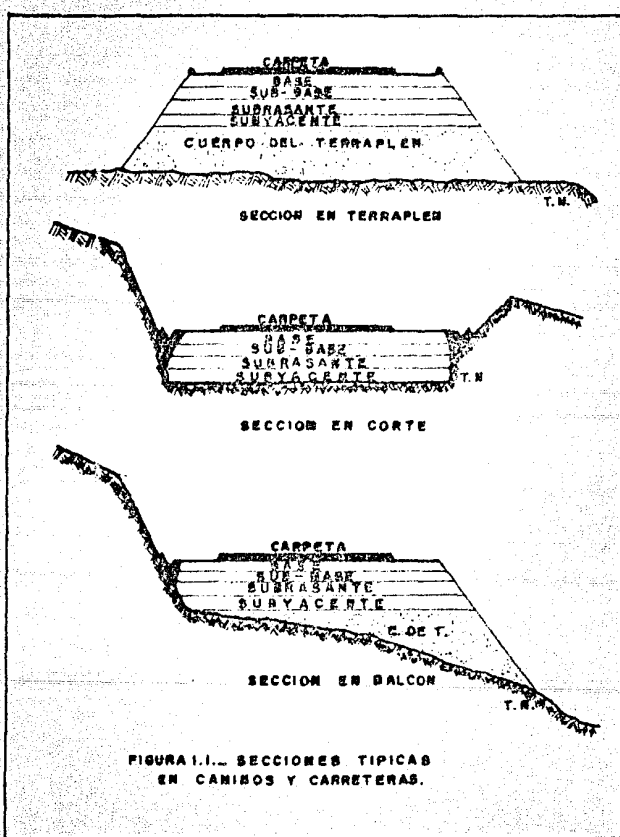


FIGURA 1.1.- SECCIONES TÍPICAS EN CARRETERAS Y CAMINOS.

## REQUISITOS DEL PAVIMENTO:

- a) Resistencia
- b) Estabilidad
- c) Poca deformabilidad
- d) Superficie de rodamiento cómoda, segura y permeable.

.. El pavimento como un todo estructural, va a depender del comportamiento de las capas que lo constituye o en las que se apoya, o sea, en las terracerías.

Para que el pavimento proporcione un servicio cómodo y seguro no debe sufrir deformaciones permanentes importantes, debe ser antideslumbrante y antiderrapante y debe conservar estas propiedades durante el período para el que se le proyectó, es decir, durante su vida útil.

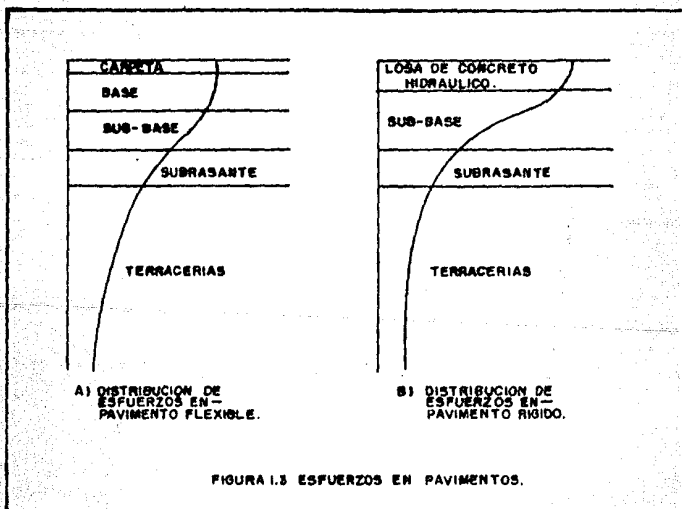
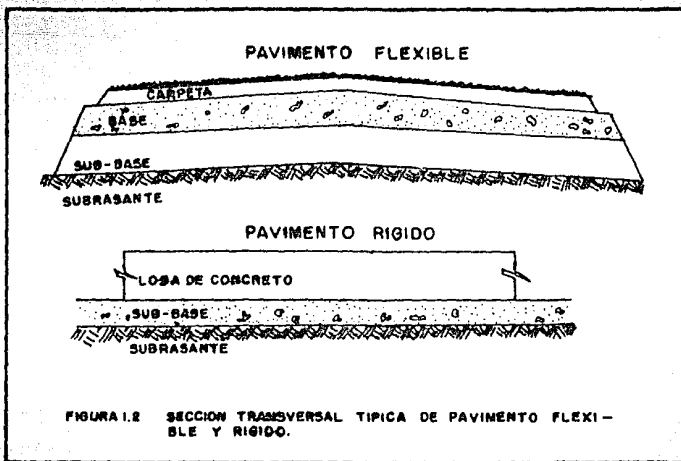
## DEFINICIONES IMPORTANTES.

### I.2.2 PAVIMENTO FLEXIBLE.

Sistema multicapa formado comúnmente por una serie de capas; sub-base, base y carpeta; estas capas mencionadas en orden ascendente (de abajo hacia la superficie), aumentan su resistencia conforme más cerca están de la superficie de rodamiento (excepto en las carpetas de riegos). Estas capas van distribuyendo los esfuerzos impuestos por las cargas rodantes a áreas mayores conforme aumenta la profundidad, esto es, van disipando los esfuerzos hasta hacerlos llegar a la capa sub-rasante en la forma que ésta los resista, de acuerdo con sus características de calidad y resistencia (ver fig. 1.3.).REF. 4

La capa superior o superficie de rodamiento, se compone de material pétreo y de material asfáltico, mezcladas de tal forma que cumplan con los requisitos que se fijen en un proyecto dado. REF.5

Por lo general, a esta capa (carpeta), se le da una superfi--



cie de desgaste antiderrapante, que es el riego de sello. La carpe  
ta resiste cierto grado de deformación instantánea sin sufrir a---  
grietamientos, por esto se le llama pavimento flexible.

### I.2.3... PAVIMENTO RIGIDO.

Compuesto generalmente de una losa de concreto hidráulico, su  
prayaciendo a una capa de sub-base y ambas apoyadas sobre la capa-  
subrasante. REF. 7

La losa de concreto hidráulico, por su área, distribuye los -  
esfuerzos producidos por las cargas rodantes a un área mucho mayor  
en la sub-base, de tal manera que ésta soporta fácilmente, y a su-  
vez los transmite a la capa subrasante disminuídos de tal manera -  
que ésta los acepta sin mayor problema.

La losa admite deformaciones relativamente; es por esto que a  
este sistema se le llama rígido.

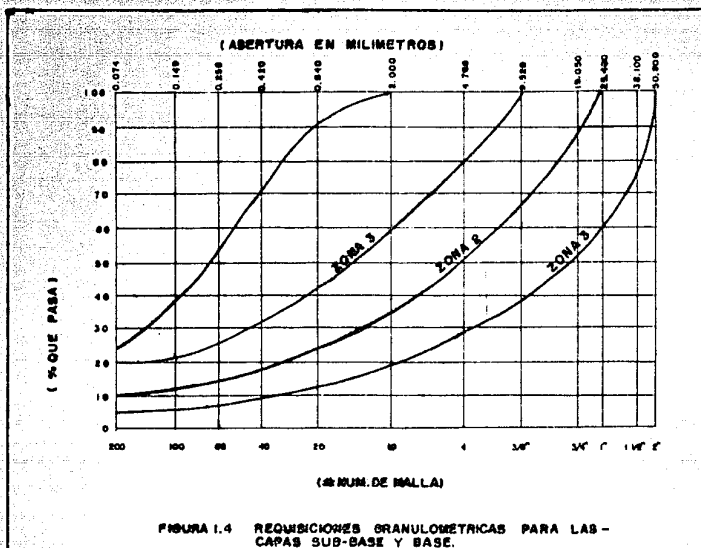
Cuando la subrasante del pavimento tenga una calidad suficien-  
temente buena, la losa de concreto puede colocarse directamente so  
bre ella, prescindiéndose así de una buena sub-base especial. De -  
lo que se trata es de que la losa de concreto tenga un apoyo uni--  
forme y estable, como para garantizar que no quede localmente fal-  
ta de soporte; como se logre esto y qué capas de suelo hay que pro  
porcionar para ello depende de la calidad de los materiales que se  
estén utilizando, de los niveles de compactación y de las condicio-  
nes locales de clima y drenaje.

### I.2.4 PAVIMENTO MEJORADO.

Este pavimento cuenta entre sus capas, una de base o sub-base  
estabilizada (con asfalto, sulfatos de calcio, cal, puzolana o ce-  
mento), que es más rígida que las bases granulares, y a su vez es-  
más flexible que las losas de concreto. REF. 9

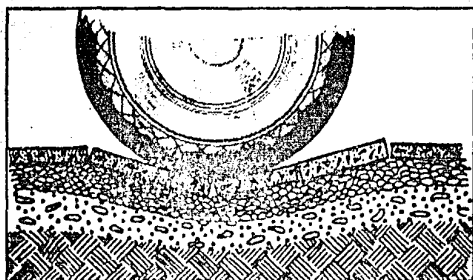
Todos los materiales empleados en pavimentos deben cumplir --



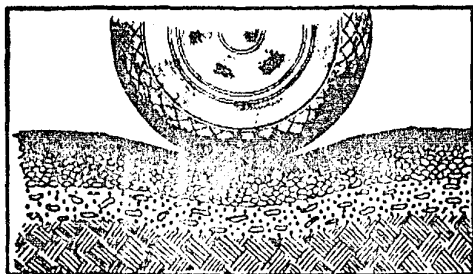


CARACTERISTICAS	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRIA.		
	1	2	3
Contracción lineal en por ciento.	6.0 Max.	4.0 Max.	3.0 Max.
Valor cementante para materiales angulosos en Kg./cm <sup>2</sup> .	3.5 Min.	3.0 Min.	2.5 Min.
Valor cementante para materiales redondeados y lisos en Kg./cm <sup>2</sup> .	5.5 Min.	4.5 Min.	3.5 Min.
Valor relativo de aporte estándar saturado, en por ciento.	50.0 Min.	50.0 Min.	50.0 Min.
Equivalente de arena en por ciento.	20 Min. (Tentativo)		

TABLA I.1 REQUISICIONES PARA LA CAPA SUB-BASE.



El pavimento de concreto hidráulico se rompe cuando la subrasante no está compactada correctamente. Cuando no hay soporte uniforme para la losa, el pavimento falla.



Cuando la estructura del pavimento y la terracería no están bien compactadas, aparecen fallos por asentamientos, que se agrandan a medida que la carga por rueda aumenta, en los pavimentos esfálticos.

con ciertas características y su uso depende del empleo que se les vaya a dar en un proyecto dado y de la disposición de material en el lugar.

#### I.2.5 DESCRIPCIÓN DE LAS CAPAS QUE CONSTITUYEN A UN PAVIMENTO-FLEXIBLE.

##### I.2.5.1 SUB-BASE.

Capa de transición entre la capa de base y la capa subrasante. Cumple una función económica, es decir, para no usar un material de mayor calidad y por consiguiente mayor costo, en un espesor requerido, se usa material granular de menor calidad, que es la sub-base, aún a costa de incrementar espesores.

La sub-base trabaja como una especie de colchón que absorbe las deformaciones de las terracerías, debidas a los cambios volumétricos por efectos de humedad, y efectos de rebote elástico. -- REF. 7

Entre otra de sus características, la sub-base cumple la función de desalojar el agua que se infiltre en el pavimento y a su vez impedir la ascensión del agua procedente de las terracerías por el fenómeno llamado capilaridad.

#### CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL EMPLEADO EN LA SUB-BASE:

- a).- El material que se emple debe ser procesado, extendido y compactado de acuerdo a las especificaciones de cada proyecto para esta capa del pavimento.
- b).- Dicho material debe tener un tamaño máximo de 50.8 mm. (2").
- c).- Su granulometría debe caer en cualquiera de las zonas marcadas en la gráfica (ver fig. 1.4.). Adoptando los límites; las características que debe cumplir son las indicadas en la tabla I.1. REF. 8

### 1.2.5.2 BASE.

Capa constituida con material seleccionado, de mejor calidad y graduación que el de la capa sub-base, que tiene, entre otras, - las siguientes funciones:

- A).- Sopotar las cargas que le transmita la carpeta.
- B).- Aminorar los esfuerzos inducidos por las cargas rodantes de tal manera que lleguen a las capas subyacentes con la intensidad que éstas los resistan.
- C).- Drenar el agua que se infiltre por la carpeta e impedir la ascensión capilar del agua natural.

En ocasiones no se dispone del material adecuado, no cuenta con la calidad requerida, suele mejorarse con aditivos tales como cemento, puzolanas, sulfato de calcio, cal o asfalto, y entonces - el pavimento pasa a ser del tipo mejorado. REF. 7

La capa base, cumple también objetivos económicos, pues al aumentar el espesor de ésta capa se pueden reducir espesores en la - carpeta, que es más cara, lo que reditúa en un ahorro bastante considerable.

#### CARACTERISTICAS DEL MATERIAL EMPLEADO EN LA BASE:

- a).- El material de esta capa debe tener tamaño máximo de --- 58.8 mm. (2") si no requiere tratamiento.
- b).- Si se requiere tratamiento del material, el tamaño máximo será de 38.0 mm. (1.5"), siendo lo más recomendable.
- c).- Su granulometría debe caer dentro de las zonas 1 y 2 indicadas en la fig. 1.4. adoptando las formas de los límites.
- d).- Las características del material deberán cumplir lo que indican las tablas 1.2 y 1.3.
- e).- El material de esta capa debe tener afinidad con el asfalto.

REF. 7

CARACTERISTICAS	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRIA.		
	1	2	3
Limite liquido, en por ciento.	30 Més.	30 Més.	30 Més.
Contracción lineal en por ciento.	4.8 Més.	5.5 Més.	8.0 Més.
Valor cementante para materiales angulosos, en Kg./cm <sup>2</sup>	3.5 Mía.	5.0 Mía.	2.5 Mía.
Valor cementante para materiales redondeados y lisos, en Kg./cm <sup>2</sup> .	5.5 Mía.	4.5 Mía.	3.5 Mía.

TABLA I.2. REQUISICIONES PARA LA CAPA BASE.

INTENSIDAD DE TRANSITO EN AMBOS SENTIDOS.	VALOR RELATIVO DE SOPORTE ESTANDAR.	EQUIVALENTE DE ARENA (TENTATIVO)	INDICE DE DURABILIDAD (TENTATIVO)
Más de 1000 vehículos pesados al día.	80 Mía.	30 Mía.	35 Mía.
Más de 1000 vehículos pesados al día.	100 Mía.	50 Mía.	40 Mía.

TABLA I.3 REQUISICIONES PARA LA CAPA BASE.

### I.2.5.3 CARPETA.

Los vehículos ruedan sobre la superficie de esta parte del pavimento.

Sus funciones son las de soportar los efectos del tránsito y contar con la textura y color apropiados, (o sea, debe ser antideslupante y antideslumbrante). Cuando la carpeta tiene ciertas características puede tener resistencia estructural por como se conforma.

Por otra parte, la carpeta debe ser tan impermeable como se pueda, es decir, la carpeta no es totalmente impermeable, se tendría que incurrir en un exceso de asfalto, lo que implicaría que la carpeta fuera inestable en su comportamiento y se deformara considerablemente al paso de los vehículos, lo cual no debe ser.

Por último, la superficie de rodamiento debe ser uniforme a lo largo de su vida útil. Toda carpeta es resultado de una mezcla de materiales pétreos y asfálticos adecuadamente tratados, que posteriormente se extienden y compactan. REF. 8

### I.2.6 CAMINOS VECINALES.

Una vez que han sido establecidas algunas de las más importantes características de los pavimentos flexibles para carretera, y mencionadas algunas de sus similitudes con el pavimento rígido; pasaremos a hacer un análisis semejante para los caminos de terracerías (caminos vecinales) con el objeto de conjuntar algunas de las labores de mantenimiento que en éstos se realizan, así como, para relacionarlas con los pavimentos flexibles que han sido muy analizados en ésta tesis. Cabe aclarar, que pocos autores hacen referencia de los caminos vecinales por carecer de importancia aparente; por tal, en esta tesis se tratarán en forma sómera algunos aspectos importantes que han sido recaudados de ciertos autores que se han dedicado a analizar y estudiar dichos caminos.

Estos caminos de características más modestas que las carreteras estatales y federales, fueron planeados para complementar nuestra red de caminos. De longitudes generalmente cortas, dominan --- nuestras cordilleras, descienden a nuestros valles y penetran en las regiones más apartadas.

Los caminos vecinales, aunque parezca extraño, requieren precisamente por sus condiciones especiales de economía, la mayor eficiencia técnica. El tránsito es escaso y no se justifican grandes inversiones en su mantenimiento; sin embargo, con muy poco gasto, hay que asegurar el tránsito de todas las épocas del año.

#### I.2.6.1 DEFINICION:

##### CAMINO VECINAL.

Se denominan caminos vecinales a aquellos que van de un poblado a otro; los que unen un poblado con un punto cualquiera de una vía de comunicación, y los que ligan dos puntos situados en sendas vías de comunicación. Pueden considerarse también como vecinales --- los que partiendo de una vía de comunicación, dan acceso a zonas de interés, aún cuando éstas no constituyan precisamente centros de población.

Estas vías terrestres, complemento de la red de caminos troncales y estatales, también son afluentes y ramales de los ferrocarriles de las rutas aéreas, de las marítimas y de las fluviales. --- Especialmente en aquellas regiones en donde la transportación se efectúa por río y aire, los caminos vecinales sirven para complementar estas rutas, penetrando por las selvas, las explotaciones madereras, etc. REF. 3

#### I.2.6.2 IMPORTANCIA DE LOS CAMINOS VECINALES.

Estos caminos no solamente proporcionan beneficio directo a quienes los utilizan, sino que en la mayoría de los casos contribuyen, con su afluencia de tránsito, a mantener el volumen necesario

en las carreteras en las cuales entrocán. REF. 3

Muchos de los caminos troncales y hasta de los secundarios se construyeron por la necesidad de comunicar dos o más ciudades importantes, atravesando frecuentemente en su recorrido grandes extensiones deshabitadas, lo que da como resultado un tránsito muy reducido, que difícilmente puede alcanzar la cifra necesaria para justificar su conservación; pero si en estas extensiones se desprenden numerosos caminos vecinales que vengán, por así decirlo, a crear la zona de influencia del camino troncal o a aumentarla, lógicamente el volumen de tránsito irá en ascenso.

#### I.2.6.3 CARACTERISTICAS:

Para caminos vecinales, la velocidad de proyecto máxima admisible debe ser de 80 km/hr., únicamente aplicable en las regiones agrícolas de los grandes sistemas de riego o casos semejantes, donde generalmente se construya carpeta asfáltica. Fuera de dichos casos excepcionales, la mayoría estará comprendida entre 40 y 60 km/hr. para terreno plano y lomerío suave. REF. 3

La clase de vehículos que transitan por los caminos vecinales varía según el tipo de camino de que se trate. Así para un camino vecinal turístico que conduzca, por ejemplo, a unas ruinas arqueológicas, tendremos que la casi totalidad del tránsito será de automóviles de pasajeros; por el contrario en un camino vecinal minero, la mayoría de los vehículos serán camiones de carga; los caminos de las regiones agrícolas de los grandes sistemas de riego tienen un tránsito compuesto en su mayor parte de camiones de carga; siendo el resto camiones ligeros tipos pick-up y vehículos de pasajeros.

El número de vehículos que pueden transitar por un camino a una velocidad determinada, varía con las especificaciones geométricas del mismo. Cuando un camino vecinal se congestione o en su tránsito se haga difícil, necesita con seguridad alguna mejora, ya sea de ampliación, modificaciones a la rasante, nivelación, etc.



### I.3 ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION PARA PAVIMENTOS.

La capa subrasante deberá tener como mínimo 30 cm. de espesor tomando como referencia el valor relativo de soporte de la capa inferior a la subrasante, que bien puede ser la del terreno natural o una capa de material mejorado que tenga calidad de subrasante o menor y esté compactada a un grado menor.

Se recomienda usar los materiales de acuerdo a sus características y propiedades índice.

Se indica que los finos con límite líquido entre 50 y 100, tales como  $MH_1$ ,  $CH_1$  y  $OH_1$ , pueden usarse en el cuerpo del terraplén, compactándolos al 90% de su peso volumétrico seco máximo; aún los materiales  $ML_1$  y  $CL_1$ , se recomienda usarlos en la capa subrasante, compactándolos al 95% de su peso volumétrico seco máximo. REF. 7

Para la capa subrasante se aceptan los materiales que tengan valor relativo de soporte saturado mínimo de 5% y una expansión máxima de 5%. REF. 7

$MH_1$  = Limos inorgánicos de baja a mediana plasticidad o elásticos.

$CH_1$  = Arcillas inorgánicas de alta plasticidad o francas.

$OH_1$  = Limos y arcillas orgánicos de media a alta plasticidad.

El uso irracional de estos materiales en el cuerpo del terraplén, se ha visto de acuerdo con experiencias en el campo, que su-

fren cambios volumétricos altos bajo diferentes contenidos de humedad, cualquier estructura sobre ellos falla tarde o temprano.

Si el uso de éstos materiales se hace indispensable, se recomienda el uso de agentes estabilizadores tales como el cemento Portland, la cal, las puzolanas, los materiales asfálticos y el sulfato de calcio, que aunque es una solución cara a largo plazo no lo resulta tanto, al disminuir los altos gastos por conservación. ---  
REF. 9

Para el cuerpo del terraplán también es necesario establecer unas normas de calidad que pueden ser:

- Límite líquido menor de 60%
- Límite plástico máximo de 25%
- Valor relativo de soporte mínimo de 3%
- Expansión máxima de 3%
- Compactación dinámica igual a 95% (De la prueba AASHTO estándar, con el contenido de agua natural que el suelo tenga a 1.5 m. de profundidad en el momento de realizar el estudio).
- Agregado máximo de 75 mm. (3") y si acaso, con no más de 20% de fragmentos grandes (20 cm).

REF. 9

Por lo anteriormente dicho, se recomienda no usar los materiales ya descritos en la capa subrasante, admitiendo solo materiales con valor relativo de soporte saturado máximo igual a 5% y una ex-

pansión hasta 1% como máximo. Compactación dinámica al 100% según prueba AASHTO estándar, con contenido de agua óptimo de la prueba. Un límite líquido menor del 40% y un porcentaje granulométrico que pasa la malla No. 200 menor al 25% del total.

En cuanto a sub-base, bases y carpetas, en general las normas son adecuadas, excepto que para bases no se debe usar material cuya curva granulométrica caiga dentro de la zona 3 y que debe abandonarse la práctica de adicionar finos a las sub-bases, bases y -- carpetas con el objeto de "cementarlas", puesto que al llevar a ca-- bo este mal procedimiento, se ven decrecentadas las característi-- cas de calidad y resistencia de los agregados y sus finos inertes, así como el buen funcionamiento futuro del pavimento.

## CAPITULO II MANTENIMIENTO

### II.1 GENERALIDADES:

#### II.1.1. FACTORES A CONSIDERAR EN EL MANTENIMIENTO.

Establecidos los antecedentes, se tratará entonces lo relacionado con los factores que intervienen en el mantenimiento y/o rehabilitación, reconstrucción y ampliación de caminos con pavimento flexible.

Existen dos aspectos, uno general que toma en cuenta factores como el tipo de camino, e importancia y rentabilidad del mismo, es decir, considera los beneficios que se aportan al país ya que los caminos son parte de su infraestructura e influyen directamente en su economía, por lo tanto, este aspecto es fundamental en la toma de decisiones.

El otro aspecto, el particular, es el relacionado directamente con el diseño del camino, su alineamiento vertical y horizontal el tipo de material sobre el que está construido y con el que se construyó, los procedimientos de construcción usados, el tipo de lugar y climatología y principalmente el estado de la superficie de rodamiento, el tipo y el número de vehículos que transitan sobre él, es decir, si el camino está muy deteriorado a causa del tráfico intenso y pesado que circula sobre él, para modernizarlo no es suficiente con renovar la estructura para dar una mejor superficie de rodamiento, sino que es necesario realizar un análisis de capacidad de servicio para determinar si el camino continúa con el mismo número y ancho de carriles o se tiene que ampliar. REF. 1

En el aspecto general, el tipo de camino se puede clasificar de acuerdo a diferentes parámetros, tal como se indica a continuación: REF. 8

#### II.2 CLASIFICACION DE TRANSITABILIDAD.

Esta clasificación, dicta las etapas de construcción y es como sigue:

<u>TIPO DE CAMINO</u>	<u>CONDICION</u>
Camino pavimentado	Pavimento flexible o rígido
Camino revestido (1)	Transitable en todo tiempo
Camino de terracerías (1)	Transitable en tiempo de secas

(1). Caminos que se consideran vecinales comunmente.

### II.3 CLASIFICACION ADMINISTRATIVA.

Casi siempre en paralelo con las características técnicas del camino. Existe una división en base a la dependencia del gobierno que tiene a su cargo la construcción, mantenimiento y/o rehabilitación u operación de un camino determinado y es la siguiente:

- a). Camino federal. Directamente a cargo de la federación.
- b). Camino estatal. A cargo de las juntas locales de caminos.
- c). Camino vecinal. Construcción por cooperación de los particulares beneficiados. En su conservación pasa a ser del tipo anterior.
- d). Camino de Cuota. A cargo de Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos. La inversión es recuperable a través de cuota de paso.
- e). Caminos Rurales de Acceso. A cargo de la Dirección General de Caminos Rurales dependiente del S. C.T.

### II.4 CLASIFICACION TECNICA OFICIAL.

Esta clasificación diferencia a los caminos en cuanto a: volúmenes de tránsito sobre el camino y especificaciones geométricas del mismo. Este tipo de clasificación es a base de letras. El S.C.

T. clasifica a los caminos como se indica en la tabla II.1

Clasificación de acuerdo al tipo de vehículos: REF. 8

#### CAMINO TIPO A.

Es el que por los requerimientos económicos y de comunicación de los espacios geográficos del territorio nacional permite el --- tránsito de todos los vehículos cuyos pesos por eje están contenidos en las tablas II.2 y II.3.

#### CAMINO TIPO B.

Es el que sólo permite el tránsito de los siguientes vehículos: B<sub>2</sub>, B<sub>2c</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, T<sub>2</sub>-S<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>-S<sub>2</sub>, cuyos pesos por ejes están incluidos en las tablas II.2 y II.3.

#### CAMINO TIPO C.

Es el que únicamente permite el tránsito de los siguientes vehículos: B<sub>2</sub>, B<sub>2c</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>, C<sub>2</sub> y C<sub>3</sub>, cuyos pesos por eje están señalados en las tablas II.2 y II.3.

### II.5 CLASIFICACION DE CAPACIDAD.

En caminos, los ingenieros en vías terrestres acostumbran dividirlos de la siguiente manera:

Autopistas (de 4 o más carriles).

Caminos de 3 carriles (que en México no se usan).

Caminos de 2 carriles.

Brecha.

De lo anterior se desprende que, la importancia del camino será función de la importancia social y/o económica de los lugares o poblaciones que comunique, o sea, será más importante un camino -- que conecte, por ejemplo, dos puertos, que un camino ramal que co-









## A2 AUTOMOVIL

Conjunto	Peso, en ton.		p, Kg/cm <sup>2</sup>	d <sub>m</sub> = Coeficiente dano bajo carga maxima.				d <sub>v</sub> = Coeficiente de dano vacio.			
	Carga maxima	Vacio		Z=0	Z=15	Z=30	Z=60	Z=0	Z=15	Z=30	Z=60
1.	1.0	0.8	2.0	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
2.	1.0	0.8	2.0	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
SUMA	2.0	1.6		0.004	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000

## A'2 CAMION LIGERO, CON CAPACIDAD DE CARGA HASTA DE 3 TON.

Conjunto	Peso, en ton.		p, Kg/cm <sup>2</sup>	d <sub>m</sub> = Coeficiente dano bajo carga maxima.				d <sub>v</sub> = Coeficiente de dano vacio.			
	Carga maxima	Vacio		Z=0	Z=15	Z=30	Z=60	Z=0	Z=15	Z=30	Z=60
1.	1.7	1.3	4.6	0.268	0.003	0.000	0.000	0.268	0.001	0.000	0.000
2.	3.8	1.2	4.6	0.268	0.061	0.023	0.015	0.268	0.001	0.000	0.000
SUMA	5.5	2.5		0.536	0.064	0.023	0.015	0.536	0.002	0.000	0.000



## B2 AUTOBUS DE DOS EJES.

Conjunto	Peso, en ton.		p, Kg/cm <sup>2</sup>	d <sub>m</sub> = Coeficiente dano bajo carga maxima.				d <sub>v</sub> = Coeficiente de dano vacio.			
	Carga maxima	Vacio		Z=0	Z=15	Z=30	Z=60	Z=0	Z=15	Z=30	Z=60
1.	5.5	3.5	6.8	1.000	0.340	0.167	0.119	1.000	0.079	0.001	0.010
2.	10.0	7.0	6.8	1.000	1.641	2.260	2.620	1.000	0.679	0.501	0.433
SUMA	15.5	10.5		2.000	1.980	2.427	2.739	2.000	0.757	0.502	0.443
1.	5.0	3.5	5.8	1.000	0.261	0.106	0.071	1.000	0.079	0.001	0.010
2.	9.0	6.5	5.8	1.000	1.234	1.483	1.630	1.000	0.558	0.359	0.292
SUMA	14.0	10.0		2.000	1.495	1.589	1.701	2.000	0.637	0.360	0.302
1.	4.0	3.0	5.8	1.000	0.126	0.002	0.021	1.000	0.044	0.009	0.004
2.	8.0	6.0	5.8	1.000	0.944	0.900	0.878	1.000	0.446	0.249	0.190
SUMA	12.0	9.0		2.000	1.070	0.902	0.899	2.000	0.492	0.258	0.194

- EJE SENCILLO.
- EJE TANDEM.
- EJE TRIPLE.

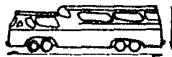
TABLA II.3 Coeficientes de dano.



3.70

**B3** AUTOBUS DE TRES EJES.

	Conjunto	Peso, en ton.		p, Kg/cm <sup>2</sup>	$d_m$ = Coeficiente daño bajo carga máxima.				$d_v$ = Coeficiente de daño vacío.			
		Carga máxima	Vacío		z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60
Camino A	1..	5.5	4.0	5.4	0.666	0.266	0.185	0.116	0.666	0.107	0.034	0.021
	2..	14.0	8.0	5.4	1.333	1.063	0.722	0.735	1.333	0.214	0.087	0.037
	SUMA	19.5	12.0		1.999	1.369	0.877	0.852	1.999	0.321	0.091	0.058
Camino B	1..	5.0	4.0	5.4	0.666	0.216	0.099	0.070	0.666	0.107	0.034	0.021
	2..	14.0	7.5	5.4	1.333	1.083	0.722	0.735	1.333	0.172	0.042	0.026
	SUMA	19.0	11.5		1.999	1.299	0.821	0.805	1.999	0.279	0.076	0.047
Camino C	1..	4.0	3.5	5.4	0.666	0.107	0.034	0.021	0.666	0.068	0.018	0.010
	2..	14.0	7.5	5.4	1.333	1.063	0.722	0.735	1.333	0.172	0.042	0.026
	SUMA	18.0	11.0		1.999	1.190	0.756	0.756	1.999	0.240	0.060	0.036



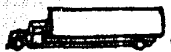
3.70

**B4** AUTOBUS DE CUATRO EJES.

	Conjunto	Peso, en ton.		p, Kg/cm <sup>2</sup>	$d_m$ = Coeficiente daño bajo carga máxima.				$d_v$ = Coeficiente de daño vacío.			
		Carga máxima	Vacío		z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60
Camino A	1..	7.0	5.0	5.4	1.333	0.136	0.030	0.018	1.333	0.038	0.006	0.003
	2..	14.0	8.0	5.4	1.333	1.063	0.722	0.735	1.333	0.214	0.087	0.037
	SUMA	21.0	13.0		2.666	1.219	0.762	0.763	2.666	0.252	0.063	0.040
Camino B	1..	7.0	5.0	5.4	1.333	0.136	0.030	0.018	1.333	0.038	0.006	0.003
	2..	14.0	8.0	5.4	1.333	1.063	0.722	0.735	1.333	0.214	0.087	0.037
	SUMA	21.0	13.0		2.666	1.219	0.762	0.763	2.666	0.252	0.063	0.040
Camino C	1..	7.0	5.0	5.4	1.333	0.136	0.030	0.018	1.333	0.038	0.006	0.003
	2..	14.0	8.0	5.4	1.333	1.063	0.722	0.735	1.333	0.214	0.087	0.037
	SUMA	21.0	13.0		2.666	1.219	0.762	0.763	2.666	0.252	0.063	0.040

- EJE SENCILLO
- · EJE TANDEM
- · · EJE TRIPLE

TABLA II.3 Coeficientes de daño. (continuación).



4.75

12.20

### C2 CAMION DE DOS EJES.

Camión	Conjunto	Peso, en ton.			$d_m$ = Coeficiente daño bajo carga máxima.				$d_v$ = Coeficiente de daño vazio.			
		Carga máxima	Vacio	A Kg/cm <sup>2</sup>	Z=0	Z=15	Z=30	Z=60	Z=0	Z=15	Z=30	Z=60
A	1	5.8	3.5	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.078	0.019	0.010
	2	10.0	3.0	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.044	0.009	0.004
	SUMA	15.5	6.5		2.000	1.890	2.457	2.939	2.000	0.123	0.028	0.014
B	1	5.0	3.0	5.8	1.000	0.261	0.106	0.071	1.000	0.044	0.009	0.004
	2	9.0	3.0	5.8	1.000	1.234	1.463	1.630	1.000	0.044	0.009	0.004
	SUMA	14.0	6.0		2.000	1.495	1.569	1.701	2.000	0.088	0.018	0.008
C	1	4.0	2.5	5.8	1.000	0.126	0.036	0.021	1.000	0.022	0.003	0.002
	2	8.0	2.5	5.8	1.000	0.944	0.900	0.678	1.000	0.022	0.003	0.002
	SUMA	12.0	5.0		2.000	1.070	0.936	0.699	2.000	0.044	0.006	0.004



4.15

12.20

### C3 CAMION DE TRES EJES.

Camión	Conjunto	Peso, en ton.			$d_m$ = Coeficiente daño bajo carga máxima.				$d_v$ = Coeficiente de daño vazio.			
		Carga máxima	Vacio	A Kg/cm <sup>2</sup>	Z=0	Z=15	Z=30	Z=60	Z=0	Z=15	Z=30	Z=60
A	1	5.5	4.0	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.125	0.026	0.021
	2	16.0	4.5	5.8	2.000	2.466	2.290	2.821	2.000	0.026	0.003	0.002
	SUMA	23.5	8.5		3.000	2.817	2.457	2.940	3.000	0.154	0.039	0.023
B	1	5.0	3.5	5.8	1.000	0.261	0.106	0.071	1.000	0.105	0.028	0.016
	2	15.0	4.2	5.8	2.000	1.615	1.072	1.089	2.000	0.021	0.002	0.001
	SUMA	20.0	7.7		3.000	1.876	1.178	1.160	3.000	0.127	0.030	0.017
C	1	4.0	3.5	5.4	0.666	0.107	0.034	0.021	0.666	0.065	0.018	0.010
	2	14.0	4.0	5.4	1.333	1.083	0.722	0.735	1.333	0.018	0.002	0.001
	SUMA	18.0	7.5		1.999	1.190	0.756	0.756	1.999	0.083	0.020	0.011

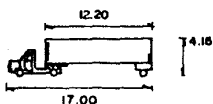
- EJE SENCILLO
- · EJE TANDEM
- · · EJE TRIPLE

TABLA II.3 Coeficientes de daño. (continuación)



### C4 CAMION DE CUATRO EJES.

Conjunto	Peso, en ton.		p, Kg/cm <sup>2</sup>	$d_m$ = Coeficiente de daño bajo carga máxima.				$d_v$ = Coeficiente de daño vacío.			
	Carga máxima	Vacío		Z=0	Z=15	Z=30	Z=60	Z=0	Z=15	Z=30	Z=60
1.	5.5	4.5	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.187	0.064	0.040
2.	22.5	8.0	5.8	3.000	2.422	2.289	2.818	3.000	0.084	0.020	0.011
<b>SUMA</b>	<b>28.0</b>	<b>12.6</b>		<b>4.000</b>	<b>2.771</b>	<b>2.456</b>	<b>2.937</b>	<b>4.000</b>	<b>0.271</b>	<b>0.084</b>	<b>0.051</b>

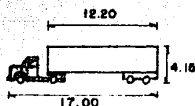


### T2-S1 TRACTOR DE DOS EJES SEMIRREMOLQUE DE UN EJE.

Conjunto	Peso, en ton.		p, Kg/cm <sup>2</sup>	$d_m$ = Coeficiente de daño bajo carga máxima.				$d_v$ = Coeficiente de daño vacío.			
	Carga máxima	Vacío		Z=0	Z=15	Z=30	Z=60	Z=0	Z=15	Z=30	Z=60
1.	5.5	3.2	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.087	0.012	0.006
2.	10.0	3.4	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.071	0.016	0.009
3.	10.0	3.4	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.071	0.016	0.009
<b>SUMA</b>	<b>25.5</b>	<b>10.0</b>		<b>3.000</b>	<b>3.431</b>	<b>4.747</b>	<b>5.759</b>	<b>3.000</b>	<b>0.199</b>	<b>0.044</b>	<b>0.024</b>
1.	5.0	3.0	5.8	1.000	0.261	0.105	0.071	1.000	0.044	0.009	0.004
2.	9.0	3.0	5.8	1.000	1.234	1.483	1.630	1.000	0.044	0.009	0.004
3.	9.0	3.0	5.8	1.000	1.234	1.483	1.630	1.000	0.044	0.009	0.004
<b>SUMA</b>	<b>23.0</b>	<b>9.0</b>		<b>3.000</b>	<b>2.729</b>	<b>3.072</b>	<b>3.331</b>	<b>3.000</b>	<b>0.132</b>	<b>0.027</b>	<b>0.012</b>

- EJE SENCILLO
- EJE TANDEM
- EJE TRIPLE

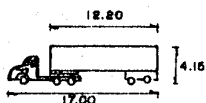
TABLA II.3 COEFICIENTES DE DAÑO (Continuación)



**T2-S2**

TRACTOR DE DOS EJES CON  
SEMIRREMOLQUE DE DOS EJES.

Conjunto	Peso, en ton.		p. Kg/cm <sup>2</sup>	$d_m$ = Coeficiente daño bajo carga máxima.				$d_v$ = Coeficiente de daño vacío.				
	Carga máxima	Vacío		Z=0	Z=15	Z=30	Z=60	Z=0	Z=15	Z=30	Z=60	
CAMINO A	1..	5.5	4.0	5.5	1.000	0.349	0.107	0.110	1.000	0.125	0.035	0.021
	2..	10.0	3.6	5.5	1.000	1.541	2.290	2.620	1.000	0.079	0.019	0.010
	3..	18.0	4.0	5.5	2.000	2.468	2.290	2.621	2.000	0.017	0.002	0.001
	SUMA	33.5	11.6		4.000	4.355	4.747	5.760	4.000	0.222	0.057	0.032
CAMINO B	1..	5.0	3.4	5.0	1.000	0.201	0.106	0.071	1.000	0.071	0.016	0.009
	2..	9.0	3.4	5.5	1.000	1.234	1.483	1.630	1.000	0.071	0.016	0.009
	3..	15.0	3.7	5.0	2.000	1.616	1.072	1.089	2.000	0.012	0.001	0.001
	SUMA	29.0	10.5		4.000	3.110	2.661	2.700	4.000	0.154	0.033	0.019



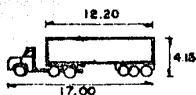
**T3-S2**

TRACTOR DE TRES EJES CON  
SEMIRREMOLQUE DE DOS EJES.

Conjunto	Peso, en ton.		p. Kg/cm <sup>2</sup>	$d_m$ = Coeficiente daño bajo carga máxima.				$d_v$ = Coeficiente de daño vacío.				
	Carga máxima	Vacío		Z=0	Z=15	Z=30	Z=60	Z=0	Z=15	Z=30	Z=60	
CAMINO A	1..	5.5	4.0	5.0	1.000	0.349	0.107	0.110	1.000	0.125	0.035	0.021
	2..	10.0	4.0	5.5	2.000	2.468	2.290	2.621	2.000	0.017	0.002	0.001
	3..	18.0	4.0	5.5	2.000	2.468	2.290	2.621	2.000	0.017	0.002	0.001
	SUMA	41.50	12.0		5.000	5.285	4.747	5.761	5.000	0.160	0.040	0.023
CAMINO B	1..	5.0	3.8	5.0	1.000	0.261	0.106	0.071	1.000	0.079	0.016	0.010
	2..	15.0	4.0	5.5	2.000	1.616	1.072	1.089	2.000	0.017	0.002	0.001
	3..	15.0	4.0	5.0	2.000	1.616	1.072	1.089	2.000	0.017	0.002	0.001
	SUMA	35.0	11.8		5.000	3.491	2.250	2.249	5.000	0.113	0.023	0.012

- EJE SENCILLO
- EJE TANDEM
- EJE TRIPLE

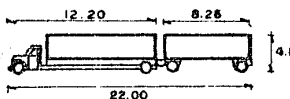
TABLA II.3 Coeficientes de daño (continuación).



**T3-S3**

TRACTOR DE TRES EJES CON SEMIRREMOLQUE DE TRES EJES.

CAMINO A	Conjunto	Peso, en ton.			$d_m$ = Coeficiente daño bajo carga máxima.				$d_v$ = Coeficiente de daño vacío.			
		Carga máxima	Vacío	$\rho$ , kg/cm <sup>2</sup>	Z=0	Z=15	Z=30	Z=60	Z=0	Z=15	Z=30	Z=60
1-		5.5	4.0	5.8	1.000	0.340	0.167	0.119	1.000	0.126	0.036	0.021
2-		18.0	4.0	5.8	2.000	2.460	2.290	2.821	2.000	0.017	0.002	0.001
3...		22.5	5.0	5.8	3.000	2.422	2.289	2.818	3.000	0.011	0.002	0.001
SUMA		46.0	13.0		6.000	5.239	4.738	5.759	6.000	0.154	0.040	0.023



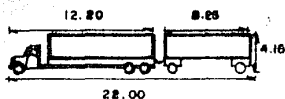
**C2-R2**

CAMION DE DOS EJES CON REMOLQUE DE DOS EJES.

CAMINO A	Conjunto	Peso, en ton.			$d_m$ = Coeficiente daño bajo carga máxima.				$d_v$ = Coeficiente de daño vacío.			
		Carga máxima	Vacío	$\rho$ , kg/cm <sup>2</sup>	Z=0	Z=15	Z=30	Z=60	Z=0	Z=15	Z=30	Z=60
1-		5.5	3.5	5.0	1.000	0.249	0.107	0.119	1.000	0.079	0.019	0.010
2-		10.0	3.0	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.044	0.009	0.004
3-		10.0	2.0	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.009	0.001	0.000
4-		10.0	2.0	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.009	0.001	0.000
SUMA		35.5	10.5		4.000	4.972	7.037	8.570	4.000	0.141	0.030	0.014

- EJE SENCILLO
- EJE TANDEM
- EJE TRIPLE

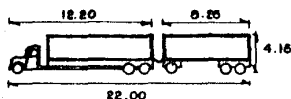
TABLA II.3 Coeficientes de daño (continuación).



**C3-R2**

CAMION DE TRES EJES CON  
REMOLQUE DE DOS EJES.

Conjunto	Peso, en ton.		p. Kg/mt. <sup>3</sup>	$d_m$ = Coeficiente de daño bajo carga máxima.				$d_v$ = Coeficiente de daño vacío.			
	Carga máxima	Vacio		Z=0	Z=15	Z=30	Z=60	Z=0	Z=15	Z=30	Z=60
1	5.5	4.0	5.8	1.000	0.340	0.167	0.119	1.000	0.126	0.056	0.021
2	18.0	4.5	5.8	2.000	2.468	2.290	2.321	2.000	0.025	0.003	0.002
3	10.0	2.0	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.009	0.001	0.000
4	10.0	2.0	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.009	0.001	0.000
<b>SUMA</b>	<b>43.5</b>	<b>12.5</b>		<b>5.000</b>	<b>5.899</b>	<b>7.037</b>	<b>8.560</b>	<b>6.000</b>	<b>0.172</b>	<b>0.041</b>	<b>0.023</b>



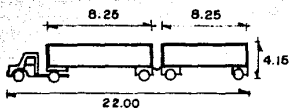
**C3-R3**

CAMION DE TRES EJES CON  
REMOLQUE DE TRES EJES.

Conjunto	Peso, en ton.		p. Kg/mt. <sup>3</sup>	$d_m$ = Coeficiente de daño bajo carga máxima.				$d_v$ = Coeficiente de daño vacío.			
	Carga máxima	Vacio		Z=0	Z=15	Z=30	Z=60	Z=0	Z=15	Z=30	Z=60
1	5.5	4.0	5.8	1.000	0.340	0.167	0.119	1.000	0.126	0.035	0.021
2	18.0	4.5	5.8	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.025	0.003	0.002
3	10.0	2.0	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.009	0.001	0.000
4	18.0	3.0	5.8	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.005	0.000	0.000
<b>SUMA</b>	<b>51.5</b>	<b>13.5</b>		<b>6.000</b>	<b>6.820</b>	<b>7.037</b>	<b>8.561</b>	<b>6.000</b>	<b>0.158</b>	<b>0.040</b>	<b>0.023</b>

- EJE SENCILLO
- EJE TANDEM
- EJE TRIPLE

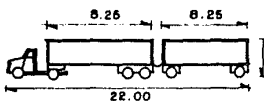
**TABLA II.3 Coeficientes de daño (continuación).**



**T2-S1-R2**

TRACTOR DE DOS EJES CON SEMIRREMOLQUE DE UN EJE Y REMOLQUE DE DOS EJES.

Conjunto	Peso, en ton.		p. Kg/cm <sup>2</sup>	$d_m$ = Coeficiente de daño bajo carga máxima.				$d_v$ = Coeficiente de daño vacío.			
	Carga máxima	Vacío		Z=0	Z=15	Z=30	Z=60	Z=0	Z=15	Z=30	Z=60
				CAMINO A							
1.	5.6	3.2	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.057	0.012	0.005
2.	10.0	3.4	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.071	0.016	0.009
3.	10.0	2.4	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.018	0.003	0.001
4.	10.0	2.3	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.015	0.002	0.001
5.	10.0	2.2	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.013	0.002	0.001
<b>SUMA</b>	<b>45.6</b>	<b>13.5</b>		<b>5.000</b>	<b>6.613</b>	<b>9.327</b>	<b>11.399</b>	<b>5.000</b>	<b>0.174</b>	<b>0.035</b>	<b>0.018</b>



**T2-S2-R2**

TRACTOR DE DOS EJES CON SEMIRREMOLQUE DE DOS EJES Y REMOLQUE DE DOS EJES.

Conjunto	Peso, en ton.		p. Kg/cm <sup>2</sup>	$d_m$ = Coeficiente de daño bajo carga máxima.				$d_v$ = Coeficiente de daño vacío.			
	Carga máxima	Vacío		Z=0	Z=15	Z=30	Z=60	Z=0	Z=15	Z=30	Z=60
				CAMINO A							
1.	5.6	4.0	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.126	0.036	0.021
2.	10.0	4.0	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.126	0.036	0.021
3.	18.0	3.5	5.8	2.000	2.468	2.280	2.821	2.000	0.009	0.001	0.000
4.	10.0	2.3	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.015	0.002	0.001
5.	10.0	2.2	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.013	0.002	0.001
<b>SUMA</b>	<b>53.6</b>	<b>16.0</b>		<b>6.000</b>	<b>7.440</b>	<b>9.327</b>	<b>11.400</b>	<b>6.000</b>	<b>0.269</b>	<b>0.077</b>	<b>0.044</b>

- EJE SENCILLO
- EJE TANDEM
- EJE TRIPLE

TABLA II.3 Coeficientes de daño (continuación).



munica una población con una vía troncal. Lo anterior toma en cuenta el punto de vista de mantenimiento y/o rehabilitación, reconstrucción y ampliación de caminos, será más alta en el primer tipo de camino puesto que éste brinda mayores beneficios económicos al país.

La rentabilidad del camino se puede valorar usando el ejemplo anterior; el primer tipo de camino será más provechoso y rentable, puesto que dará acceso al tránsito de camiones de carga comercial, que tiene repercusión directa en la economía del país. Lo mismo sucede con carreteras que comunican centros turísticos. Mientras que el segundo camino, cumplirá sólo con el objetivo de comunicar a la población con otras más grandes y, si acaso, contribuirá al beneficio económico del país en menor escala.

Una vez determinada la necesidad de mantener y/o rehabilitar un camino cualquiera en función de su importancia económica y/o social y su deterioro, el siguiente paso es programar las actividades para efectuarle cualquiera clase de mantenimiento.

## II.6 ESTADO ACTUAL DEL CAMINO.

La manera de conocer el estado actual de un camino o carretera es mediante una evaluación. Esta comprende, en primera instancia, a la evaluación de la superficie del pavimento y luego si se requiere, a muestreos y pruebas de laboratorio, así como pruebas en el lugar, para averiguar la calidad y resistencia de las capas que los forman y de los materiales empleados; debe incluirse también una revisión de las obras de drenaje y subdrenaje y las características geométricas de los caminos.

## II.7 PRESUPUESTO EN EL MANTENIMIENTO.

Un factor importantísimo para decidir si un camino se le realiza mantenimiento es el presupuesto, muchas veces este factor es el que obliga a reforzar un camino con una sobre-carpeta, por ejemplo, en una ampliación o modernización; también dependiendo de que

en las mayoría de los caminos, el flujo no se debe interrumpir.

## II.8 EL TRANSITO EN EL MANTENIMIENTO.

Otro factor muy importante a considerar en el mantenimiento de los caminos, es el tránsito, esto es, que cantidad y tipo de vehículos circulan por un camino. Si el tránsito existente esta compuesto en su mayor parte por vehículos pesados, es muy probable -- que la sección estructural de ese camino necesite una modernización o rehabilitación y aquí entra otro factor, que es el de la estructura actual del camino y los materiales con que está formado, así como su historia. Y es que el eterno problema es que el tránsito evoluciona, en número y en peso, desproporcionadamente a como evolucionan los caminos, los cuales periódicamente tienen que modernizarse para soportar los crecientes tránsitos y agilizarlos; así tenemos que si un camino se modernizó por ejemplo, hace unos 10 o 15 años, seguramente necesita ya una renovación o cuando menos un refuerzo si no se le ha realizado.

## II.9 ACTUALIZACION DEL PROYECTO GEOMETRICO ORIGINAL DEL CAMINO.

Suponiendo que se cuente con el presupuesto suficiente y el material adecuado, en muchos casos no es suficiente con obtener una superficie de rodamiento segura, cómoda y durable sino que es necesario actualizar el proyecto geométrico, siempre de acuerdo al tránsito, es decir, se tendrán que reducir las pendientes fuertes si las hay o curvas con alto grado y además, ampliar la sección; esto último, como ya se dijo, de acuerdo a un análisis de la capacidad de servicio del camino.

De lo anteriormente expuesto, se resume que los factores que influyen para saber si una carretera o camino necesita mantenimiento y/o rehabilitación, reconstrucción o ampliación son los siguientes:

- 1) Importancia social y/o económica de los puntos que comunica la carretera.

- 2) Estado actual de la sección estructural de la carretera -- que se refleja en la condición de la superficie de rodamiento, y que se puede medir con una evaluación, es decir, una revisión que va desde la superficie de rodamiento hasta el terreno natural, incluyendo obras de drenaje y subdrenaje.
- 3) La cantidad y tipo de vehículos, o sea, el tránsito, que sabe obtener por aforos que sean representativos y confiables. La manera de saber si una carretera puede conducir cierto volúmen de tránsito, sin saturarse, es por medio de un análisis de capacidad de servicio.
- 4) El medio ambiente, es decir la topografía, climatología, geografía, vegetación, geología, etc.

Con respecto a éste último inciso, es necesario señalar su importancia.

Las carreteras generalmente están construídas o se construyen sobre zonas con características topográficas particulares que pueden ser las siguientes:

- a) Terreno plano.- Se define como cualquier combinación de los alineamientos horizontal y vertical que permita a los vehículos pesados mantener la misma velocidad de los vehículos ligeros. REF. 3
- b) Terreno en lomerío.- Es cualquier combinación de los alineamientos horizontal y vertical, que obliga a los vehículos pesados a reducir su velocidad con respecto a la de los ligeros, en algunos tramos de la carretera. Generalmente a este tipo de terrepo se le subdivide en lomerío suave y fuerte. REF. 3

c) Terreno montañoso.- Se llama así al terreno en donde la combinación de los alineamientos vertical y horizontal, obliga a los vehículos pesados a operar con velocidades mucho menores que las de los vehículos en distancias considerables y a intervalos frecuentes. REF. 3

En cuanto a las otras características ambientales, como son: geología, geografía, vegetación en inclusive uso del suelo, este último determinante en la decisión de hacer ampliaciones o cuerpos nuevos, la DETENAL (Dirección de Estudios del Territorio Nacional) ha estudiado la mayor parte de la República Mexicana y tiene a la disposición cartas con los conceptos mencionados, las cuales son muy útiles para tomar las primeras decisiones en un proyecto dado, ya que para éste es necesario reconocer la zona y realizar estudios preliminares.

La geografía del lugar influye en cuanto a los centros de población que serán beneficiados económica o socialmente.

La geología nos ayuda a conocer los posibles tipos de materiales sobre los que se construirá el camino y además los materiales que probablemente nos servirán para construirlo y la disposición de los mismos en un momento determinado, empleando la maquinaria adecuada para su explotación y la mano de obra especializada.

## II.10 TIPOS DE FALLAS.

FALLA. Uno de los aspectos más importantes de los caminos o pavimentos es la falla existente entre ellos. Lo primero que tenemos que acordar o definir es lo que constituye realmente una falla en esas estructuras.

Esto es muy importante, tanto que su franco reconocimiento por los ingenieros en vías terrestres, ha causado que a la falla, como factor de diseño, se le dé tanta importancia, como a los o---



tros factores que influyen en el diseño.

Se reconocen dos tipos o familias de fallas:

- a) Fallas funcionales
- b) Fallas estructurales

#### II.10.1 FALLA FUNCIONAL.

Es una alteración de la superficie de rodamiento que repercute, en mayor o menor grado, en la capacidad del camino de permitir un tránsito fluido, cómodo y seguro al usuario; a esta capacidad se le llama de servicio y la manera de como medirla se explicará más adelante.

Estas fallas pueden ser progresivas o no. Además no imposibilitan a los caminos para usarse. Simplemente perdieron su "cómoda-textura", que es muy importante sobre todo en carreteras de mucho tránsito. REF. 7

#### II.10.2 FALLA ESTRUCTURAL.

Es la alteración del pavimento (llegando a terracerías y terreno natural) de la sección estructural, que ocasiona a largo o corto plazo, una reducción en la capacidad de carga de éste, y/o una deformación excesiva. REF. 7 y 9

Al reducir la capacidad de carga de la sección estructural, se propicia la deformación y/o destrucción generalizada del mismo, es decir, la falla inicial se va extendiendo hasta destruir por completo la estructura, si no se toman las medidas convenientes.

A las medidas que se toman para remediar una falla funcional o en su defecto, una falla estructural, se les llama "conservación" y cuando el camino no ha sido seriamente dañado, en tramos cortos o largos, se les llama reconstrucción o modernización. El que opte por alguna de estas operaciones depende del avance del mal, por un

lado y por otro lado, de la disponibilidad de presupuesto.

Las fallas estructurales, que pueden originarse o localizarse en una o varias capas, si son graves. Consisten en el rompimiento del pavimento por la falla estructural de la subrasante, la sub-base o superficie, también puede fallar estructuralmente el cuerpo del terraplén o el suelo que lo soporta. Estas fallas sí imposibilitan al pavimento, cuando están muy avanzadas.

Para juzgar el tipo y el lugar de una falla, tiene que hacerse un estudio de campo y laboratorio, dirigido por una persona de muchos conocimientos de pavimentos y laboratorio. Así un ingeniero tiene que abrir la parte dañada de un pavimento y visualmente analizar el caso y ahí mismo hacer algunas mediciones y pruebas y ordenar un cuidadoso muestreo y su envío a un laboratorio de pavimentos para su ensaye. Después de reunir esa información, puede decir dónde está la falla, si será progresiva y que tipo de falla es.

Un estudio de fallas de pavimentos flexibles, hecho en México reveló que las causas de las fallas correspondían a la siguiente etapa del ciclo de diseño del pavimento:

Fallas por diseño inadecuado -----	25%
Fallas por construcción inadecuada -----	60%
Fallas por deficiente conservación -----	15%

Por lo tanto es más importante asegurar una adecuada construcción de los pavimentos, a base de una experimentada "inspección y control de calidad", que preocuparse mucho por un "diseño científico y técnico". También se demostró que una conservación inadecuada es causa de falla en muchos pavimentos. REF. 7

## II.11 FALLAS EN LAS CAPAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE TÍPICO.

### II.11.1 FALLA EN CARPETA. REF. 9

Siendo la carpeta la que está en contacto con las cargas y --

los efectos del intemperismo, su falla se observa con facilidad. Junto con la carpeta está el riego de sello, el cual también puede fallar, funcionalmente o estructuralmente. La falla funcional de un sello se presenta, por ejemplo, cuando la cantidad de asfalto es mayor de la necesaria o cuando la granulometría del agregado es muy fina y la superficie pronto se vuelve lisa, se arruga o se canaliza. El agregado también puede tener más arcilla que la permitida o no tener adecuada afinidad con el asfalto y desprenderse mucho de él. Las fallas en las carpetas asfálticas, pueden también ser funcionales o estructurales. Las primeras se presentan cuando por exceso de asfalto, de arcilla o humedad, o algunas de ellas -- juntas, la carpeta pierde su tersura. Esto no la vuelve intransitable, pero sí incómoda. También puede deformarse la carpeta por consolidación debida a la falta de compactación. Si la cantidad de asfalto es menor que la óptima, el agregado se desprende pronto y la carpeta se "desgranará". O puede ser que el espesor de esta capa no sea el indicado para el tránsito que la usa y la falla será por fatiga de la mezcla. Estas fallas pueden provocar ondulaciones, -- grietas aisladas o en forma de "piel de cocodrilo", y en la temporada de lluvias se producen muchos baches en ella. El frío intenso provoca grietas en las carpetas débiles.

#### II.11.2 FALLA EN LA BASE. REF. 9

Esta capa es muy importante en los pavimentos flexibles. Sus fallas son de tipo estructural. Pueden deberse a exceso de arcilla que al saturarse se expansiona y pierden resistencia, provocando una deformación junto con la carpeta. Si el tránsito es pesado e intenso, pronto se provoca el bache en ella y la carpeta. El espesor de la capa base puede ser menor que el correspondiente a su factor de capa, y la falla es por esfuerzo cortante.

Si la compactación fue insuficiente, se deforma por consolidación y la deformación, permanente, provoca también deformación de la carpeta. El material de la base puede ser muy arenoso y perder compactación cuando se seca provocando movimientos, que se reflejan en la carpeta.



En aquellos lugares donde se producen fuertes y prolongadas lluvias, el suelo de las bases, si es fino y con humedad, se congela, y al descongelarse se daña mucho su resistencia.

### II.11.3 FALLA EN LA SUB-BASE. REF. 9

Las fallas en esta capa, son del tipo que las mencionadas para la base. En la base esto no es importante. La sub-base, por estar en contacto con la subrasante, cuando se necesita sub-base, -- puede contaminarse con arcilla, si la subrasante es muy arcillosa.

Si la base es en la sub-base o l subrasante, el movimiento en en la base y la carpeta es exagerado y se manifiesta por unas rodadas muy profundas o baches. Si la falla es en la base o la carpeta el movimiento es menor, sobre todo para falla de carpeta y las rodadas o deformaciones son poco profundas. De ahí que la profundidad de una rodada indica en dónde está localizada la falla.

### II.12 TIPOS DE CAUSAS DE FALLA: REF. 9

Las fallas de las secciones estructurales con pavimento flexible, se pueden originar por varias razones: mal diseño, mala construcción, empleo de materiales inadecuados y específicamente por consolidación o esfuerzos cortantes en la terracería, subrasante o alguna otra capa del pavimento. Generalmente, cuando la falla es por consolidación, se origina una depresión en el lugar por donde acostumbran pasar las ruedas de los vehículos. Cuando la falla es por cortante en las terracerías o subrasante se origina esa misma depresión, pero el material en la superficie a una cierta distancia de la huella de la rodada de los vehículos se levanta o "bufa" si la falla por cortante se produce en la superficie, ocurre lo mismo solo que el bufamiento se localiza muy cerca de la huella de las llantas de los vehículos, sin embargo, para conocer con más exactitud la causa de la falla, es conveniente realizar un análisis más detallado, que puede ser por medio de trincheras o sondeos en el pavimento, solo que esta prueba es destructiva. También se originan las fallas por comportamientos inadecuados de la carpeta o --

riego de sello.

## II.13 DESCRIPCION DE LAS FALLAS MAS COMUNES EN UNA SECCION ESTRUCTURAL:

### FALLA DE PIEL DE COCODRILO.

Este tipo de agrietamiento que figura la piel de cocodrilo se debe a las siguientes causas:

- Movimientos verticales excesivos de las capas subyacentes a la carpeta.
- Fatiga de la carpeta.

Originadas por capas de apoyo resilientes, mal compactadas o con espesores inadecuados.

### FALLA POR CONSOLIDACION.

Se puede producir en una o varias capas del pavimento y se debe a deficiencias de compactación o a materiales degradables.

### FALLA POR CORTANTE.

Tienen su origen en la falta de cohesión y fricción interna - en la sub-estructura, se les conoce por el bufamiento a los lados de la rodada; cuando los acontecimientos no están bien contruidos y diseñados, esta falla ocurre en la rodada exterior.

### FALLA LONGITUDINAL.

Son grietas paralelas al eje del camino que aparecen a poca distancia del borde del pavimento y que suelen acompañarse con ramificaciones transversales hacia los acotamientos; se originan por falta de soporte lateral, asentamiento de los terraplenes, cambios de humedad y temperatura o uso de materiales con alta contracción. Esta grieta también puede aparecer en la carpeta o en la jun

ta entre la carpeta y el acotamiento por causas de un mal proyecto o sea, no dar a los acotamientos el ancho suficiente para que la grieta se produzca en ellos.

#### FALLA POR FALTA DE ADHERENCIA.

Esta falla se manifiesta por corrimientos en el sentido del tránsito y/o desprendimientos de la capa superior, que pueden ocurrir entre la base y la carpeta y la sobrecarpeta, debidos a la falta de liga entre las capas.

#### GRIETAS REFLEJADAS.

Este tipo de fallas ocurren sólo en las sobrecarpetas y son la reflexión de grietas de un pavimento antiguo en la misma sobrecarpeta. En éstas es necesario cuidar que no permitan infiltraciones de agua por medio de sellados. En E.U.A. han evitado las reflexiones construyendo una capa de mezcla asfáltica con agregados pétreos de tamaño uniforme, más o menos de 5.08 cm. (2") y sobre ella la sobrecarpeta. En todos los casos, es necesario sellar las grietas antes de construir sobrecarpetas.

#### GRIETAS POR CONTRACCION.

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

#### FALLAS TRANSVERSALES.

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

### DEPRESIONES EN LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO.

Son asentamientos en zonas pequeñas aisladas y pueden ser originadas por tráfico que excede al diseñado, hundimientos de las capas inferiores o defectos de construcción.

### DESINTEGRACION DE LAS CARPETAS.

Es la destrucción de las mismas en pequeños fragmentos sueltos que se conocen como "hoyancos" y "calaveras" y son agujeros en la superficie de rodamiento del pavimento.

Se deben a zonas débiles por falta de asfalto, superficies de desgaste delgadas, exceso o falta de finos, mal drenaje, mala construcción, uso de materiales degradables, poca afinidad de los pétreos y el asfalto, falta de limpieza de los agregados.

El proceso puede avanzar de la superficie hacia abajo y de las orillas al centro llamándose erosión.

### PAVIMENTO RESBALOSO.

Es la falla consistente en que la superficie de rodamiento no sea ya antiderrapante y por lo tanto sea insegura. Las razones por lo que esto sucede, son: excedencia o afloramiento del asfalto de la mezcla y pulido de los pétreos de la superficie.

### FALLAS POR CONSOLIDACION O MOVIMIENTOS DEL TERRENO DE CIMENTACION.

Estas se manifiestan por depresiones o abultamientos en zonas grandes aisladas y pueden ser indicios de posibles fallas de talud por lo que hay que investigarlas. Empiezan con el agrietamiento longitudinal o semicircular de la superficie de rodamiento y terminan con las depresiones o abultamientos que se reflejan en la carpeta.

## FALLAS POR CONDICIONES ADVERSAS DEL AGUA Y EL NIVEL FREATICO.

REF. 3 y 9.

El agua en exceso en el pavimento reduce sus características de calidad y resistencia y pueden volverlo peligroso cuando los materiales empleados en su construcción son inestables o se genera una subpresión. Por ejemplo, si el agua llega a las terracerías o la subrasante y el material de éstos es expansivo, el resultado es fatalmente predecible.

También el agua de lluvia que escurre a los lados del terraplén de un camino, por ejemplo puede erosionar el talud del mismo, causando su inestabilidad. El agua, sea superficial o subterránea, si no es tratada adecuadamente siempre originará problemas. Una vez que se conocen los tipos de falla y sus posibles causas, se puede pasar a los métodos que existen para evaluar un camino.

### II.14 MANTENIMIENTO Y/O REHABILITACION.

#### II.14.1 GENERALIDADES DE MANTENIMIENTO.

Con el transcurso del tiempo la estructura del camino y principalmente la superficie de rodamiento, sufren deterioros ó fallas que al manifestarse disminuyen la capacidad de proporcionar un tránsito cómodo y seguro al usuario. En los pavimentos dichas fallas son producidas por la repetición continua de cargas derivadas de la forma de la estructura del pavimento y de la acción de la intemperie.

#### II.14.2 CONSERVACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES. REF. 7

Se entenderá por conservación, todos los trabajos necesarios a realizar a un camino pavimentado, para que cumpla con sus funciones de comodidad y seguridad en un grado aceptable, evitando que un pequeño desperfecto llegue a provocar una falla funcional y posteriormente, una falla estructural. Lo anterior no quiere decir que para que haya falla estructural, necesariamente tenga que exis

tir la falla funcional. En otras palabras, es conservarle a la carretera condiciones de servicio adecuadas.

Dentro de lo que es conservación, se tienen dos aspectos importantes, que son:

- Conservación preventiva
- Conservación correctiva

La conservación preventiva tiende a prevenir o retardar las fallas. La conservación correctiva se aplica cuando han ocurrido las fallas en un pavimento, y se dan los pasos para localizar y definir el tipo de falla y lo que la causó, haciendo la reparación necesaria.

Dentro de la conservación preventiva, se llevan a cabo trabajos de limpieza de cunetas y contracunetas, desazolves de tubos, alcantarillas y puentes, eliminación de vegetación que reduzca el área hidráulica efectiva, limpieza de subdrenes, etc.

En la conservación correctiva, se realizan actividades de mayor importancia, como son: riegos de sello, bacheos, renivelaciones, rellenos de grietas en incluso reparaciones mayores en tramos aislados de un camino.

#### II.14.2.1 CONSERVACION PREVENTIVA.

La finalidad de este tipo de conservación es evitar que se originan fallas que luego dan lugar a reducción de la capacidad de servicio del pavimento, tales como: limpieza de contracunetas y cunetas, alcantarillas, puentes, etc. que se analizarán en el capítulo IV de esta tesis.

#### II.14.2.2 CONSERVACION CORRECTIVA.

Esta se constituye por labores que corrigen pequeñas fallas del pavimento o posibles causas de fallas mayores en el mismo, que

en el futuro conduzcan a reducción de la capacidad de servicio del pavimento y costos más altos de mantenimiento y/o rehabilitación.

#### LABORES DE CONSERVACION CORRECTIVA. REF. 5 y 9

#### RIEGOS DE SELLO.

Los riegos de sello se hacen cuando la superficie tratada exceda de 1 Km. longitudinal continuo; es la aplicación de material-asfáltico cubierto con una capa de agregado pétreo para impermeabilizar el pavimento protegiéndolos del desgaste y proporcionando una superficie antiderrapante y con un color tal, que refleje apropiadamente la luz de los faros de los vehículos.

Quando se ejecute un riego de sello con asfaltos rebajados, - el material pétreo deberá estar, de preferencia seco, y cuando con engan agua libre, producto de las lluvias o del banco pero sin sobrepasar el porcentaje de absorción de las partículas, y no sea económico eliminarla, se podrá efectuar el sello añadiendo un aditivo al asfalto rebajado o bien empleando emulsión, es por eso que es aconsejable programar los riegos de sello, para efectuarlos de preferencia en la temporada de secas y en climas muy extremosos, - se evitará sellar en épocas de frío o vientos intensos ya que esto impide uniformidad en el trabajo, los riegos de sello no se harán si la temperatura ambiente es inferior a 5°C. si se usan asfaltos-rebajados, y de 10°C, si se usan emulsiones asfálticas.

#### BACHEOS.

Es la reposición del material de la superficie de rodamiento que ha sido destruída y removida en pequeñas zonas por los efectos del tránsito. Este tipo de fallas se dividen en calaveras y baches y existen las primeras cuando la dimensión es menor de 15 cm., en caso contrario la falla es un bache. Estos a su vez se dividen en baches superficiales y profundos, siendo los primeros los que afectan únicamente a la carpeta. Sean unos u otros, el bacheo será su corrección definitiva sólo si se encuentran aislados en áreas muy

grandes y siempre se deberá determinar cual es la causa de la falla y atacarla de origen, para que esta no vuelva a aparecer. Cuando las fallas ocurren en forma continua y numerosa en un área pequeña será necesario programar una reconstrucción, usando por ejemplo máquinas cortadoras. REF. 6 y 8

#### RENIVELACIONES.

Las renivelaciones se hacen cuando el volúmen de mezcla asfáltica empleada es mayor de  $200 \text{ M}^3/\text{Km}$ . REF. 8

Para llevar a cabo una renivelación y con el fin de tomar una solución adecuada y que garantice que la deformación no se volverá a presentar en un lapso previsible, se hará un estudio previo con el auxilio de un laboratorio para conocer a fondo la causa de falla. En los lugares donde existían asentamientos antes de la reconstrucción se harán los trabajos de renivelación necesarios, con el fin de lograr uniformidad en la superficie de rodamiento, de las nuevas carpetas; como a continuación se indica:

En caso de deformaciones pequeñas de 1 a 3 cm. se corregirán con un riego de sello.

Si las deformaciones son superiores a 3 cm. se deberá emplear mezcla asfáltica en la siguiente forma:

- a) Se limpiará perfectamente la zona por renivelar de toda materia extraña.
- b) Se definirá y se marcará el área por renivelar siguiendo el perímetro de la zona fallada. Inmediatamente se procederá a abrir una caja perimetral de 5 cm. de ancho, para evitar espesores pequeños en la orilla de la renivelación así como que la mezcla se corra.
- c) Cuando la superficie este constituida por una base impregnada o carpeta de un riego, se picará la zona por renivelar con un espaciamento en cada golpe de zapapico de 30 cm., barriendo el material excedente, se dará un riego de



liga, con un producto asfáltico cubriendo en su totalidad el área por reparar sin exceso de asfalto, dándose el tiempo necesario de fraguado para evitar solvente atrapado y el deslizamiento de la mezcla .

- d) En la mezcla asfáltica variará el tamaño máximo del material pétreo, de acuerdo con el espesor de la capa por construir , en forma tal, que nunca exceda el 40% de ella. --- Cuando el asentamiento sea mayor de 7 cm. se rellenará en dos o más capas pudiendo ser la superficial hasta de 6 cm. de espesor suelto y las inferiores hasta de 10 cm.; estas capas se compactarán con rodillo o aplanadora de las orillas hacia el centro, el pizón de mano sólo se usará en re nivelaciones poco profundas cuya superficie no sea mayor de  $4 \text{ m}^2$ , no permitiéndose el tráfico hasta lograr la compactación óptima, concluyéndose el trabajo con el sello en un lapso no mayor de un mes.

#### RELLENO DE GRIETAS.

Siempre se debe garantizar la impermeabilidad de la superficie de rodamiento, y cuando aparezcan grietas, que son indicios de falla, deberán rellenarse o corregirse llegando hasta las causas que las originan, pudiendo dar origen a una reconstrucción. El producto con el que se rellenan será del tipo asfáltico que garantice la penetración. REF. 5

### II.14.3 MANTENIMIENTO EN CAMINOS VECINALES.

En caminos vecinales, es frecuente llevar a cabo labores de conservación menor que en carreteras principales se presentan poco debido a que éstas no cruzan tantos poblados o en su defecto están muy controladas por los mantenedores a cargo. Todas estas labores para caminos vecinales pueden considerárseles como conservación -- previa y son las mencionadas a continuación:

#### II.14.3.1 DESMONTE.

Comprende esencialmente las siguientes labores: tala, roza, limpieza y quema, respectivamente consisten en cortar arbustos, árboles, quitar la maleza, hierba, zacate o residuos de siembras, sacar troncos con todo y raíces y retirar el producto del desmonte -- al lugar que se predestine para estibarse y quemarse lo no utilizable. Se recomienda que estas labores de mantenimiento para caminos vecinales y aún para carreteras, se realicen lo más frecuentemente posible ya que principalmente restan visibilidad al usuario, tapar parcialmente o totalmente reduce la eficiencia de señalamiento, y además propicia invasiones al derecho de vía. REF. 3

#### II.14.3.2 ESPECIFICACIONES PARA EFECTUAR LA ROZA Y LA TALA.

##### ROZA. REF. 3

- 1) En ningún caso se permitirá la existencia de hierbas en acotamientos ni deberán sobrepasar de 30cm. de altura en una faja de 5 m. colindantes a la corona del camino.
- 2) La hierba no sobrepasará de un metro de altura en el resto de derecho de vía.
- 3) En caso de que el proyecto incluya pasto, plantas de ornato o seto vivo en camellones y glorietas se les dará la -- conservación apropiada; sin tener validez para estos casos las normas anteriores.

En el caso de labores de roza toda la hierba se deberá arran-

car de raíz, y en el corte de maleza, zacate y árboles que inicien su crecimiento se harán tan al raz como lo permita el terreno, recomendándose para ello alternar los deshierbes de los 5 m. adelantos a la corona con los de todo el ancho de las zonas laterales.

El producto del deshierbe se depositará dentro de las zonas de derecho de vía, en lugares donde no pueda ser acarreado por las aguas a las obras de drenaje, pudiéndose quemar pero teniendo el cuidado de que el fuego no se propague, estando prohibido quemar la maleza para evitar su corte.

Si se requiere sembrar especies vegetales para estabilizar taludes, se buscará de preferencia una variedad que no crezca más de 50 cm.

#### II.14.3.3 TALA.

Previamente a todo trabajo de tala de árboles en su desmonte se contará con la autorización de la S.A.R.H.

Se estibaré todo el material aprovechable dentro de las zonas laterales al derecho de vía, quedando a beneficio del propietario afectado. Se tomarán todas las precauciones para que no caigan ramas sobre la corona del camino en caso de que exista la posibilidad de esto.

#### II.14.3.4 RASTREOS.

En caminos vecinales, las labores de rastreos o recargues pueden considerarse como una conservación preventiva, cuya finalidad será de que la sección transversal conserve el bombeo y sobreelevación adecuados, permitiendo con ello el libre escurrimiento del agua superficial, y además que la superficie de rodamiento este exenta de ondulaciones y depresiones.

Se recomienda efectuar estas labores de mantenimiento como mínimo cada seis meses de preferencia antes de iniciarse y al término de la época de lluvias para garantizar, aún durante estas que el camino estará en condiciones de usarse.

#### II.14.3.5 TECNICA DE RASTREO.

Antes de iniciar un rastreo ó recargue, sobre una superficie de rodamiento con baches, asentamientos y deformaciones o en su defecto que la capa este muy delgada efectuar el recargue de material cuidando de cumplir con las especificaciones de mantenimiento que dicta el S.C.T., en su departamento de conservación de caminos se recomienda un tamaño máximo de material pétreo para la capa superficial hasta de 76 mm (3"), el cual no deberá de tener más de 5% de partículas mayores a ese tamaño, empleándose un volumen tal que nos de el espesor mínimo compacto del recargue, de 10 cm. REF.

8

Una vez efectuadas las labores anteriores se hará el rastreo cuidando que el material empleado tenga la humedad necesaria según el caso se agregará agua ó se le dará tratamiento de aereado al material, no olvidando que una vez compactada la capa inferior se encarficará esta antes del tendido de una nueva para evitar encarpamiento. Al finalizar el tendido de la última capa se procederá a compactarla y en algunas ocasiones se dejará a la acción del tráfico.

En el caso de que la superficie de rodamiento no requiera de-

recargue, el rastreo consistirá, en trabajar las partes altas de camino, para rellenar depresiones dando un riego de agua a todo el material suelto para después extenderlo y compactarlo con el equipo conveniente.

En las zonas laterales del derecho de vía se hacen necesarios reacomodos del material superficial con el fin de rellenar pequeños deslaves evitando que estos se agranden así como también extender material depositado producto de la limpieza, y evitar esto último en lugares donde el terreno es uniforme. Se requiere también obtener una superficie plana y uniforme para propiciar un mejor drenaje superficial evitando erosiones. Toda esta serie de labores que componen un rastreo se sujetarán a lo siguiente:

- 1) Se harán con motoconformadora o tractor, evitando depositarse el material arrastrado en las contracunetas o canales. REF. 8 y 9
- 2) Por ninguna razón se alterará el cauce y la sección de contracunetas y canales. REF. 9
- 3) Se buscará mejorar el drenaje del camino, dando al término del rastreo superficies con pendiente y dirección adecuadas. REF. 9

#### II.14.4 CONSTRUCCION DE SOBRECARPETAS.

Las sobrecarpetas son la solución correcta cuando la estructura total del pavimento se encuentra en buenas condiciones y la carpeta indica por agrietamientos en su superficie o leves deformaciones que requiere un esfuerzo.

Para ello es necesario renivelar antes la superficie de rodamiento, con el fin de eliminar ondulaciones que se reflejan en la sobrecarpeta; éstas deformaciones también se pueden eliminar con el auxilio de una fresadora, que es una máquina que corta la carpeta y la disgrega. Esta maquinaria deja la superficie propia para recibir la sobrecarpeta. Este procedimiento es bueno, ya que elimina las capas superficiales de riego de sello que de ninguna manera son buena liga entre la carpeta y la sobrecarpeta; el material fresado se puede aprovechar para renivelar los acotamientos, guardando siempre el nivel máximo de 5 cm. con respecto a la superficie de rodamiento. Basta utilizar un rejuvenecedor o una emulsión asfáltica diluida. Tanto la sobrecarpeta como a los acotamientos será conveniente aplicarles un riego de sello para aumentar su impermeabilidad, y mejorar la textura y el color de superficie de rodamiento. REF. 7

#### II.14.5 TIPOS DE CARPETAS ASFALTICAS: REF. 7

Las carpetas asfálticas empleadas en los pavimentos flexibles se pueden clasificar así:

##### II.14.5.1 TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.

- a) Simple o de un riego
- b) Doble o de dos riegos
- c) Triple o de tres riegos

##### II.14.5.2 MACADAM ASFALTICO.

##### II.14.5.3 MEZCLA EN EL LUGAR.

- a) Elaborado con motoconformadora.
- b) Elaborada con mezcladora ambulante.

#### II.14.5.4 MEZCLA EN PLANTA.

- a) Dosificada por volumen

#### II.14.5.5 CONCRETO ASFALTICO

- a) Dosificado por peso en planta, y empleando cementos asfálticos y agregados calientes.

Cabe mencionar que para construir cualquiera de los tipos carpetas mencionadas, se debe contar de antemano con una base debidamente conformada, compactada, impregnada y seca.

#### II.15 RIEGO DE IMPREGNACION.

Una vez que la base se encuentra seca, se barre para retirar el material suelto y el exceso de polvo de la superficie. Inmediatamente se le dará un riego de producto asfáltico de fraguado medio a razón de 1.5 litros por metro cuadrado, esperando uno de dos días para que penetre y seque. El número del fraguado medio a emplear depende de la textura de la base.

En términos generales se puede decir que es aconsejable emplear el FM-2 en bases de textura abierta, el FM-1 en las medias y el FM-0 en las cerradas. REF. 10

#### II.16 TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE:

Sobre la base de pavimento ya conformada, compacta, impregnada y seca se dá un riego de producto asfáltico del tipo FR-3 a razón de 1.5 a 2.0 lts./m<sup>2</sup>, e inmediatamente se cubre con material pétreo número 3A (clasificado entre las mallas de 3/8" a #8) a razón de 6 a 8 lts./m<sup>2</sup>; se rastrea para uniformizar la superficie y se plancha con plancha liviana de 5 a 8 Tm. pudiendo abrirse al --

tránsito unos días después, debiendo de barrerse de la superficie el material pétreo sobrante para evitar que vaya a ayudar a formar ondulaciones en la carpeta. Esta carpeta asfáltica es aconsejable para tránsito inferior de 200 vehículos por día. En zonas de alta precipitación pluvial conviene mejor colocar un tratamiento superficial doble como se indica a continuación, para mayor eficiencia y duración del pavimento.

#### II.17 TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE:

Sobre la base del pavimento ya conformada, impregnada y seca se da un riego de producto asfáltico tipo FR-3 a razón de 2 Lts/m<sup>2</sup> e inmediatamente se cubre con material pétreo número dos (clasificado entre las mallas 1/2" y 1/4") a razón de 12 a 14 Lts/m<sup>2</sup>, se rastrea y se plancha con aplanadora liviana de 5 a 8 Tm. de peso. Dos o tres días después se barre y se le da un nuevo riego de producto asfáltico tipo FR-3 a razón de 1.5 a 2.0 Lts/m<sup>2</sup> y se cubre inmediatamente con material pétreo # 3B (clasificado entre las mallas de 1/4" y # 8 ), se rastrea para uniformizar la superficie, y se plancha con aplanadora pequeña de 5 a 8 Tm. de peso. Tres días después puede abrirse el tránsito. Posteriormente debe retirarse el material pétreo sobrante. Este tipo de carpeta asfáltica es aconsejable para un tránsito inferior a 600 vehículos por día.

#### II.18 TRATAMIENTO SUPERFICIAL TRIPLE:

La carpeta asfáltica formada por tres riegos se construye de la siguiente manera:

Sobre la base del pavimento conformada, compactada, impregnada y seca se da un riego de producto asfáltico del tipo FR-3 a razón de 2.5 Lts/m<sup>2</sup> e inmediatamente se cubre con material pétreo número 1 (clasificado entre las mallas 1" y 1/2" ) a razón de 20 a 22 Lts/m<sup>2</sup>, se rastrea y se plancha con aplanadora pequeña de 5 a 8 Tm. de peso. Dos o tres días después se barre el material pétreo sobrante y se coloca una carpeta de dos riegos sobre ésta, quedando así terminada la carpeta de tres riegos. Esta carpeta asfáltica



admite perfectamente bien los 1000 vehículos por día.

#### II.19 MACADAM ASFALTICO:

El macadam asfáltico o de penetración es una carpeta asfáltica que consiste de capas sucesivas de piedras progresivamente más pequeñas de abajo hacia arriba, limpias y angulosas. Cada capa se extiende y se acuña mediante compactación por vibración después de lo cual se baña con producto asfáltico. Es necesario contar con una buena base ya que siendo el macadam asfáltico una carpeta que presenta gran porcentaje de vacíos, principalmente en la parte inferior de la capa, si la base se reblandece, el peso constante de los vehículos obligará a que la base se incruste en la carpeta provocándose una deformación perjudicial.

El orden de las operaciones de construcción es el siguiente:

Encontrándose la base debidamente compactada, impregnada, limpia y seca se da la primera aplicación de agregado grueso con un esparcidor o con una tolva esparcidora adaptada a un camión de volteo. Esta capa se compacta con aplanadora de 10 a 12 Tm. de peso 6 preferentemente con un vibrador, para acomodar el agregado en su sitio. Estando compactada esta capa, se le da una aplicación de producto asfáltico. Viene la segunda aplicación de agregados de tamaños menores y en menor cantidad esparcido uniformemente para rellenar los huecos dejados en la primera capa. Deben emplearse rastras para ayudar a distribuir este agregado de cierre. Sigue inmediatamente la compactación con aplanadora de 10 a 12 Tm. de peso según vibrador, mientras el asfalto está todavía caliente para lograr así una mejor unión. Se da entonces la nueva aplicación del mismo producto asfáltico aplicado en menor cantidad y tamaño aún menor de agregado de cierre que actúa como riego de sello. Se da luego una combinación de rastra y compactación con el fin de llenar los huecos y tener una textura uniforme. El primer material p<sub>é</sub>treo empleado se conoce como material grueso, el segundo como material de encaje, y el tercero como material fino. Se han descrito con anterioridad tres pasadas que es el número corriente, pero pue

den ser cuatro o más. El producto asfáltico empleado es generalmente el FR-3, entre 65°C y 95°C, pero puede emplearse cualquier tipo según el clima. El agregado grueso del tamaño retenido en la malla de 1 1/8" no contendrá más del 5% de cantos planos o alargados cuya longitud exceda de tres veces su dimensión menor. La graduación del material debe estar de acuerdo con la siguiente tabla:

% en peso del material que pasa las mallas			
Malla	Material Grueso	Material de Encaje	Mat. Fino.
2 1/4"	100		
2"	90 - 100		
1 1/2"	30 - 55		
1 1/4"	0 - 15		
1"	0 - 5		
3/4"		100	
5/8"		90 - 100	100
1/2"		40 - 70	90 - 100
3/8"		0 - 15	30 - 50
4		0 - 5	0 - 8
10			0 - 3

Las cantidades de material a emplear pueden ser las siguientes:

Agregado grueso	100 Kg/m <sup>2</sup>
Producto asfáltico FR-3	3.5 a 5.0 Lts/m <sup>2</sup>
Agregado de encaje	20.0 Kg/m <sup>2</sup>
Producto asfáltico FR-3	1.5 a 2.0 Lts/m <sup>2</sup>
Agregado fino	10 Kg/m <sup>2</sup>

Las cantidades anteriores son aproximadas, dependiendo de los huecos de la superficie, de la porosidad del agregado pétreo y de su peso volumétrico.

## II.20 MEZCLA EN EL LUGAR:

La mezcla asfáltica en el lugar o en el camino se lleva a cabo revolviendo los agregados pétreos con el producto asfáltico mediante el uso de motoconformadores o empleando mezcladoras ambulantes.- El procedimiento a seguir es el siguiente:

Estando la base conformada, compactada, impregnada y seca, se acordará el material pétreo (que con anterioridad haya sido probado por el laboratorio por cumplir con las especificaciones de desgaste, granulometría, adherencia, etc.) y después se extenderá en una capa de espesor uniforme a lo largo del camino y se darán riegos sucesivos de producto asfáltico a razón de 3 a 4 Lts/m<sup>2</sup> hasta completar la cantidad determinada como óptima por medio de pruebas de laboratorio.

Después de cada riego de producto asfáltico sobre el material pétreo, se procederá a voltear éste con la motoconformadora con el objeto de que se mezcle bien el producto asfáltico con el material pétreo. Al final del mezclado el material debe presentar un aspecto uniforme en cuanto a granulometría y color. Al terminar el proceso de mezclado, se acordona el material a un lado, se da a la base un riego de liga de 0.5 Lts/m<sup>2</sup> de FR-3, e inmediatamente se tiende la mezcla sobre el riego de liga, se conforma cuidadosamente y se le da una planchada ligera para acomodarla simplemente, después de lo cual se deja pasar el tiempo necesario para que el producto asfáltico alcance la mayor parte de su fraguado procediendo después a su compactación. La pérdida de solventes necesaria para que la mezcla pueda ser empezada a compactar debe ser determinada por un laboratorio. Cuando se usen mezcladoras ambulantes, el material pétreo se acordará a lo largo del camino para que pueda ser recogido por la mezcladora dentro de la cual se la adicionará y revolverá la cantidad de producto asfáltico necesario. Estando la mezcla bien revuelta en la máquina, se da a la base el riego de liga de 0.5 Lts/m<sup>2</sup> de FR-3 y se procede al tendido, conformado y planchado como ya se indicó con anterioridad.

Terminada la carpeta asfáltica, si su índice de permeabilidad es mayor de 10, debe dársele un riego de sello. El riego de sello consiste en darle a la carpeta asfáltica un riego de FR-3 a razón de 1.0 Lts/m<sup>2</sup> y cubrirlo inmediatamente con material # 3B (clasificado entre la malla de 1/4" y # 8) el cual se plancha con planchalliviana.

#### II.21 MEZCLA EN PLANTA CON DOSIFICACION POR VOLUMEN:

Se llevan a cabo generalmente calentando el asfalto y muchas veces calentando también el agregado pétreo. Como la dosificación de los agregados se hace por volúmen, no resulta una mezcla de alta calidad a no ser que su control sea extremadamente riguroso. Debido a la incertidumbre en la dosificación estas mezclas resultan casi iguales a las elaboradas en el camino con mezcladoras ambulantes, por lo que su uso no se ha generalizado.

#### II.22 CONCRETOS ASFALTICOS:

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

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

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

#### TRANSPORTE Y DISTRIBUCION DE LA MEZCLA.

La mezcla será transportada de la planta de mezclado al lugar de colocación en camiones de volteo, que deberán limpiarse cuidadosamente para evitar que entren materias extrañas en la mezcla y un tarse interiormente de aceite para evitar que la mezcla se adhiera. Los camiones tendrán una lona o encerado que cubra la mezcla mientras dure el transporte, en casos de tiempo inseguros o distancias a recorrer muy largas. La mezcla se descargará en la terminadora, de acuerdo con la temperatura estipulada anteriormente y aún a temperaturas más bajas, si el laboratorio lo autoriza, siempre que los resultados del extendido y la compactación sean satisfactorios. A menos de disponer de luz artificial, no se podrá continuar el trabajo cuando por la hora del día la luz no permita ejecutarlo a entera satisfacción. La mezcla sólo se extenderá sobre la base cuando ésta esté seca y las condiciones del tiempo lo permitan. Antes de empezar la operación, la base deberá barrerse o limpiarse por medio de aire a presión hasta que no quede ningún material suelto sobre el camino.

La mezcla se esparcirá en fajas de 3 a 3.60m. de ancho, en capas de espesor uniforme, por medio de una máquina terminadora con una velocidad de 3 a 6 m/min., que no produzca arranques o desgarramientos en la capa de mezcla asfáltica que se está extendiendo. La colocación de la mezcla será tan continua como sea posible y las máquinas sólo pasarán sobre un borde no protegido de una carpeta recién colocada, cuando la colocación de esta carpeta vaya a suspenderse por tanto tiempo que permita enfriarse a la mezcla.

En los tramos adyacentes a cunetas y canales, etc. aún no compactados, deberán usarse formaletas que den soporte lateral al pavimento durante la compactación. Lograda la compactación inicial, se desmontará y se rellenará el hueco hasta el hombrillo con material adecuado, que se compactará de modo que el hombrillo tenga el ancho requerido tal como muestran los planos.

Inmediatamente después de terminada la extensión de una capa y antes de comenzar la compactación, deberá comprobarse la superficie y corregirse cualquier desigualdad que aparezca agregando o quitando material con rastrillos. Las irregularidades en alineación y rasante a lo largo de los bordes exteriores deberán corregirse, por adición o extracción de mezcla, antes de compactar dichos bordes.

Un obrero especialista, situado junto a la terminadora, se ocupará de la corrección de todas las irregularidades. En los lugares inaccesibles a la máquina terminadora, el trabajo podrá ejecutarse a mano, por métodos aceptados por el laboratorio y por el ingeniero inspector en calidad de los trabajos. En esos casos, se descargará la mezcla sobre una plancha de acero situada fuera de lugar donde va a extenderse la mezcla y desde ella se esparcirá con palas y rastrillos calientes, en una capa uniforme, suelta, del espesor debido

Las mezclas no se descargarán más rápidamente de lo que puedan distribuir los paleros, ni éstos distribuirán más rápidamente de lo que puedan esparcir los rastrilleros. Estos no deberán estar sobre la mezcla al rastrillar, salvo cuando estén corrigiendo defectos -- del primer rastrillado, en cuyo caso estarán equipados con calzado adecuado.

El rastrillado deberá hacerse con tanto cuidado, que después de la primera pasada de la aplanadora, sólo se requiera una ligera proporción de chequeo.

## II.23 REQUERIMIENTOS DE COMPACTACION.

Después de extender la mezcla, estará completa y uniformemente

compactada con aplanador TANDEM de 10 a 12 toneladas, tan pronto como la mezcla aguante el aplanado sin deslizamientos indebido, no tolerándose dilaciones en el aplanado. El empleo de una vibradora en la compactación de la carpeta puede ser muy útil en muchos casos. Este comenzará longitudinalmente en los bordes y procederá hacia el eje del pavimento, excepto en las curvas peraltadas, que procederá del borde inferior al superior, traslapando en sucesivos viajes por lo menos una mitad del ancho de la rueda trasera. Se harán viajes alternados de la aplanadora, con longitudes ligeramente diferentes. Donde el ancho lo permita, el pavimento será aplanado en diagonal en dos direcciones con una aplanadora Tandem que pese de 10 a 12 toneladas; el segundo aplando diagonal se hará cruzando las marcas del primero. REF. 7

La velocidad de la aplanadora no excederá de 5 Km/hr y en todo momento será suficientemente lenta para evitar el desplazamiento de la mezcla caliente y cualquier desplazamiento que ocurre cuando cambie la palanadora de dirección, o por otra razón, debe ser corregido usando rastrillos y nueva mezcla donde y cuando se necesite. El aplanado se continuará hasta que todas las marcas de la aplanadora desaparezcan y no sea posible conseguir mayor compactación. Para evitar la adherencia de la mezcla en las ruedas de la aplanadora, éstas se mantendrán humedecidas adecuadamente, sin permitir ningún exceso de agua. Por ningún motivo debe permitirse el uso de diesel en el limpiado y humedecimiento de las ruedas. Las aplanadoras se mantendrán en continuo funcionamiento de modo que todas las partes del pavimento reciben prácticamente igual comprensión.

A lo largo de brocales, colectores, bocas de visita y estructuras análogas, y en todos los lugares inaccesibles a la aplanadora, la compactación completa se debe conseguir por medio de pisones calientes y en todos los lugares de este tipo, las juntas entre estas estructuras y la mezcla, deberán ser eficazmente selladas pintando sus superficies con cemento asfáltico. No se permitirá a las aplanadoras estacionarse sobre la capa de esté compactándose.

## II.24 REQUISITOS DE LA CARPETA TERMINADA.

La carpeta después de la compactación final cumplirá con los siguientes requisitos:

Estará conforme con el trazado, rasante y sección tipo de planos. El espesor será el especificado y en ningún punto variará en más de 0.5 cms. Cualquier lugar defectuoso o bajo, será inmediatamente remediado, sacando la carpeta en dichos lugares colocando -- nueva mezcla caliente, la cual después de compactada estará conforme adyacente y completamente unida a ella.

La superficie estará libre de depresiones que exceden de 0.3-cms. cuando se mida con una regla recta de 3 m. paralela al eje de la carretera. Después de la última compactación las muestras del pavimento tendrán una densidad mayor del 95% de la densidad de las muestras de mezclas compactadas en el laboratorio. No se permitirá ningún tránsito sobre la superficie mientras no se haya enfriado completamente.



## II.25 RECONSTRUCCION DE CARPETAS.

En este aspecto hay tres alternativas a seguir y son las siguientes:

- a) Fresar la carpeta actual y reutilizar el material para nivelar los acotamientos, como se indico anteriormente.
- b) Reciclar la carpeta.
- c) Levantar la carpeta y reutilizar el material en otras capas de pavimento, en el caso de modificarse o renovarse su estructura.

En el primer caso, los procedimientos son los mismos que se siguen cuando se fresa sola la superficie de rodamiento, depositando el material fresado en los acotamientos.

En el segundo caso es la reutilización de los materiales de la carpeta para que mediante ciertos procedimientos de construcción y el empleo de rejuvenecedores de asfaltos se les debe un nuevo ciclo de vida útil.

Para éste efecto existen dos procedimientos generales:

- 1) El uso del equipo "Heater-Remix".

Este equipo es de origen americano. Consta de una campana montada en el chasis de un camión, que tiene quemadores de gas butano a 5 cm. Arriba de la superficie de rodamiento y la calienta. El mismo vehículo trae en su parte trasera un marco con escarificadores con movimiento de resorte que van aflojando la carpeta reblandecida por el calor.

Al material escarificado se le adiciona un rejuvenecedor para devolver al asfalto sus propiedades iniciales y cuando existe depresiones u orillas de carpeta muy desnivelada, así como roderas, se van recargando con concreto asfáltico nuevo.

Una vez reperfilada la superficie, se compacta el material suelto, primero con una aplanadora metálica y después con una neu-

mática.

La desventaja de este procedimiento es que sólo actúa en la parte superior de la carpeta, aprovechando el material de riego de sello si existe, siendo que éste material no es adecuado como concreto asfáltico.

Otra desventaja es que al paso de los quemadores, los riegos de sello elaborados con asfaltos rebajados alcanzan flama.

Existe un equipo europeo con la ventaja de que el calor se aplica por medio de rayos infrarrojos y los escarificadores penetran más en la carpeta, ya que están accionados por gatos hidráulicos, además éste equipo cuenta con un dispositivo que va distribuyendo el material escarificado o el nuevo que se agregue, evitando deformaciones. REF. 6

- 2) El otro procedimiento es el de fresar la carpeta y transportar el material por medio de camiones a una planta de concreto asfáltico donde se le mezcla con concreto asfáltico nuevo, renovándole sus propiedades. Luego se transporta a la obra y se construye la nueva carpeta con concreto asfáltico reciclado.

En este procedimiento es necesario aplicar fresados dobles, si esto es posible económicamente hablando, uno para eliminar los riegos de sello y otro para levantar la carpeta, no sin antes haber verificado que es de concreto asfáltico.

Según la experiencia, el porcentaje máximo a usar en los reciclados, es de 60% de material viejo y 40% de material nuevo, para garantizar una buena calidad de concreto asfáltico reciclado.

El inconveniente de éste método, es que no se puede asegurar que el material de la carpeta que se vaya a fresar sea homogéneo y por lo tanto la calidad del concreto asfáltico obtenido del reciclado tampoco será homogéneo.

Los dos procedimientos anteriores son costosos y para su aplicación se analizará primero el aspecto económico y la disponibilidad de materiales de buena calidad, tanto pétreos como asfálticos en el lugar.

Las propiedades que debe tener una carpeta al igual que una sobrecarpeta, son las siguientes:

- a) No deberá desplazarse ni desintegrarse por la acción del tránsito.
- b) Tendrá resistencia al intemperismo.
- c) Soportará pequeñas deformaciones, sin sufrir agrietamientos.

Algo que se debe cuidar al construir o reconstruir una carpeta, es que el desnivel entre la superficie de rodamiento y la del acotamiento no debe ser mayor de 5 cm. y por otro lado no es conveniente construir carpetas de mezclas en el lugar o en planta de menos de 3 cm. de espesor compacto, por que físicamente no se puede realizar, además el nivel de la superficie de rodamiento siempre deberá ser más alto que el de los acotamientos. REF. 6

## II.26 RECONSTRUCCION DE LA ESTRUCTURA: DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.

Cuando la calidad de la carpeta es tal que no se puede aprovechar ni siquiera para renivelación de acotamientos, hay dos alternativas:

- 1) Se le desecha.
- 2) Se aprovecha en capas inferiores como la base, sub-base o la subrasante, en el caso de que el pavimento actual se vaya a modificar, es decir, se levanten capas del pavimento que no sirvan o que se vayan a aprovechar en otras capas de menor calidad, cuidando siempre que el material que se ocupe para reconstruir una capa determinada cumpla con las características especificadas para el material de dicha capa.

## II.27 AMPLIACION DE CAMINOS.

En esta parte se construye una porción totalmente nueva en el caso de la ampliación o el cuerpo nuevo de la sección. Lo que se debe pretender con una ampliación es conducir el tránsito intenso y variado de una carretera en forma rápida y segura, lo cual, como antes se mencionó, se logrará con cambios en los alineamientos horizontal y vertical y proporcionando un ancho de corona de la carretera y número de carriles tal, que el volúmen de vehículos que circulen por una vía dada, no se vea bloqueado total o parcialmente por causas internas debidas al flujo del tránsito de la propia carretera.

Al realizar una ampliación lo que se quiere es aumentar el ancho de una sección ya construída, o de otra manera, construir un cuerpo nuevo.

Si la ampliación se desea hacer adosada a un cuerpo preconstruído hay que seguir ciertos lineamientos, éstos deberán darse en las normas de cada proyecto, de acuerdo con la disponibilidad de equipo y maquinaria de construcción.

II.28 MANTENIMIENTO DE OTRAS OBRAS IMPORTANTES.

II.28.1 ACOTAMIENTOS:

Los acotamientos además de proporcionar protección lateral a la superficie de rodamiento, sirven para estacionamiento de emergencia y como zona de desaceleración y están compuestas por la franja comprendida entre la orilla de la carpeta y la orilla de la corona del camino. La conservación de éstos, dependerá del tipo de superficie de rodamiento que exista. De acuerdo a los siguientes lineamientos:

- A) Para los caminos cuya superficie de rodamiento este revestida o de terracerías los acotamientos se tratarán igual al total de la corona del camino efectuando rastreos o recargues según sea necesario y conforme con lo antes mencionado. REF. 9
- B) Para caminos con carpeta se considerarán los siguientes lineamientos:
- 1- La carpeta y el acotamiento podrán estar en la misma superficie o bien en superficies paralelas con desnivel máximo de 5 cm. siendo todo el tiempo el nivel superior el de la carpeta.
  - 2- Los acotamientos serán construidos de acuerdo a las especificaciones de base protegiéndoselas con un riego de impregnación. Cuando el volumen del tránsito lo justifique se construirá carpeta de un riego, dándole una terminación rugosa a la superficie de rodamiento.
  - 3- Al efectuar reconstrucciones ya sean sobre carpetas o base asfáltica, la reparación se hará en todo lo ancho para evitar si es posible el desnivel entre acotamiento y superficie de rodamiento, siendo aplicables a éstos las normas de renivelación, relleno de grietas, bacheo y sello. REF. 8

### II.28.2 TALUDES.

Las labores de mantenimiento en las superficies laterales de un corte o terraplén, tienen relevancia considerándose como preventivas. Evitan derrumbes y deslaves que pudieran tornarse peligrosos. REF. 9

### II.28.3 CORTES.

La conservación en cortes puede ser en roca o en tierra, en el primer caso se removerán de los taludes todas las piedras o materia suelta que presente el peligro de caer sobre la corona del camino, si por su tamaño puede ocasionar desperfectos a este último, habrá que protegerlo, colocando sobre la corona una capa de arena. Para el caso de cortes en tierra deberá mantenerse el talud con una vegetación que permita el libre escurrimiento del agua, evitando sea erosionado el material y acarreado a las cunetas, teniendo mucha importancia para la estabilidad del talud el cuidado adecuado de las contracunetas ya que la presencia de agua nos indicará el mal funcionamiento de las últimas y propicia la inestabilidad del talud. REF. 9

La limpieza de los taludes en cortes es recomendable hacerla por lo menos una vez al año y en los meses que procedan a la temporada de lluvias, este tipo de mantenimiento es muy difícil y costoso por el requerimiento de precauciones para evitar accidentes y molestias al tráfico. Para su realización se requiere de un estudio de los derrumbes ocurridos al año y si han ocasionado o no accidentes, para normar un criterio de sobre su más pronta ejecución.

Estas labores se sujetarán a las siguientes normas:

- 1) Se tomarán las precauciones para que el personal pueda maniobrar sin peligro, iniciándose primero las labores de tala y roza, sin efectuar desenraice por el riesgo de aflojar el material de aflojar el material superficial y que este pierda su estabilidad. REF. 9

- 2) Una vez ejecutado esto se procederá a quitar piedras y material suelto utilizando en general herramienta de mano, no olvidando de controlar en caso necesario el tránsito -- por medio de bandereros. REF. 8

#### II.28.4 TERRAPLENES.

El afinamiento de los taludes del terraplén se considera como una labor de rutina, con el fin de ayudar a la estabilidad de los mismos, evitando asentamientos y deslaves se evitarán corrientes de agua en el pie del talúd que pudieran efectuarle causando erosión, socavación o deslaves, se pueden proteger mediante la siembra de pastos o especies vegetales propias, teniendo principal cuidado en la línea de ceros protegiéndola con recargues de material y llegando el caso con muros de mampostería.

Quando los taludes son muy pronunciados y tienen mayores deslaves y erosiones se hace necesario un abatimiento para reducir su pendiente, colocando como a continuación se describe material de terracería.

a) Es conveniente hacerlo en terraplén con altura máxima de 1.5 m. siempre que se cuente con materiales cercanos a la obra -- y de buena calidad. REF. 9

b) En caso de que los terraplenes sean de altura superior a la mencionada y que presenten problemas de inestabilidad, el abatimiento será una solución adecuada que se complementa con alguna obra auxiliar tal como: Muros de retención, guarnición, y levaderos que reduzcan el volúmen de material requerido, para la realización de estas labores se requiere de: REF. 9

- 1) Colocar el señalamiento preventivo adecuado para protección de obra, retirando las señales que estorben y puedan ser dañadas.
- 2) Se desmontará el talúd y la zona de terreno natural quedará cubierta con la nueva terracería.

- 3) El material se colocará del pie del talúd hacia la corona, extendiéndolo por capas las cuales se compactarán al 85% con el equipo adecuado.
- 4) En terraplenes de altura superior a tres metros se hacen recargues de taludes con materiales granulares cuyo tamaño sea de 5 cm. en este caso se hace el recargue a volteo, -- hasta alcanzar el nivel de la subrasante, y si la pendiente del terreno natural es muy fuerte es recomendable construir en el nuevo pie del talúd una mampostería de unos 30 cm. que sirva de contención.
- 5) Se afinará el nuevo talúd y se procederá a reponer el señalamiento retirado por motivo de obra retirando los (dispositivos) de protección.

#### II.28.5 REMOCION DE DERRUMBES.

Podemos definir un derrumbe como el desprendimiento del material de laderas naturales o del talúd de un corte hacia la corona del camino, y puede o no originar una situación de emergencia, esto último en el caso que dificulte la circulación total o parcial (ofreciendo) algún peligro para el usuario, se colocarán de inmediato las señales restrictivas y preventivas que correspondan, la remoción del derrumbe se hará atendiendo los siguientes lineamientos: REF. 1

- a) Corregir una situación de emergencia siempre tendrá preferencia sobre labores regulares de conservación.
- b) Estando en la zona dañada se definirá bajo previa inspección su magnitud, procediendo a concentrar el personal y equipo necesarios, al mismo tiempo se ordenará la colocación del señalamiento adecuado y en tanto no esté listo se pondrán bandereros para regular el tránsito.
- c) Toda labor de remoción de derrumbes deberá ante todo tender a la mayor brevedad posible la reanudación de la circulación; es por ellos que se deberá atacar con prioridad la corona del camino en la zona donde haya menos material para permitir por lo menos la circulación por un carril. Si-



por la magnitud del daño no es posible lo anterior, se adaptará una desviación, cuya construcción se hará primero a los trabajos de remoción.

Posteriormente a la reanudación del tráfico se continuarán -- las labores de remoción en la forma siguiente:

- 1) Se empleará la maquinaria apropiada, tal como cargador --- frontal y camiones de volteo, evitando lo más posible mo-- lestar al tráfico. REF. 1
- 2) Cuando ocurra un derrumbe en corte y se requiera por el ta-- maño de algunas piedras monearse, se suspenderá la circula-- ción antes de la explosión cuidando de que no haya vehícu-- los ni personas por lo menos en los 150 m. aledaños a la -- misma.  
El material producto del derrumbe podrá usarse en recar--- gues ó depositarse en las zonas laterales del derecho de -- vía siguiendo los lineamientos correspondientes.
- 3) Al término de la remoción se procederá a restituir los da-- ños causados, en la superficie de rodamiento, acotamiento, zampeado, señalamientos u otros. REF. 1

#### II.28.6 RELLENO DE DESLAVES.

Todo escurrimiento del agua superficial produce deslaves, ero-- sionando y socavando el material del talúd de un terraplén, estos-- pueden, o no efectuar a la corona del camino, cuando afectar o es in-- minente la posibilidad de falla se le considera como una situación de emergencia, (teniendo) preferencia también en este caso sobre las labores regulares de mantenimiento colocándose de inmediato el se-- ñalamiento adecuado y si la falla afecta a la corona se regulará -- el tráfico con bandereros.

Al ocurrir un deslave aparte de su relleno como a continua--- ción se describe, se estudiará la causa que lo originó para poder-- prever la construcción de obras auxiliares como: lavaderos, guarni-- ciones o modificaciones a alcantarillas y muros de retención, que--

garanticen que la corrección se hará permanentemente. REF. 9

- a) Se ampliará la socavación existente hasta obtener paredes lo más verticales posible.
- b) Debe usarse en el relleno del material que cumpla con las especificaciones de subrasante, sub-base o base según sea la capa de reconstrucción, se tenderá dicho material en capas de espesor no mayor a 30cm. compactándose de acuerdo a lo especificado para cada capa.
- c) Con excepción a lo anterior y si por condiciones locales - el relleno solo se puede hacer a volteo, se emplearán fragmentos de roca y materiales granulares, cuidando de que el 50% o más en volúmen sea mayor de 10 pulgadas. REF. 9
- d) En todo talúd se cuidará dar una pendiente que permita la estabilidad de éste, anulando la posibilidad de nuevos deslaves.
- e) Se evitarán en los rellenos materiales arenosos y fácilmente erosionables protegiendo con lavaderos y guarniciones o bordillos la construcción del terraplén.
- f) Una vez terminado el relleno de la base se impregnará ésta y se procederá a la colocación de la carpeta. Quedando terminado el relleno, se podrán plantar especies vegetales -- que ayuden a la estabilidad del talúd.

#### II.28.7 DESVIACIONES.

En toda conservación de caminos y debido a la necesidad de -- construir o reparar las obras esenciales que constituyan éste, se requiere con carácter de provisional la construcción de caminos auxiliares o desviaciones, las cuales se realizarán de acuerdo a las especificaciones generales de construcción dándoseles la conservación necesaria durante el período de su uso.

Las desviaciones tendrán un ancho mínimo de 6m. para permitir la circulación en ambos sentidos y de no ser posible se hará una -- para cada sentido de un ancho de 3m. como mínimo. Para su construcción se atenderá la importancia del camino que constituyen y el período probable que prestarán servicio, si por causa de la topogra-

fía del terreno no se puede contar con dos carriles se regulará el tráfico con bandereros, colocándose el señalamiento adecuado no sólo en los extremos sino a todo lo largo de las mismas.

En el caso de que el volúmen del tráfico lo justifique y la duración de esta sea mayor, deberá revestirse o bien pavimentarse.

## II.29 MAQUINARIA DE CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE CAMINOS.

### II.29.1 MOTOCONFORMADORA.

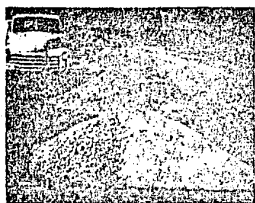
La motoconformadora es una máquina de mucha utilidad en la construcción y conservación de caminos. Se emplea tanto para resolver materiales extender y conformar los mismos. De igual manera se puede emplear para afinar taludes, para hacer zanjas, para conservar cunetas, etc. REF. 1

Por su sistema de transmisión hay dos tipos de conformadoras-una, la más común, es la que únicamente las ruedas traseras son motrices y las delanteras direccionales; la otra que es menos usual, las ruedas tanto traseras como delanteras son motrices.

Las motoconformadoras tienen una cuchilla que puede moverse - por rotación alrededor de un eje vertical, por rotación alrededor del eje longitudinal de la cuchilla y por translación siguiendo este eje.

Además de la cuchilla, a las motoconformadoras se les adapta un escarificador que se emplea para remover los terrenos duros antes de la entrada de la cuchilla.

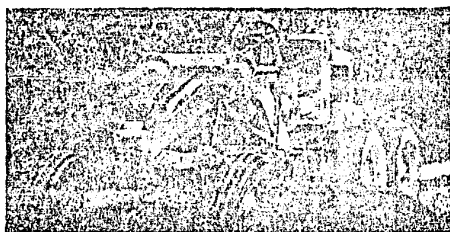
Para llevar a cabo los trabajos de que es capaz la motoconformadora, es indispensable aprovechar al máximo la potencia de la máquina. Un factor que afecta esta potencia es el ajuste de la cuchilla, y por lo tanto es necesario prestarle mucha atención. Siendo cóncava la forma de la cuchilla, el diseño de la misma es tal que la posición frontal es más efectiva para cortar o resolver se lo-



Material pétreo amontonado para formar carpeta asfáltica



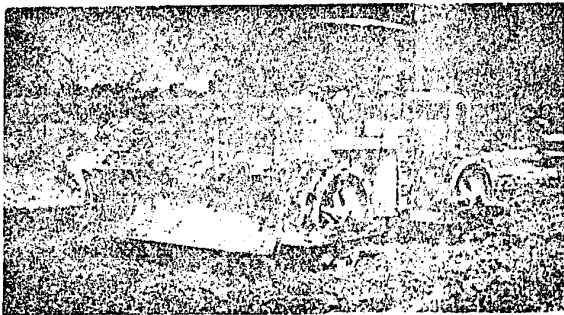
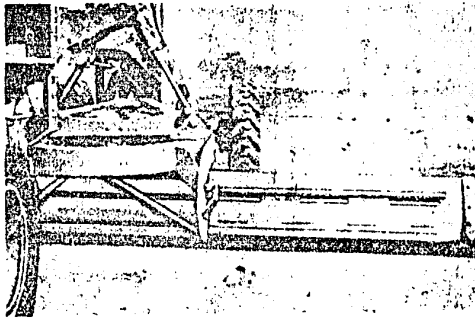
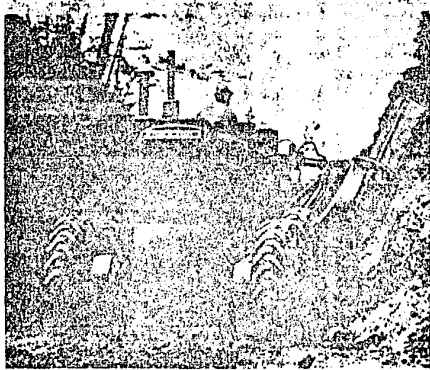
Material pétreo acordonado



Mezclando el material pétreo con el asfalto

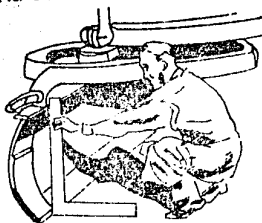


Extendiendo la mezcla con la motoconformadora

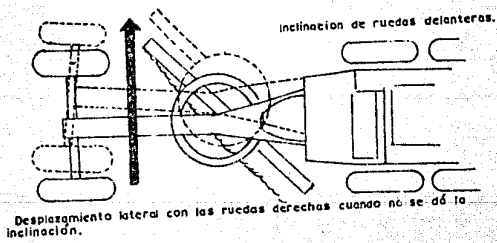
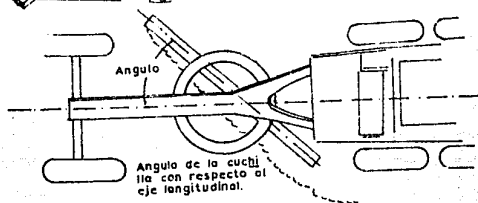
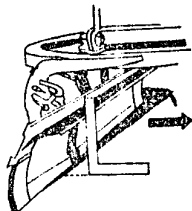


## MOTOCONFORMADORAS

Posición frontal de la cuchilla para cortar o revolver.



Posición de la cuchilla para rastrear.



gra cuando el filo de la cuchilla queda vertical al lado superior.

Para trabajos de conservación de caminos, la parte superior de la cuchilla se inclina hacia adelante hasta obtener una inclinación frontal conveniente para dar rastreos. REF. 1 y 8

Con respecto a la posición de la cuchilla con relación al eje longitudinal de la máquina, el ángulo debe limitarse al apropiado para que el material pueda correr libremente hacia el extremo de la cuchilla. Para rastreo éste ángulo debe ser de 60° a 70° REF. 8

La inclinación de las ruedas delanteras es básica ya que casi todas sus aplicaciones las motoconformadoras soportan una fuerza lateral que tiende a desviar la parte delantera de la máquina hacia un lado. Para contrarrestar esta fuerza, las ruedas delanteras deben inclinarse hacia la dirección que lleva la tierra al correr sobre la hoja o cuchilla.

La motoconformadora es una máquina que en virtud de su forma de trabajo hacia adelante, debe voltear en tramos de longitud no menor de 300 m. pues a menores distancias conviene utilizar la reversa para regresar.

A continuación se dan las velocidades en la transmisión recomendables para los diversos trabajos de las motoconformadoras.

conservación de caminos-----	3a. a 5a.
extendido de materiales-----	2a. a 4a.
mezcla de materiales -----	4a. a 6a.
acabados finales -----	2a. a 4a.
desyerbes -----	1a. a 2a.
afinamiento de taludes -----	1a.

## II.29.2 TRACTORES SOBRE ORUGAS.

Los tractores sobre orugas son máquinas que tienen una gran variedad de usos en la construcción de caminos, y así los vemos --

tanto en la limpieza de terrenos como moviendo materiales a cortar distancia, efectuando cortes en laderas, (limpiado) de escombros - algunas zonas, nivelando pisos de bancos, (empujando esrepas o tirando de ellas, etc.).

En la actualidad el término bulldozer se usa en sentido general tanto para los bulldozer propiamente dicho como para los angle dozer se montan con su cuchilla formando un determinado ángulo con la dirección de avance.

Estando la cuchilla de los bulldozer más cerca de la máquina que la de los angle dozer, los hace más eficiente en empuje frontal ya que de ese modo pueden llevar cargas llenas a mayor velocidad. Los bulldozer empujan el material hacia adelante, mientras que los angle dozer lo hacen hacia adelante y hacia un lado.

El manejo de los dozer puede hacerse por medio de cables o -- por medio de un sistema hidráulico. Entre las ventajas del manejo por cables está su facilidad de operación y simpleza en la reparación de los controles. Sin embargo el manejo por medio del sistema hidráulico proporciona una alta presión hacia abajo sobre la cuchilla lo que hace que se hunda más y por lo tanto corte más profundo. Además con el sistema hidráulico se puede proporcionar una posición más precisa a la cuchilla.

#### II.29.2.1 UTILIZACION DE LOS BULLDOZER.

Como ya se ha indicado con anterioridad, el bulldozer es una máquina de mucho empleo y se puede decir que es la más adecuada para construir una nivelación rápida en terrenos de poca extensión ya que puede retroceder, remover y empujar las tierras en cualquier dirección y más rápidamente que otros tipos de máquinas. Efectúa el trabajo preliminar de una nivelación más completa y facilita el de las máquinas que hayan de usarse después. REF. 8

Es necesario tener presente que los bulldozer no deben de emplearse para mover tierras a distancias superiores a 60m. horizon



tales ya que el rendimiento disminuye grandemente.

### II.29.2.2 TRACTORES SOBRE NEUMATICOS.

Tratando de obtener unidades que se movieran a mayor velocidad que los tractores de oruga, aparecieron los tractores sobre neumáticos que hoy se encuentran en uso con velocidades mayores de 45 km/Hr. y los cuales compiten en muchas obras con los montados sobre orugas. REF. 8

Estos tractores generalmente se clasifican por su peso y potencia. La tracción desarrollada por un tractor sobre neumáticos se expresa en kilogramos. Esta tracción es denominado rimpull como ya es sabido, o sea que es la medida del esfuerzo de tracción que es capaz de entregarle el motor la superficie que soporta las ruedas motrices. Así, para determinar la tracción neta en la barra de un tractor sobre neumáticos es necesario restarle el rimpull la tracción requerida para vencer la resistencia al rodamiento.

Los tractores sobre neumáticos se fabrican de dos tipos de dos y sobre cuatro ruedas.

Los tractores sobre cuatro ruedas tienen la ventaja de poderse separar de las unidades de arrastre y trabajar solos. Sin embargo, los tractores sobre dos ruedas tienen mayor tracción en el eje motriz y menos llantas que mantener.

### II.29.3 ESCARIFICADOR.

Cuando sea necesario mover materiales que se encuentran muy compactos en el banco se precisa del uso de escarificadores o desgarradores para aflojar el material.

Por su sencillez, resistencia y utilidad, el escarificador es único en su tipo permitiendo que se aumente el rendimiento de los tractores, las escrapas y de las motoconformadoras. Los factores que limitan la operación de escarificación son, básicamente, la capa

cidad de los dientes para poder penetrar en el material y la potencia del equipo en el cual se use.

En la actualidad el escarificador integral de montaje posterior en tractores de gran potencia es el que más se emplea para romper materiales muy duros. La mayoría de los escarificadores están previstos para tres dientes. Se puede hacer uso de uno, dos o del total de los dientes. Los dientes oscilan ligeramente, lo cual facilita su penetración en el terreno. Además el bastidor retráctil del desgarrador montado cerca del tractor proporciona mejor equilibrio. Debido a su montaje posterior, elimina el remolque. El escarificador integral es más liviano y mucho más corto que el modelo de remolque.

Un equipo formado por un tractor D-9 con 320 H.P. y un escarificador de montaje posterior, más una hoja de empuje, pesa, aproximadamente, 38 Tm. y ejercer una fuerza efectiva máxima en los dientes del escarificador de 13.5 Tm. aproximadamente.

Los dientes de los escarificadores son de diferente diseño según el fabricante, usándose comúnmente el diente recto, el diente curvo y el diente ahusado. El diente recto, que es el más empleado, efectúa una acción de anclaje al ser tirado el escarificador por el tractor. Son muy resistentes. El diente curvo trabaja mejor en los materiales laminados que no traban el diente demasiado. Este tipo de diente busca, prácticamente las grietas y puntos débiles del material y penetra para romperlo. El diente ahusado tiene un aditamento en forma de aleta para instalarse en la parte posterior e inferior del diente escarificador para favorecer la fragmentación de la roca que se encuentra por debajo de la superficie del terreno.

A medida que aumenta la dureza del material, es conveniente ir suprimiendo dientes del escarificador, para aumentar, sobre los dientes que quedan, la fuerza de penetración. El empleo de un sólo diente provee máxima penetración y fragmentación aunque en una sola línea de corte. Es aconsejable, entonces, poner este único die-

te en el centro para facilitar el control del tractor. El empleo de dos dientes externos dobla el ancho de la escarificación y produce fragmentación grande. Usando tres dientes, la zona de escarificación es de igual amplitud pero se obtiene material de fragmentación más fina. REF. 8

#### II.29.4 ESCREPAS.

Es una máquina montada en cuatro ruedas, remolcada por un tractor de oruga, que excava, carga, acarrea, descarga y extiende la tierra en un sólo viaje. Esta máquina efectúa nivelaciones más precisas que los tractores.

#### OPERACIONES BASICAS:

Carga: Delantal levantado  
Hoja enterrada  
Compuerta en la parte posterior.

Acarreo : Hoja levantada  
Delantal cerrado.

Extendido: Delantal levantado  
Hoja colocada para dar el espesor deseado.  
La compuerta se empuja hacia adelante para desalojar todo el material.

## II.29.5 MOTO-ESCREPAS.

Las moto-escrepas, son una combinación de tractor y escrepa, ambos sobre neumáticos, que permiten una gran rapidez en su movimiento por lo que se obtiene mayor rendimiento. Generalmente estas máquinas pueden marchar a una velocidad máxima de 50 Km/hr. REF.8

Existen dos tipos: a) tractor sobre cuatro ruedas como los tractores ordinarios, y b) tractor sobre dos ruedas, con el peso del motor colocado delante del eje tractor y equilibrando la carga con la parte delantera de la escrepa aplicada ligeramente detrás del eje.

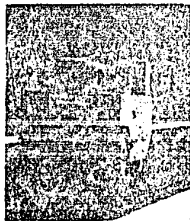
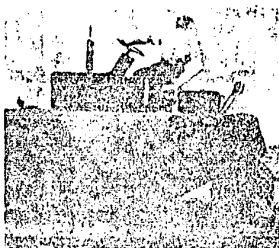
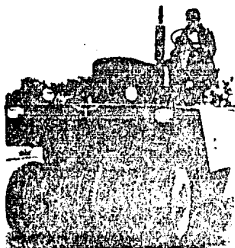
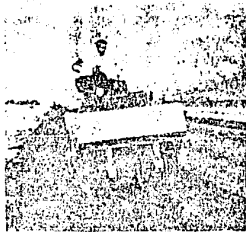
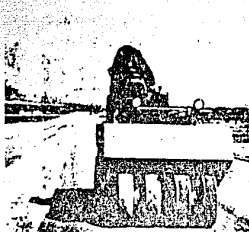
Debido a la falta de orugas, las cuales tienen más adherencia con el terreno, las moto-escrepas son incapaces de cargarse por sí solas y por ello la necesidad de un tractor de empuje es importantísima.

Las recomendaciones para facilitar el trabajo de las moto-escrepas son las mismas que hicimos para las escrepas como tractor sobre orugas, y sobre todo en lo referente al tractor de empuje que requiere más moto-escrepas para no tener que pararse. Es necesario organizar la carga de tal manera que el tractor de empuje corra la mínima distancia posible. REF. 1

## II.29.6 EQUIPO DE COMPACTACION.

Es bien sabido que un aumento en el paso volumétrico seco de un suelo mediante la compactación adecuada del mismo, hace que tenga menor permeabilidad y que presente una mayor resistencia al esfuerzo de corte y por lo tanto presente una mayor estabilidad debido a menores cambios en el contenido de humedad.

La compactación es un proceso de densificación que depende de las dimensiones del área cargada, de la presión ejercida sobre esa área, de la humedad del suelo y tipo del mismo, y del espesor de la capa a compactar. El espesor de la capa es un factor de verdad



ra importancia en el porcentaje de compactación. Una gran cantidad de dificultades encontradas al tratar de obtener determinada compactación se deben a capas con espesores excesivos y no apropiados para el equipo de compactación usado.

Se puede decir que, en forma exacta, no es posible predecir qué es pesor de capa de material resulte más económico para los diferentes suelos y tipo de equipos de compactación existentes, sin embargo, si se puede dar algunas reglas sencillas y generales que puedan ser aplicadas con facilidad en la práctica. Aunque es recomendable que siempre el espesor de la capa a compactar se verifique durante el proceso inicial del trabajo de compactación.

En todos los suelos, al incrementarse su humedad se les proporciona un medio lubricante entre sus partículas que permite un cierto acomodo de éstas cuando se someten a un esfuerzo de compactación, se llega a obtener el mejor acomodo de las partículas del suelo y por consecuencia el mayor peso volumétrico seco, con una humedad que se llama "humedad óptima". A esta humedad deberá procurarse siempre efectuar la compactación debido a que facilita el acomodo de las partículas del suelo con el menor trabajo del equipo de compactación. Si se aumenta o disminuye la humedad en forma excesiva, para llegar a obtener el mismo peso volumétrico, sería necesario aumentar el trabajo de las máquinas de compactación. Si a partir de la condición de humedad óptima y peso volumétrico seco se hacen incrementos de humedad en el suelo, se provoca un aumento del volumen de los huecos ocasionándose una sustitución sucesiva de partículas de suelo por agua, en virtud de que el volumen de ai re atrapado entre las partículas no puede ser disminuído apreciablemente por ese mismo esfuerzo de compactación obteniéndose por lo tanto pesos volumétricos secos que van siendo en menores a medida que la humedad aumenta. REF. 2

#### II.29.6.1 RODILLOS PATA DE CABRA. REF.4

Este equipo de compactación consiste de un cilindro en el --- cual hay unas piezas soldadas que sobresalen, conocidas con el nom

bre de patas de cabra que tienen forma piramidal.

El cilindro de la pata de cabra está hueco y puede llenarse con agua, arena o ambas para aumentar su peso. Las patas son de una longitud que varía entre 18 y 23 cm. y están distribuidas sobre el tambor, según resultados experimentales, de tal manera que haya un determinado número de patas a lo largo de una misma generatriz. El número máximo de patas, por metro cuadrado de área de tambor, es de 12. La forma de las patas varía con los diferentes modelos de rodillos, buscando sobre todo evitar que las patas, al salir del terreno durante la compactación, lo aflojen.

Los rodillos patas de cabra normalmente se fabrican de dos tipos: ligeros y pesados.

De los ligeros sus características medias son:

Diámetro del tambor sin las patas-----	1.0 m.
Longitud del tambor-----	1.2 m.
Longitud de las patas-----	0.18 m.

De los pesados sus características medias son:

Diámetro del tambor sin las patas-----	1.5 m.
Longitud del tambor-----	1.5 m.
Longitud de las patas-----	0.23 m.

Los rodillos pata de cabra dan al terreno una presión que varía así:

Con tambor vacío-----	De 10 a 21 Kg/cm <sup>2</sup>
Con tambor lleno de agua-----	De 17 a 34 Kg/cm <sup>2</sup>
Con tambor lleno de arena-----	De 30 a 42 Kg/cm <sup>2</sup>

El rodillo es remolcado por un tractor por intermedio de una lanza. En muy pocos trabajos se usa un rodillo sólo sino que se agrupan, en dos, tres, cuatro y cinco tambores.

Para seleccionar el rodillo que compacte el suelo a la densidad deseada en el menor tiempo posible, se deben considerar los factores siguientes:

- a) Emplear la máxima presión de contacto que el suelo pueda resistir sin fallar por esfuerzo cortante, lo que quedaría en evidencia al no poder compactar el suelo con los rodillos.
- b) Dar preferencia a los rodillos que, cumpliendo con la condición anterior, cubren la mayor área posible por pasada.

Al comenzar la compactación en un proyecto dado, es recomendable llevar a cabo pruebas para determinar el procedimiento de compactación que resulte más adecuado. Asumiendo que ya se cuenta con un determinado equipo de pata de cabra, la prueba consistirá en determinar el espesor de la capa de suelo que puede ser compactada mejor, el número de pasadas requerido por los suelos encontrados y la necesidad de aumentar o disminuir la presión en las patas. El suelo debe tener la humedad óptima. Generalmente tres capas son suficientes para determinar el apisonado mínimo necesario para obtener la compactación requerida. Por ejemplo tres capas sueltas de 15, 20 y 30 cm. después de extendidas, se dividen en franjas sobre las que se dan 4, 7 y 10 pasadas del rodillo.



REGLAS PRACTICAS RECOMENDABLES PARA COMPACTAR CON PATAS DE CABRA.-  
REF. 8

- a) El material, con la humedad óptima, se extiende en la capa de espesor especificado. (El espesor es aproximadamente de 1.5 veces la longitud de la pata). En la primera pasada la pata penetra totalmente.



- b) Cada pasada sucesiva sobre el material lo compacta hasta que....



- c) Las patas del rodillo quedan sin entrar, indicando la densificación.



- d) El apisonado posterior no aumenta la compactación.  
e) Es necesario durante la compactación, traslapar unos 30 cm. a cada lado del área para mejores resultados.  
f) Se afina la superficie compactada para borrar las huellas de las patas y se le da una recompactada superficial con plancha de rodillo liso metálico.

ESTA TERCERA PARTE DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

PRESIONES Y AREAS DE CONTACTO EN SUELOS COMPACTADOS CON RODILLOS -  
PATA DE CABRA.

TIPO DE SUELO	PRESION DE CON- TACTO EN $\text{kg/cm}^2$	AREA DE CON- TACTO EN $\text{cm}^2$
Suelos arenosos, arcillosos que dependen de sus características friccionantes para desarrollar resistencia.	5 a 9	45 a 77
Grupo intermedio de suelos arcillosos, arenas arcillosas y suelos que tienen baja plasticidad	7 a 14	39 a 65
Arcillas de mediana y alta plasticidad.	10 a 21	32 a 52

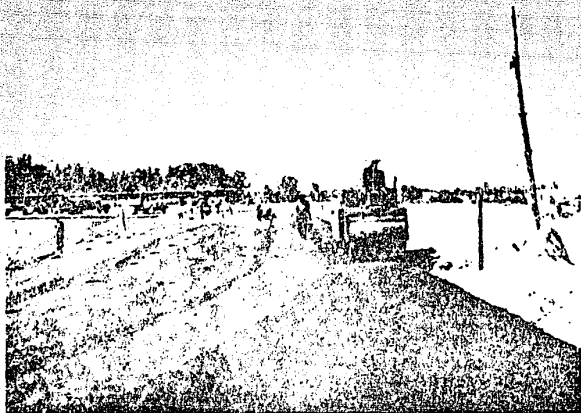
II.29.6.2 APLANADORAS DE RODILLOS METALICOS LISOS.

Las aplanadoras de este tipo se dividen en dos clases: aplanadoras de tres ruedas y aplanadoras tendem. Los dos tipos se fabrican en pesos variados. Las aplanadoras o planchas de tres ruedas se fabrican con rodillos huecos que pueden llenarse con agua para obtener el peso por unidad de ancho que se desee o pueden ser de rodillos con rayos.

Normalmente la plancha de tres ruedas es usada en la compactación de sub-bases de pavimento debido a la mayor presión que ejercen las ruedas traseras. Las ruedas traseras son las motrices.

Estas ruedas están colocadas con su borde interno alineado con el borde externo del rodillo delantero de manera que pasan por las orillas de las huellas dejadas por el rodillo delantero. El rodillo delantero es direccional.

Las arenas bien graduadas, limpias, las arenas uniformes y las arenas con gravas con casi nada de arcilla no se pueden compactar satisfactoriamente con las aplanadoras de tres ruedas. En estos



COMPACTANDO UNA CARPETA ASFALTICA.



EXTENDEDORA Y APLANADORA METALICA

suelos es más aconsejable emplear rodillos vibratorios de los cuales se tratará más adelante.

Los suelos que pueden ser compactados eficientemente con las aplanadoras de rodillos metálicos lisos, así como los pesos por centímetro lineal de ancho ( y por pulgada lineal de ancho) de los rodillos posteriores se anotan en la tabla que sigue:

De una manera aproximada se puede decir que el espesor aconsejable para compactar, con la humedad óptima y con rodillos lisos, es el peso total en toneladas más 25% de ese peso en toneladas expresado en centímetros sueltos. De esa manera una aplanadora de 12 toneladas puede compactar, eficientemente, una capa suelta de  $12 + 3 = 15$  cms.

TIPO DE SUELO	Peso en toneladas métricas por cm, lineal, y en toneladas inglesas por pulgada lineal, de ancho de los rodillos posteriores.	
Suelos de arcilla y arena que dependen de sus características friccionales para desarrollar existencias.	0.9 a 1.1 Tm.	5 a 6 Tons.
Grupo intermedio de suelos arcillosos con baja plasticidad (menor de 10 ).	1.8 a 2.2 Tm.	10 a 12 Tons.
Suelos arcillosos con mediana o alta plasticidad.	1.8 a 2.2 Tm.	10 a 12 Tons.

El rodillo de tres ruedas tiene la ventaja de que cubre por completo el área por donde pasen los rodillos motrices. Estas aplanadoras se fabrican en tamaños de 5 a 12 toneladas métricas, comunmente.

Las aplanadoras tandem deben su nombre a la disposición de los rodillos en línea o en tandem. Pueden tener dos o tres rodillos, y se fabrican en diversos tamaños, anchos y diámetros de rodillos compuestos que varían de 3 a 14 toneladas métricas. Las aplanadoras tandem se emplean generalmente para compactar mezclas asfálticas.

El sistema de compactación empleado con rodillos lisos es el de iniciar la misma a bajas velocidades cubriendo toda el área y - después ir traslapando las rodadas de los rodillos traseros o mo-- trices hasta obtener la compactación deseada. La compactación debe iniciarse de las orillas hacia el centro del camino en las tangentes, y de la parte interior a la exterior en las curvas.

#### II.29.6.3 APLANADORAS DE RODILLOS DE REJILLA.

El tipo de aplanadora denominado rodillos de rejilla se em-- plea en la compactación de materiales granulares. Se compone de -- dos o tres ruedas de rejilla de acero en un marco o bastidor que - se emplea para el lastrado de la unidad mediante bloques de concre to o de acero. Su peso promedio es de 10 toneladas métricas pero - pueden alcanzarse pesos mayores por medio del lastrado. El espesor suelto a compactar se puede determinar del mismo modo al indicado- en el párrafo anterior.

#### II.29.6.4. RODILLOS DE RUEDAS SEGMENTADAS.

El rodillo de ruedas segmentadas es otro tipo de rodillo em- pleado en la compactación de suelos. Generalmente este rodillo es- de propulsión propia y de proporciones similares a las de una apla nadora de tres ruedas. El modelo más común es el Kompactor que tie ne un peso aproximado de 15 toneladas métricas y trabaja a veloci- dades de 8 a 10 Km/hora. El espesor suelto de la capa al compactar se puede determinar como ya se indicó anteriormente.

#### II.29.6.5. RODILLOS VIBRATORIOS.

Entre los rodillos vibratorios se tienen varias clases de e-- llos. Los hay con ruedas metálicas o con llantas neumáticas y, ade más, los hay con auto propulsión o de remolque. El rodillo vibra a frecuencia relativamente baja mediante la acción de un motor inde- pendiente. Este tipo de equipo produce una compactación muy buena- en materiales arenosos.

#### II.29.6.6 COMPACTADORES COMBINADOS.

Dentro de las mejoras hechas a los equipos de compactación se encuentran la combinación de compactación por carga, estática más vibración. De este tipo se tiene la combinación de una aplanadora de tres ruedas y un vibrador colocado en la parte posterior de la aplanadora. Otra combinación es la de una motoconformadora con una unidad vibratoria de funcionamiento eléctrico colocada inmediatamente atrás de la hoja ni veladora o cuchilla permitiendo efectuar una nivelación e inmediatamente una compactación que será desde luego más uniforme.

Otros equipos de compactación por combinación son los Duo-Pactor y los Tri-Pactor. El Duo-Pactor está compuesto de una unidad de lastrado para proveer un peso total de 19 toneladas métricas y dos ejes, uno delantero con 8 ruedas neumáticas y un rodillo liso de acero con eje posterior que aplana las huellas dejadas por la rodada múltiple. El Tri-Pactor agrega a la combinación antes descrita, un compactador vibratorio de acción hidráulica mediante el cual el rodillo liso presiona fuertemente sobre el terreno.

#### II.29.6.7 APLANADORA DE NEUMATICOS.

Este equipo de compactación emplea ruedas previstas de neumáticos las cuales, generalmente, se encuentran montadas en dos ejes uno adelante y otro atrás de la unidad. Los neumáticos se colocan de tal manera que las del eje posterior cubran las huellas dejadas por las del eje delantero. Este equipo se puede lastrar con arena, grava, piedras, trozos metálicos, etc. ya que cuentan con una caja para tal fin.

Los modernos rodillos, generalmente los rodillos grandes, llevan cuatro o cinco ruedas en cada lado, en ejes independientes articulados de tal manera que se mueven verticalmente adaptándose a las irregularidades del terreno.

Los rodillos neumáticos o planadoras de neumáticos dependen,-

para su eficacia, del área de la presión de contacto, del número de pasadas, del tipo de suelo y del espesor de la capa que se esté compactando. La presión de contacto es igual a la presión de inflado más la presión debida a la rigidez de las paredes laterales del neumático. El área de contacto y la presión de contacto están relacionadas entre sí y con la carga total de cada rueda. Por ejemplo, si la carga es de 4550 Kg., y la presión de inflado es de  $7 \text{ Kg/cm}^2$  el área de contacto, despreciando la carga que soportan las paredes de la llanta, así entonces el área de contacto será de  $650 \text{ cm}^2$ .

Si la presión de contacto se mantiene constante, el aumento de carga total no producirá un aumento en el grado de compactación. Sin embargo aumentando la carga se aumentarán las dimensiones del área cargada y la profundidad efectiva de compactación. Así, en un suelo cohesivo dado, se puede obtener, aproximadamente, el mismo peso volumétrico seco en la compactación de una capa de 8 cm. con una carga de 700 Kg. por rueda, que la obtenida en una capa de 15 cm. con una carga de 4500 Kg. por rueda. Esto no se aplica de igual modo a los sin cohesión que dependen considerablemente de sus ángulos de fricción interna para desarrollar la capacidad soportante. En este caso, mientras mayor sea el neumático, mayor será el área cargada y el efecto de compactación. Las aplanadoras neumáticas pueden ser máquinas remolcadas o automotrices. Los rodillos neumáticos pueden ser de tipo mediano (5 a 20 tons., tipo grande 45 a 50 tons.) y de tipo extra grande (100 a 200 tons.). El espesor suelto de la capa a compactar puede determinarse multiplicando el tonelaje total por 0.9 dando así un resultado que será el espesor de la capa en centímetros sueltos. De tal modo que un rodillo neumático de 20 toneladas métricas de peso podrá compactar  $20 \times 0.9 = 18 \text{ cm.}$  sueltos de material.

Presión de contacto de las aplanadoras neumáticas apropiadas para la compactación de diferentes tipos de suelos: REF. 8



CLASE DE SUELO	Presión de contacto en Kg/cm <sup>2</sup> en neumáticos.
Arenas limpias y arenas con gravilla.	De 1.4 a 2.8
Arenas sueltas y arcillas que dependen de sus características friccionales para desarrollar resistencia.	De 1.4 a 4.55
Suelos arcillosos y muy gravillosos.	4.55

#### RENDIMIENTO DEL EQUIPO DE COMPACTACION.

La cantidad de material que puede ser compactado por un determinado rodillo se puede determinar, de una manera aproximada por la fórmula siguiente: REF. 8

$$R = \frac{V \cdot E \cdot D \cdot A}{N} (100)$$

Donde: R= metros cúbicos del material suelto compactado en una hora.

V= Velocidad, en kilómetros por hora, de la máquina -- que compacta.

E= Eficiencia de la operación, se considera 0.83

D= Profundidad, en metros, de la capa de material suelto.

A= Ancho efectivo del rodillo compactador, en metros.

N= Número de pasadas necesarias para compactar.

#### II.29.7 BARREDOR.

Para la limpieza de las bases de pavimento a efecto de que no quede mucho polvo en la superficie de las mismas, se usan las barredoras mecánicas que son unas escobas giratorias montadas sobre un eje y con presión regulable a voluntad.

El movimiento de la escoba se efectúa por medio de una trans-



misión de cadema en unos tipos y en otros por medio de un motor.

El uso de las barredoras implica desde luego el tener una base resistente para que no se desgrane en exceso la superficie de la misma. Si por la baja o nula cementación de los materiales de la base ésta es desgranable aún con baja presión de las barredoras mecánicas, quizá sea preferible efectuar el barrido con escobas de mano. REF. 8 y 9

#### II.29.8 ESPARCIDORES DE MATERIALES PETREOS.

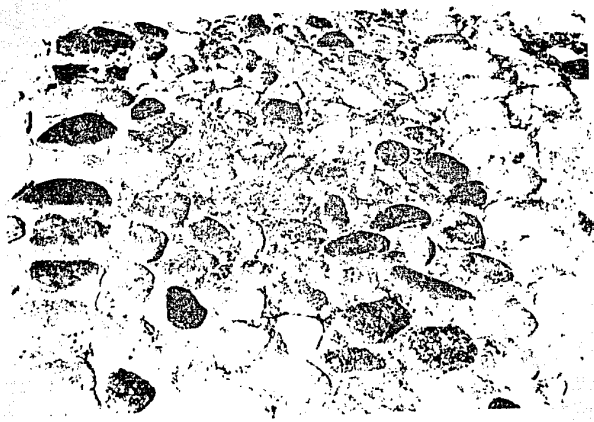
En el sistema de pavimentación por medio de tratamientos superficiales, para el tendido del material pétreo especificado se hace, a menudo, uso de los esparcidos o distribuidores automáticos que realizan la operación con rapidez y uniformidad.

El esparcidor de material pétreo está formado por una tolva especial que se coloca junto a la parte trasera de la caja de un camión de volteo. Dentro de la tolva hay un rodillo giratorio que permite el riego uniforme del material al camino. La cantidad de material pétreo a extender se regula con una palanca y unos engranes numerados que se encuentran al lado izquierdo de la tolva. Por el procedimiento de trabajo, la velocidad de giro del rodillo está relacionada con la velocidad de marcha del vehículo y por lo mismo el volumen de material esparcido teóricamente debe permanecer constante. REF. 8

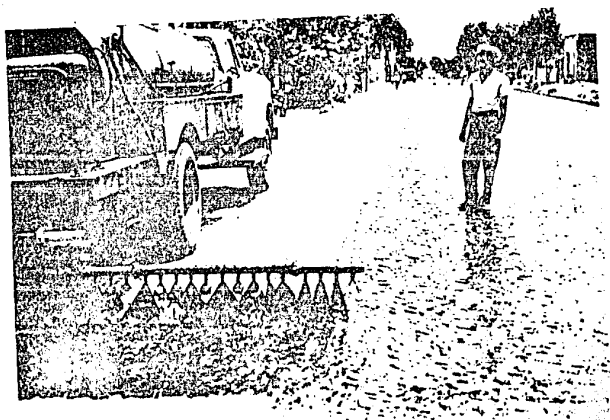
En algunos casos se ha hecho solamente uso del camión de volteo para esparcir de por sí el material mediante el levantamiento parcial de la puerta trasera de la caja dejando salir una cantidad de material pétreo más o menos regulada. Y en no pocos casos, el esparcir material pétreo se ha hecho con palas de mano manejadas por peones.

#### II.29.9 PETROLIZADORA.

La petrolizadora de presión es la máquina más importante de -



PAVIMENTO TIPO MACADAM.



PETROLIZADORA.

un equipo de conservación en la construcción de carpetas asfálticas formadas por tratamientos superficiales y mezclas en el lugar. Esta máquina debe regar el producto asfáltico sobre el camino en cantidades exactas, y durante todo el tiempo dure la carga de la petrolizadora debe conservar la misma razón de riego sin que varíe ésta por cambios de pendiente o de dirección del camino. REF. 8

#### II.29.10 MAQUINAS ESTABILIZADORAS.

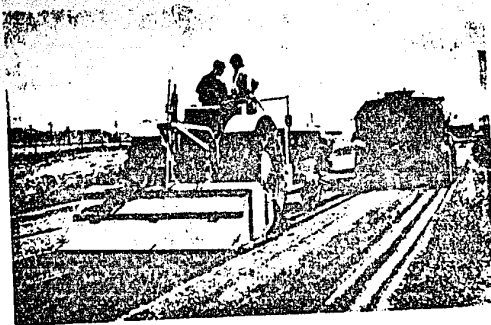
Estas máquinas, que pueden pulverizar, mezclar el material, agregar agua o asfalto y distribuirlo, pueden ser de dos formas diferentes:

- a) Las que pulverizan, mezclan y extienden el material al espesor deseado.
- b) Las que pulverizan, mezclan y requieren otra máquina para extender el material.

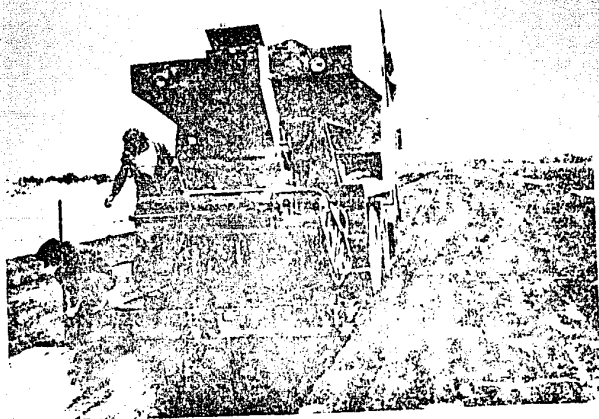
Estas máquinas requieren que el material quede extendido con las dimensiones adecuadas a fin de que la mezcla con el asfalto sea uniforme. Entre las máquinas estabilizadoras simples tenemos la Seaman. Esta máquina consta de un eje con paletas metálicas que al girar pulverizan y mezclan el material y para extenderlo e igualar la mezcla se baja la tapa.

Las máquinas estabilizadoras del tipo de la P.H. consta de unas cuchillas que cortan y pulverizan el material de un dispositivo que lo mezcla, de unos dispositivos en los cuales la cantidad de agua o de asfalto se regula cuidadosamente mediante un contador y de dos ejes con paletas giratorias que terminan de pulverizar y mezclar íntimamente el material, y finalmente de una compuerta regulable que deja la mezcla con el espesor deseado.

La máquina es movida por un tractor de oruga, generalmente, el cual lleva los mandos que regulan la profundidad a que debe quedar extendida la mezcla. La velocidad de marcha durante el trabajo de la máquina es de alrededor de nueve metros por minuto.



MAQUINAS ESTABILIZADORAS.



MAQUINA TIPO YOUNG.

## CAPITULO III CALIDAD DEL PAVIMENTO.

### III.1 ESTUDIOS PREVIOS.

#### III.1.1. CONDICIONES DE SUPERFICIE.

Para poder determinar cuales son las condiciones de la superficie de rodamiento de nuestro camino de análisis necesario realizar una evaluación. Hasta 1960, para evaluar un pavimento en servicio, se recurría a la experiencia de los ingenieros de mantenimiento, quienes en forma "subjetiva", inspeccionaba la condición del pavimento, por tramos, y determinaban a ojo, cuándo debía programarse un trabajo de mantenimiento. Esta práctica daba resultados muy variables y no proporcionaba una base para normar el criterio de los técnicos.

A partir de la carretera de prueba AASHO, que en 1962 se inició las publicaciones de sus resultados, ha cambiado mucho la tecnología de los pavimentos. Esta carretera de prueba, construída en Ottawa, Illinois, Estados Unidos, por la Highway Research Board, - auspiciada por la AASHO, es el laboratorio de pavimentos más costoso y grande que se ha hecho hasta hoy.

Al finalizar la evaluación se puede hacer revisando los siguiente: REF. 7 y 8

- a) Estado de la superficie de rodamiento.
- b) Estado y comportamiento de la sección estructural.
- c) Estado y comportamiento de las obras de drenaje y sub-drenaje.

### III.2 ESTADO DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO.

Se evalúa por medio del índice de servicio o la calificación actual, que son métodos cuantitativo y cualitativo.

### III.3 ESTADO DE LA SECCION ESTRUCTURAL.

Se valora por medio de pruebas en el lugar (destructivas y no destructivas), y pruebas en el laboratorio para determinar deflexiones, espesores, grados de compactación, calidad y resistencia de las diferentes capas.

### III.4 ESTADO DE LAS OBRAS DE DRENAJE Y SUBDRENAJE.

Se evalúa por medio de observaciones hechas en el lugar y preguntando a la gente que habita la zona, además, si se requiere, -- por estudios topohidráulicos completos (en el caso de obras de drenaje). Con esto se determina si las obras de drenaje son suficientes para las condiciones imperantes en el lugar.

Una vez que se ha determinado de una manera "superficial", -- las condiciones de lo que constituye un camino, se puede determinar lo siguiente:

- a) Si el nivel de servicio es aceptable o inaceptable.
- b) Cuál es el nivel de seguridad.
- c) Cuál es el grado de deterioro.
- d) Si la capacidad estructural es o no adecuado.
- e) Cuáles son los costos de conservación.

### III.5 INDICE DE SERVICIO ACTUAL.

En la actualidad, en todo el mundo se está usando el Índice de Servicio Actual (ISA), para evaluar la condición de un pavimento, correlacionando la "Calificación de Servicio Actual" con medidas directas, objetivas del pavimento.

Este índice está en función de varios factores, que son:

- Deformación longitudinal
- Deformación transversal
- Porcentaje de baches y áreas reparadas
- Textura del pavimento

Cuando las deformaciones y los baches son frecuentes y numerosos, el estado de la superficie del pavimento analizado será irregular y proporcionará un tránsito incómodo e inseguro, lo que quiere decir que este índice valora el estado de la superficie de rodamiento desde el punto de vista comodidad y seguridad, siendo un método cuantitativo, puesto que es objetivo.

Los dispositivos existentes que se usan para medir lo deformado de la superficie de un pavimento son variados y complejos a la vez que sofisticados y entre otros son los siguientes:

### III.6 DISPOSITIVOS DE EVALUACION SUPERFICIAL:

- a) Perfilógrafo de California para pavimentos de concretos -- nuevos.
- b) Rugosímetro del BPR. Este dispositivo se usa para pavimentos nuevos, así como para pavimentos usados.
- c) Perfilómetro CHLOE. Este equipo, aunque es muy valioso para medir la variancia de las pendientes, electrónicamente, su baja velocidad de operación (8 Km/hr.) lo hace inadecuado para evaluar grandes tramos de carreteras.
- d) Rugosímetro de la PCA. Como este aparato mide la rugosidad de los pavimentos a una velocidad normal de carretera, cada vez es más usado por los ingenieros de carreteras. Es un dispositivo barato y fácil de usar. Se puede instalar en cualquier automóvil.
- e) El vehículo medidor de carreteras Mays C.R.M. REF. 7

### III.7 DISPOSITIVO DE EVALUACION ESTRUCTURAL:

- a) Prueba de soporte de placa. Esta prueba tiene por objeto medir la deflexión de la capa o capas ensayadas (subrasante, sub-base, base o carpeta asfáltica, junto con las capas base y sub-base). La prueba consiste en aplicar cargas específicas sobre placas circulares que varían desde 15 cm hasta 76 cm. colocadas todas unas sobre otra. Con los resultados de esta prueba, llamada "módulo de reacción", se

puede evaluar estructuralmente o diseñar un pavimento de calle, carretera o aeropuerto. Este módulo de reacción K, puede determinarse, en el caso de subrasantes con el VRS, pero si se trata de una estructura de carpeta y base, tendría que determinarse directamente. REF: 7

- b) Viga Benkelman. Este dispositivo inventado en la carretera de prueba WASHO, en 1950, actualmente es utilizado con mucha frecuencia para medir la deflexión de los pavimentos -- bajo cargas con ruedas móviles. Es una prueba rápida, simple y barata. En muchos países se usa esta viga Benkelman para evaluar la condición estructural de sus pavimentos -- flexibles.
- c) Dynaflect. Este es un moderno aparato para medir la deflexión de la superficie de un pavimento en una forma económica y rápida, sus valores se han correlacionado con la deflexión de rebote medida con la viga Benkelman. Se monta -- en un pequeño remolque jalado por un vehículo ordinario.
- d) Vibrador Shell. Este equipo holandés es usado para evaluar pavimentos, induciendo y midiendo vibraciones en la estructura del pavimento.
- e) Calificador de Caminos. Este aparato también sirve para evaluar la condición estructural de un pavimento y medir su habilidad para soportar futuras cargas de tránsito. REF.7

Debido a lo sofisticados que resultan dichos dispositivos en México los más utilizados son: El perfilómetro CHLOE, el vehículo-Mays C.R.M. y la viga Benkelman.

#### PERFILOMETRO CHLOE.

Este equipo aunque es valioso para calcular la variancia de la pendiente longitudinal del camino, es decir, mide la deformación longitudinal por cambio de ángulo entre dos líneas de referencia, no obstante, este dispositivo tiene limitaciones como son: -- lentitud de operación, medida imprecisa de ondulaciones menores -- que la distancia entre las dos ruedas medidoras y carencia de in--



formación sobre ondulaciones mayores.

En México se adaptaron las formas utilizadas en Texas E.U.A. (Texas Transportation Institute), para calcular el índice de servicio actual (ISA), haciendo intervenir la variancia de la pendiente longitudinal e introduciendo además la textura de la carpeta (factor de seguridad antiderrapante), que se mide con el texturómetro de Texas.

#### VEHICULO MEDIDOR MAYS.

Es un aparato que consta de un dispositivo electromecánico -- que mide el número y magnitud de las deformaciones verticales a -- que se da lugar entre el cuerpo del vehículo que lo transporta y -- el centro del diferencial del mismo vehículo. Su mecanismo consiste de un sistema de cables y poleas que al movimiento del vehículo transmite estos movimientos y los registra en un contador accionado por interruptores de rodillo dividido en segmentos de un octavo de pulgada. El sistema de calificación se establece en función de la frecuencia y la magnitud de las deformaciones. La operación del vehículo Mays es sencilla, su costo es relativamente bajo y su rendimiento diario alto, puesto que el vehículo en el cual va montado puede viajar a una velocidad de 50 a 60 Km/hr. Las desventajas de este dispositivo estriban en la necesidad de calibrarlo frecuentemente y en la imposibilidad de medir perfiles o grandes ondulaciones.

El valor obtenido del "Índice de Servicio Actual" por medio del perfilómetro CHLOE es equivalente al obtenido por medio de la "Calificación Actual" de la superficie de rodamiento. De la misma manera, los resultados obtenidos con el aparato Mays se pueden comparar con los de calificación actual, empleando una correlación adecuada.

#### III.8 CALIFICACION ACTUAL DEL PAVIMENTO

Método cualitativo que consiste en valorar el estado de la su

perficie de rodamiento en forma subjetiva, esto es, el grado de comodidad de viaje que tiene el usuario al transitar sobre un pavimento.

Esta calificación se basa en el principio de que un grupo determinado de personas circule por un camino, dividiéndolo en tramos con condiciones homogéneas, o si hay algún tramo especial tomar un subtramo, y calificarlo considerando que se tuvieran que recorrer 500 km. de carretera con el mismo estado superficial de la que se analiza.

La escala de calificación de la superficie del pavimento es la siguiente: (ver tabla III.1). REF: 7

CALIFICACION	PAVIMENTO
5 - 4	Excelente
4 - 3	Bueno
3 - 2	Regular
2 - 1	Malo
1 - 0	Muy malo

TABLA III.1 CALIFICACION ACTUAL DE PAVIMENTO

Se ha demostrado que la calificación así obtenida aunque varía de una persona a otra, el promedio es un valor práctico y valiosa. El número de personas del equipo calificador, es de 5 a 10, y no importa la actividad a que se dediquen sus miembros.

También se ha demostrado que una calificación promedio de 2.5 o mayor, es adecuada para una carretera principal ( por ejemplo la México - Querétaro). Valores de 2.0 son adecuados para carretera secundaria. Naturalmente que valores inferiores a los mencionados, son inaceptables para un pavimento de acuerdo a la opinión de los usuarios.

El rango de error o tolerancia que se maneja al calificar es de  $\pm 0.5$ , lo cual es aceptable, no obstante, si se requiere mayor precisión hay que aumentar el número de personas calificadoras sin

rebasar las 10 o usar un método directo o cuantitativo.

Al resultado obtenido de manera subjetiva se le puede equiparar con el índice de servicio actual mencionado antes, y no es -- tan caro y complicado.

Se debe procurar también que el criterio de un calificador - no sea influenciado por la opinión de otros y se recomienda que - cada calificador lleve su propio registro. Una vez que los califi- cadores realicen el recorrido, se tomarán todos los resultados y - se sacará el promedio para cada tramo analizado de la siguiente - manera:

$$CA = \bar{X} = X/n$$

Donde:

$\bar{X}$  = C.A ( calificación actual )

X = valores de las calificaciones individuales de cada inte- grante del grupo.

n = número de integrantes del grupo.

De esta manera se puede establecer el nivel de servicio en - el que se encuentra la superficie del pavimento y si es aceptable o no.

Existen unas formas que se pueden usar para calificar a un - pavimento; en estas formas, además de anotar las calificaciones - de un tramo, se puede anotar si el pavimento es aceptable, dudoso o inaceptable y un levantamiento superficial de las fallas; dicha forma es la de la figura No. 3.1

Al calificar a un pavimento sólo debe intervenir la sensación de comodidad al viajar sobre él, sin realizar la calificación en función de las fallas que se le aprecien al pavimento. El concepto de "Calificación Actual" sólo es la calificación del pavimento en el momento de realizar la inspección. Si se realizará esta calificación periódicamente, se tendría información de estado de la superficie de rodamiento a través del tiempo, o sea, se tendría - el "comportamiento del pavimento", lo cual en un momento dado puede influir mucho en la toma de decisiones con respecto a si sólo-realizarle un mantenimiento menor, mayor o ninguno. Por otra parte, tanto el "Índice de Servicio Actual" como la "Calificación Ac



tual" se basan principalmente en la deformación de la superficie de rodamiento, es decir, en la comodidad que se sienta al circular sobre ella, sin embargo, también es necesario considerar el aspecto de seguridad para poder transitar sobre el pavimento, lo cual se analizará en la evaluación del mismo.

### III.8.1 EVALUACION DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO EN FUNCION DE LA SEGURIDAD.

En esta parte, se analiza la resistencia al deslizamiento o derrapamiento de los vehículos que ofrece el pavimento, pero intervienen otros factores como son:

- a) Existencia de rodera, por el peligro de acumulación de aguas que dan origen al acuaplaneo y la acumulación de hielo.
- b) Que el pavimento, que por su color o debido al afloramiento de asfalto, refleje la luz y deslumbré a los conductores.
- c) Piedras u objetos extraños sobre el pavimento.

El que un pavimento sea antiderrapante o no depende de tres factores íntimamente relacionados y que son: el pavimento, las llantas y el conductor. La A.S.T.M. ha formalizado un método para obtener el número de deslizamientos (SN) de un pavimento, los cuales son valores medios y representan a la mayor parte de los vehículos que transiten por un camino determinado. REF. 7

### III.8.2 DISPOSITIVOS PARA OBTENER EL NUMERO DE DESLIZAMIENTOS DE UN PAVIMENTO:

- a) Empleando automóviles
- b) El dispositivo de tipo de péndulo
- c) El método del desacelerómetro
- d) El medidor de fricción (munómetro), que se ha usado bastante en nuestro país.
- e) La S.C.R.I.M., llamada máquina de investigación rutinaria de coeficiente de fuerza hacia los lados, la cual mide la resistencia al derrape en forma continua y con alta velocidad de operación.

Se estima que roderas de profundidad menor a 1 cm., no constituyen peligro alguno, pero cuando la profundidad de las depresiones es mayor o igual a 2 cm. son un riesgo eminente.

En cuanto al color del pavimento se refiere, debe ser un color que no refleje la luz del día, pero en la noche y más aún si es lluviosa, se recomienda un riego de sello de color claro para mejorar la visibilidad.

Es muy útil que al analizar la superficie de rodamiento de una carretera, se hagan levantamientos con croquis detallados de las fallas, así como, que se tomen fotografías para ilustrar las condiciones de la superficie del pavimento, anotando las fechas para después usarlas y comprarlas con otras futuras, teniendo de esta manera las variaciones del estado superficial del pavimento con el tiempo.

### III.8.3 EVALUACION DE LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO.

Mediante esta evaluación podemos determinar, por ejemplo, -- cuando un pavimento necesita una carpeta niveladora, en el caso de estar deformado, pero estructuralmente sano, o cuando necesita una verdadera sobrecarpeta de refuerzo al haberse rebasado su capacidad de carga.

### III.8.4 MUESTREO Y SONDEO.

#### III.8.4.1 METODOS DE EVALUACION DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.

Existe una amplia variedad de métodos para la evaluación de la estructura de un pavimento, mismos que se pueden encasillar -- dentro de dos tipos generales:

- a) Métodos destructivos
- b) Métodos no destructivos

#### METODOS DESTRUCTIVOS:

Los métodos destructivos son aquéllos que requieren de muestreos y pruebas de laboratorio a los materiales que componen una sección estructural, destruyéndola parcialmente por medio de cañas, trincheras o extracción de corazones.

### METODOS NO DESTRUCTIVOS:

Los métodos no destructivos son los que por medio de mediciones en el lugar valorar el comportamiento del pavimento sin destruirlo.

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

- a) Las medidas de la reacción o respuesta de un pavimento a una carga estática o a una sola aplicación de una carga que se mueve lentamente.
- b) Las mediciones de respuestas del pavimento a repeticiones de cargas dinámicas.
- c) Las mediciones de respuestas del pavimento a radiación nuclear de una fuente controlada. (se usa sólo para estimar la densidad de los materiales subyacentes).

La primera categoría comprende a los métodos para obtener la medida de la deformación que sufre un pavimento ante la aplicación de una carga estática o que se mueve lentamente, a esta deformación que sufre el pavimento, se le llama deflexión.

Para realizar estas mediciones hay en existencia varios instrumentos que es posible utilizar: viga Benkelman, deflectómetro viajero, deflectómetro Lacroix y medidor de curvatura Dehlen, entre otros. El principio en el que operan los cuatro mencionados es básicamente el mismo. El más conocido y utilizado en México es la viga Benkelman.

### FUNCIONAMIENTO DE LA VIGA BENKELMAN:

El procedimiento de empleo de la viga es colocarla entre las llantas duales de un vehículo, que al moverse provocan el movimiento vertical del pavimento (no se aprecia a simple vista), antesmencionado, que a su vez da origen a un movimiento rotacional de la viga sobre un punto fijo que se registra en un extensómetro en uno de los extremos de dicha viga con una aproximación de 0.001 - pulg.; cabe decir que los apoyos del dispositivo no deben quedar dentro de la zona de influencia de las llantas cargadas. El método

en sí es simple y rápido pero tiene la desventaja de utilizar vehículos de prueba a velocidades relativamente pequeñas. Las deflexiones obtenidas sirven para determinar espesores de refuerzo o valores de deflexión permisibles, en función del volumen de tránsito y los espesores actuales de pavimento, dependiendo del método que se use. Con este aparato es posible realizar de 300 a 400 mediciones individuales por jornada de trabajo. REF. 9

#### DEFLECTOMETROS VIAJERO Y LACROIX:

Son instrumentos electromecánicos que operan bajo el mismo -- principio de la viga Benkelman; miden deflexiones de manera uniforme y continua. Tienen un rendimiento aproximado de 2 000 mediciones individuales por jornada de trabajo. REF. 7

#### DINAFLECT:

Es un aparato electromecánico que mide las deflexiones dinámicas de la superficie de una carretera, producida por una carga oscilatoria. Consiste en un generador de fuerza dinámica, un aparato móvil de medición, una unidad de calibración y una serie de cinco geófonos móviles, montados en un pequeño remolque, el cual, estando en posición fija, ejerce en la superficie del pavimento, mediante dos ruedas de acero cubiertas de hule, una carga oscilatoria cuya intensidad es de 1 000 lbs. en los puntos máximos. La amplitud resultante de la deflexión es recogida por los geófonos y leída -- con una medida de la propia deflexión, en un aparato colocado dentro de la cabina del vehículo remolcador. REF. 7

#### METODOS DESTRUCTIVOS:

Se usan cuando se requiere saber exactamente dónde están ocurriendo las fallas en el pavimento y sus causas, o para determinar los tipos de capas y materiales que constituyen la estructura del camino, así como sus características de calidad y resistencia.

Los métodos destructivos están representados por trincheras, sondeos, calas o extracción de corazones, que destruyen parcialmente la estructura del pavimento. Al realizar alguna de estas operaciones es necesario que las capas del pavimento destruidas sean -- repuestas con material de calidad adecuada, dándoles una buena --



compactación. REF. 9

El objeto de realizar cualquiera de las operaciones anteriores sirve para medir los espesores de la estructura actual, los grados de compactación de las capas que forman el pavimento y con ayuda de pruebas de laboratorio poder determinar propiedades de interés fundamental de los materiales del pavimento y las terracerías.

En el caso de la carpeta lo que se requiere conocer es si el material pétreo es adecuado en dureza, resistencia y tiene adherencia con el material asfáltico empleado (afinidad con el asfalto), el cual define el tipo de mezcla asfáltica elaborada. REF. 10

También se requiere conocer la granulometría del material pétreo, así como otros aspectos. Para las bases y sub-bases se requiere conocer su granulometría, V.R.S. estándar, propiedades índice, clasificación, contracción lineal, contenido natural de agua, etc. REF. 9

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

A estos materiales se les revisa espesores, compactaciones, contenidos natural y óptimo de agua, propiedades índice, V. R.S. estándar, expansiones, contracción lineal y se les clasifica. REF. 449

Es frecuente que caminos antiguos presenten capas subrasante y terracerías construídas con material de préstamos laterales de baja calidad, sensibles a los cambios de humedad y en los caminos alojados en zonas de alta precipitación o con drenaje y subdrenaje deficientes, las terracerías y capa subrasante tienen casi siempre excesos de humedad (valores mayores al óptimo), a los que reaccionan con disminución de resistencia al esfuerzo cortante y con deformaciones volumétricas, REF. 9

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

Dichos resultados arrojan información tal, que nos indica cuando un camino debe ser modificado, si se pueden aprovechar capas de pavimento actual o éste en su totalidad, o se tiene que desechar.

Actualmente en las operaciones de conservación se hacen parcheos en zonas localizadas, interesando sólo a las capas superficiales, siendo esto un gran error pues muchas veces el origen de la falla está en las capas de apoyo y aunque se repare la superficie, la falla irremediablemente seguirá apareciendo, por lo que hay que reparar esa falla desde las capas donde se originó.

Resulta muy conveniente llevar un registro de la historia de cada pavimento, pues si se realiza una evaluación cualitativa cuando el pavimento se le acaba de dar un riego de sello, por ejemplo, el resultado que se obtenga no es representativo de las condiciones de toda la estructura ya que puede ser que el camino necesite de reparaciones frecuentes que rebasen el límite de presupuesto de conservación normal otorgado a un camino cualquiera. Entonces los técnicos que realicen una evaluación deben estar conscientes de esto al tomar decisiones con respecto a lo que hay que hacerle en lo futuro al pavimento analizado. En resumidas cuentas hay que comentar que no se debe escatimar en la búsqueda de las verdaderas causas de falla, realizando estudios conscientes y confiables para así poder remediar los males desde su origen y no sólo en los resultados apreciables de su comportamiento, esto es equiparable al caso de una persona con caries a la que se le puede tapar una muela picada y el mal no se ve, pero existe, molesta y el mal avanza.

### III.9 MÉTODOS DE RECONSTRUCCION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Una vez que ha sido evaluada superficialmente una carretera, se puede tomar la decisión de practicarle tan sólo operaciones de conservación o una evaluación de su estructura para determinar las necesidades que tenga de ser reconstruída o modernizada.

El problema de mantener en buenas condiciones una carretera con pavimento flexible, consta de varias etapas, que son las siguientes:

- a) Evaluación de la superficie del pavimento.
- b) Evaluación de la sección estructural (si lo amerita el caso).
- c) Proyecto de reconstrucción (en caso de ser necesaria la etapa anterior).
- d) Operaciones de reconstrucción o conservación normal.

Cabe hacer mención que la conservación normal es aquella que requiere inversiones que estén dentro del presupuesto disponible para una carretera cualquiera.

Dentro del proyecto de reconstrucción los factores de interés son los que a continuación se mencionan:

- a) Cálculo de espesores de la nueva estructura.
- b) Refuerzo o modificación que se vaya a realizar sobre la estructura existente.
- c) Procedimientos de construcción que se deben seguir para llevar a cabo la obra de que se trate. REF. 9

La sección estructural de la carretera a considerar o el tipo de refuerzo a utilizar, se determinan en base a datos que se obtengan de pruebas de calidad y resistencia de los materiales extraídos mediante pruebas destructivas hechas en la estructura existente, el terreno natural o en los bancos de material adecuado disponibles y en base a resultados de pruebas no destructivas realizadas sobre la estructura del pavimento construido antiguamente.

Los procedimientos de construcción se elaboran de acuerdo a la sección estructural o refuerzo proyectados y a las necesidades de cada lugar, siguiendo las Especificaciones Generales de Construcción o en las de cada proyecto.

Para el cálculo de espesores o diseño de la nueva estructura y del refuerzo, existe una amplia variedad de métodos de análisis y son los que mencionaremos a continuación:

#### III.9.1. DISEÑO DE ESTRUCTURAS NUEVAS.

Método del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M.

Método del Instituto de Asfaltos de Norteamérica.

- a) Evaluación de la superficie del pavimento.
- b) Evaluación de la sección estructural (si lo amerita el caso).
- c) Proyecto de reconstrucción (en caso de ser necesaria la -- etapa anterior).
- d) Operaciones de reconstrucción o conservación normal.

Cabe hacer mención que la conservación normal es aquella que requiere inversiones que estén dentro del presupuesto disponible -- para una carretera cualquiera.

Dentro del proyecto de reconstrucción los factores de interés son los que a continuación se mencionan:

- a) Cálculo de espesores de la nueva estructura.
- b) Refuerzo o modificación que se vaya a realizar sobre la es tructura existente.
- c) Procedimientos de construcción que se deben seguir para -- llevar a cabo la obra de que se trate. REF. 9

La sección estructural de la carretera a considerar o el tipo de refuerzo a utilizar, se determinan en base a datos que se obtengan de pruebas de calidad y resistencia de los materiales extraf-- dos mediante pruebas destructivas hechas en la estructura existente, el terreno natural o en los bancos de material adecuado disponibles y en base a resultados de pruebas no destructivas realizadas sobre la estructura del pavimento construido antiguamente.

Los procedimientos de construcción se elaboran de acuerdo a -- la sección estructural o refuerzo proyectados y a las necesidades de cada lugar, siguiendo las Especificaciones Generales de Cons-- trucción o en las de cada proyecto.

Para el cálculo de espesores o diseño de la nueva estructura y del refuerzo, existe una amplia variedad de métodos de análisis y son los que mencionaremos a continuación:

### III.9.1. DISEÑO DE ESTRUCTURAS NUEVAS.

Método del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M.  
Método del Instituto de Asfáltos de Norteamérica.

Tecnología Porter Modificada REF. 9

### III.9.2. DISEÑO DE REFUERZOS O MODIFICACIONES.

Métodos basados en pruebas destructivas.

Método del Instituto de Asfalten de Norteamérica

Método de la División de Carreteras del Estado de California  
E.U.A.

Los métodos para diseño de estructuras nuevas se basan generalmente en que se proponen espesores de pavimento en función de la resistencia (valor relativo de soporte) de las capas de apoyo y el volumen de tránsito. Dado que en la actualidad el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M., es la Institución que lleva a cabo, en un 80% el total de las pruebas de laboratorios y ensayos que se aplican a pavimentos en nuestro país. Por lo cual, haremos un análisis del método a continuación:

#### III.9.1.1 METODO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA U.N.A.M.

En primera instancia, se trata de valuar la resistencia crítica esperada en el campo de las diferentes capas que forman a la sección estructural; esta resistencia se valúa por medio de índices, los cuales se obtienen mediante las pruebas de valor relativo de soporte, que son pruebas de punzonamiento en donde se compara el resultado de una prueba realizada a cualquier material con una efectuada en un material pétreo triturado al que llamaremos "patrón".

Para el cálculo de estos índices, el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M., propone el empleo de criterios similares a los del Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos de Norteamérica (CE) y del Laboratorio de Investigación de Transporte y Carreteras de Inglaterra (TRRL). El método de TRRL, propone determinar el contenido último de agua en subrasantes de pavimentos impermeables según tres categorías:

1. El nivel freático se localiza cerca de la superficie del terreno y controla el contenido de agua de la subrasante, dependiendo del tipo de suelo. En suelos no plásticos, el nivel freático in--

fluirá si está a menos de 90 cm. de la superficie del camino. Si se tienen arcillas arenosas ( $IP > 20$ ), el nivel de aguas freáticas influirá cuando se localice a menos de 3.0 m. de la superficie de rodamiento. Cuando existan arcillas activas ( $IP \geq 40$ ) el nivel freático influirá si está a no más de 7.0 m. de la superficie de la carretera. REF. 8

Además el TRRL, recomienda determinar el contenido de agua último de las terracerías bajo pavimentos existentes midiéndolo en condiciones similares a la época del año donde el nivel de aguas freáticas se encuentre más cerca de la superficie, cuando los pavimentos tengan más de 2 años de edad.

II. El contenido de agua de la subrasante depende de la entrada del agua de lluvia y evaporación por los acotamientos y orillas del pavimento. Generalmente ocurre en zonas donde la lluvia es mayor a los 250 mm. por año, con distribución estacional. Aquí el TRRL, recomienda utilizar el contenido óptimo de agua determinado en la prueba estándar de compactación por impacto con piñón de 2.5 Kg., como el contenido probable en la subrasante.

III. - No existe nivel freático permanente cerca de la superficie del terreno y el clima es árido. Se considera que estas zonas tienen precipitación anual menor a 250 mm. Bajo estas condiciones, el TRRL propone adoptar el contenido de agua último para la subrasante el mismo del terreno natural descubierto a la misma profundidad

Los valores relativos de soporte usados actualmente por el S. C.T., son los obtenidos en la prueba Modificada a diferentes compactaciones, pero recalcando, se trata de obtener valores relativos de soporte crítico de los materiales en las mismas condiciones en que van a estar en el campo.

Para estimar el valor relativo de soporte crítico esperado en el campo, el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M., propone la siguiente fórmula: REF. 9

$$VRS_z = \overline{VRS} (1 - CV)$$

Donde:

VSRz = Valor relativo de soporte crítico esperado en el campo o de diseño.

$\overline{\text{VRS}}$  = Valor relativo de soporte esperando en el campo, bajo condiciones medias (valor relativo de soporte promedio).

V = Coeficiente de variación del VRS, que toma en cuenta la incertidumbre debida a las variaciones en el campo de las características del suelo, condiciones climatológicas, drenaje, procedimientos de construcción y conservación y las variaciones de estos factores a lo largo de la carretera y su vida de servicio.

Donde:

$$v = \frac{\sqrt{\quad}}{X}$$

Siendo:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

$\sigma$  = Desviación estándar.

$\bar{X}$  = Media de los valores.

$X_i$  = Valor relativo de soporte de cada muestra.

n = Número de muestras.

c = Factor que depende del nivel de confianza elegido.

NIVEL DE CONFIANZA (%)	75	80	85	90	95	99
C	0.675	0.842	1.037	1.282	1.645	2.326

El Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. recomienda usar el nivel de confianza de 80%.



Para evaluar la resistencia crítica a lo largo de la carretera, hay que zonificarla en zonas homogéneas de acuerdo con las condiciones climatológicas y geotécnicas y diseños estructural y geométrico. Por último, hay que realizar suficientes pruebas que produzcan dentro de lo posible las condiciones reales de comportamiento en el campo, considerando a la vez, que van a existir variaciones a lo largo del camino.

Una vez evaluada la resistencia crítica, o antes si se desea, se procede a estimar el volúmen de tránsito de la carretera, ya sea por medio de aforos o induciéndolo, así como su composición; también se puede obtener de los libros de datos viales que proporciona la Dirección de Ingeniería de tránsito, S.C.T., pero esto sólo es válido cuando no se pueda contar con otra información.

este volúmen se convierte a pasadas de ejes equivalentes de 8.2 toneladas que se supone vayan a ocurrir durante el período de diseño, es decir, la vida útil para la cual se está proyectando el pavimento.

#### PROCEDIMIENTO DEL METODO DEL IIUNAM. REF. 9 y 11

UNO. Se obtiene el T.P.D.A. actual y su composición, o sea, los porcentajes de cada tipo de vehículos.

DOS. Se hace intervenir una tasa de crecimiento vehicular anual (r), ya sea constante o variable, durante el período de diseño.

TRES. Se convierte el volúmen de vehículos de cada tipo a ejes equivalentes de 8.2 toneladas que denominaremos L, obteniéndose el total para el período de diseño. La fórmula empleada es la siguiente:

$$ZL = (T.P.D.A.) (CD) (CT) \sum_{i=1}^P C_i \left[ W_i \sum d_m + (1-W_i) \sum d_v \right]$$



Donde:

$\Sigma L$  = Número de pasadas de ejes equivalentes a 8.2 Ton. producidas por "p" tipos de vehículos durante "n" años.

T.P.D.A. = Volúmen de tránsito promedio diario anual en ambas direcciones en el año inicial de operación.

$C_D$  = Porcentaje del número de vehículos en el carril de diseño. Lo recomendado es:

CARRILES	$C_D$
2	0.5
4	0.4 - 0.5
6 o más	0.3 - 0.4

$C_T$  = Coeficiente de acumulación del tránsito para el período de diseño, que se calcula mediante:

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

Siendo:

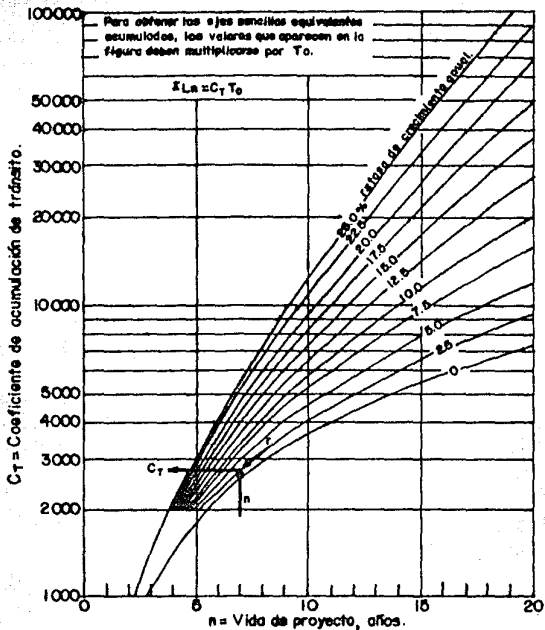
r = La tasa de incremento anual antes mencionada y,  
n = El número de años de vida útil o período de proyecto.

El coeficiente  $C_T$  también se puede obtener de la gráfica de la figura 3.4.

$C_i$  = Porcentaje de vehículos cargados de cada tipo de vehículos tipo i cargado.

$d_V$  = Coeficiente de daño del vehículo tipo 1 vacío.

Por otra parte, el estado actual de las carreteras requiere de medidas energéticas y se debe tomar en cuenta que la mayoría de -



$$C_T = 300 \sum_{j=1}^n (1+r)^{j-1} = 300 \left( \frac{1+r}{r} \right)^n - L$$

$C_T =$  Coeficiente de acumulación del tránsito, para  $n$  años de servicio y una tasa de crecimiento anual  $r$ .

$T_0 =$  Tránsito equivalente inmediato en el carril de proyecto durante el primer año de servicio, ejes sencillos equivalentes de 8.2 Tm.

$L =$  Tránsito acumulado al cabo de  $n$  años de servicio, ejes sencillos equivalentes de 8.2 Tm.

FIGURA 3.4 Gráfico para estimar el coeficiente de acumulación de tránsito.

los transportistas circula con sobrecarga con respecto a la carga máxima permitida. Adicionalmente, las obras de modernización y re construcción se están realizando en las carreteras de mayor importancia (Caminos tipo "A"). REF. 11

Por lo antes expuesto, se recomienda no usar los coeficientes de daño de vehículos vacíos, más que en casos especiales donde se tenga seguridad de los porcentajes de vehículos cargados o vacíos.

Entonces la fórmula queda:

$$\Sigma L = (TDPA) (C_D) (C_T) \sum_{i=1}^P C_i (W_i \geq dm).$$

que se puede calcular usando la forma mostrada en la figura 3.5.

En esa figura se encuentran los tipos de vehículos que usualmente circulan por las carreteras, no obstante, en caso de considerarse otros tipo de vehículos, se puede acondicionar dicha forma. Determinadas las resistencias críticas esperadas y el número de ejes equivalentes a 8.2 toneladas a diferentes profundidades, se puede hacer uso de las gráficas de las figuras 3.3. dependiendo del nivel de confianza elegido, que va de 0.6 a 0.9 y que está en función del tipo e importancia de la carretera, procedimientos y control de construcción, tipo de conservación previsto y riesgo que se desee aceptar. REF. 11

Para el cálculo de los espesores del pavimento el IIUNAM recomienda usar el  $\Sigma L$  a  $z = 0$  para la carpeta y  $\Sigma L$  a  $z = 30$  para las demás de la forma de la figura 3.3., pero estrictamente hay que realizar tanteos para determinar que número de ejes equivalentes hay que usar, calculando primero un espesor y viendo si la "z" empleada es la correcta, lo que es factible con la forma mencionada; otra forma de hacerlo es calculando los espesores primero por otro método como el del Instituto de Asfaltos de Norteamérica o la Porter Modificada y luego afinando con el del IIUNAM. REF. 9

Por último, existen ciertas condiciones, que son:

los transportistas circula con sobrecarga con respecto a la carga máxima permitida. Adicionalmente, las obras de modernización y re construcción se están realizando en las carreteras de mayor importancia (Caminos tipo "A"). REF. 11

Por lo antes expuesto, se recomienda no usar los coeficientes de daño de vehículos vacíos, más que en casos especiales donde se tenga seguridad de los porcentajes de vehículos cargados o vacíos.

Entonces la fórmula queda:

$$\Sigma L = (TDPA) (C_D) (C_T) \sum_{i=1}^P C_i (W_i \Sigma dm).$$

que se puede calcular usando la forma mostrada en la figura 3.5.

En esa figura se encuentran los tipos de vehículos que usualmente circulan por las carreteras, no obstante, en caso de considerarse otros tipo de vehículos, se puede acondicionar dicha forma. Determinadas las resistencias críticas esperadas y el número de ejes equivalentes a 8.2 toneladas a diferentes profundidades, se puede hacer uso de las gráficas de las figuras 3.3. dependiendo del nivel de confianza elegido, que va de 0.6 a 0.9 y que está en función del tipo e importancia de la carretera, procedimientos y control de construcción, tipo de conservación previsto y riesgo que se desee aceptar. REF. 11

Para el cálculo de los espesores del pavimento el IIUNAM recomienda usar el  $\Sigma L$  a  $z = 0$  para la carpeta y  $\Sigma L$  a  $z = 30$  para las demás de las forma de la figura 3.3., pero estrictamente hay que realizar tanteos para determinar que número de ejes equivalentes hay que usar, calculando primero un espesor y viendo si la "z" empleada es la correcta, lo que es factible con la forma mencionada; otra forma de hacerlo es calculando los espesores primero por otro método como el del Instituto de Asfaltos de Norteamérica o la Porter Modificada y luego afinando con el del IIUNAM. - REF. 9

Por último, existen ciertas condiciones, que son:





- A) El coeficiente de equivalencia para la carpeta, si es de concreto asfáltico, es de 2, si es de uno o dos riegos es igual a 0 y para las otras capas del pavimento es igual a 1, siempre y cuando estén sólo compactadas sin algún agente estabilizador; en caso de que lo tengan hay que establecer un coeficiente de equivalencia.
- B) En cuanto a las resistencias para las diferentes capas, el método establece un límite que es de 120 máximo para bases y 20 máximo para sub-bases. El VRS mínimo de diseño es del 2%. Cabe aclarar que los valores de resistencia especificados para las capas del pavimento no son los mismos que para el diseño, y éstos hay que obtenerlos por pruebas en el lugar o en el laboratorio semejando las condiciones del campo.
- C) Los espesores mínimos de las capas del pavimento se fijarán de acuerdo a lo que sigue:
- 8 cm. para carpeta de concreto asfáltico, o 10 cm. para cualquier otra capa.
  - 15 cm. para capa de base, si la carpeta es de riego de sello.
  - El espesor correspondiente a un  $VRS_z = 20$ , para espesor combinado de base y carpeta.
  - El que fije el analista de acuerdo con las condiciones particulares de la carretera.

### III.10 PRUEBAS DE LABORATORIO DE MATERIALES PETREOS EMPLEADOS EN CARPETAS ASFALTICAS.

#### III.10.1 CARACTERISTICAS:

Para conocer las características físicas de los agregados que se pretenden emplear en la elaboración de carpetas asfálticas es necesario llevarles a cabo pruebas de laboratorio tales como peso-volumétrico seco y suelto, granulometría, adherencia con el asfalto, índice de plasticidad, contracción lineal, etc. En general, --

los materiales pétreos para carpetas asfálticas deben llenar los siguientes requisitos: REF. 5

- a) No deben emplearse agregados pétreos que presenten más del 5%, en peso, de fragmentos en forma de lajas o que tengan marcada tendencia a romper en forma de laja cuando se les tritura. Generalmente se consideran como las que tengan una longitud mayor de tres veces la dimensión menor del agregado.
- b) No deben emplearse agregados pétreos que contengan materia orgánica en forma perjudicial o arcilla en grumos.
- c) Los agregados pétreos no deben tener más del 20% de fragmentos suaves.
- d) Los agregados pétreos deben emplearse de preferencia secos o cuando mucho con una humedad igual a la de absorción de ese material. En caso contrario, debe emplearse un aditivo en el asfalto.
- e) El tamaño máximo del agregado pétreo no deberá ser mayor que las 2/3 partes del espesor de la carpeta proyectada.
- f) Tener suficiente resistencia para soportar, sin romperse, las cargas del equipo de compactación.
- g) La porción que pase la malla # 40 no debe tener una contracción lineal mayor de tres.
- h) Los materiales pétreos deben llenar características granulométricas tales que su curva graficada debe quedar dentro de las zonas marcadas por las curvas siguientes, según sea el caso.
- i) El desgaste determinado con la máquina Los Angeles no debe ser mayor de 40%.
- j) La absorción del material pétreo no debe ser mayor del 3%.
- k) La densidad aparente del material pétreo no debe ser menor de 2.3.
- l) El material pétreo debe tener buena adherencia con el asfalto.



- m) El material pétreo debe resistir la prueba de intemperismo acelerado.

### III.10.2 PRUEBAS DE LABORATORIO.

- a) Peso volumétrico seco y suelto. La obtención del Peso Volumétrico Seco y Suelto de los materiales pétreos para carpetas asfálticas tiene por objeto hacer conversiones de pesos de material a volúmenes.

Desarrollo de la prueba: Se toma por cuarteos una cantidad determinada de la muestra representativa que se pretende ensayar y se seca y disgrega para luego llenar un recipiente de volumen conocido dejando caer el material desde una altura de unos 20 cms. Sin apretar dicho material en el recipiente y sin mover éste para evitar que el material se acomode por los movimientos del recipiente. Hecho lo anterior el material se enrasa dentro del molde y se pesa. A este peso se le resta el peso del recipiente y se divide entre el volumen del mismo obteniéndose así, el Peso Volumétrico Seco y Suelto del material pétreo. REF. 4

- b) Granulometría. La determinación de la composición granulométrica de un material pétreo que se pretenda emplear en la elaboración de carpetas asfálticas, es de primordial importancia porque en función de ellas se puede conocer de antemano qué clase de textura tendrá la carpeta. La prueba granulométrica se ejecuta de la siguiente manera: Se pesa una determinada cantidad de material obtenida por cuarteos de la muestra representativa y se pasa por las mallas de 1" (25.40mm), 3/4" (19.05mm), 1/2" (12.70mm), 3/8" (9.52 mm), 1/4" (6.35 mm), #4 (4.76mm), #10 (2mm), #20 (.840mm), #40 (.420mm), #60 (.250mm), #100 (.149mm), y #200 (0.74mm) anotándose los retenidos en cada malla. Se calcula el retenido parcial con respecto a la muestra ensayada. Después se calculan los porcentajes acumulativos y luego los porcentajes pasando. Con éstos últimos se dibuja la curva granulométrica del material, empleando un eje de coordenadas-

y anotando en el eje de las ordenadas, a escala aritmética los porcentajes pasando y en el eje de las abscisas, a escala logarítmica, las aberturas de las mallas. Observando en que zona de granulometría cae el material ensayado, según lo mostrado por las especificaciones, se puede decir si el material está bien o mal graduado y que textura tendrá la carpeta que se elabora con dicho material. REF. 4

- c) Densidad y absorción. Para ejecutar las pruebas de densidad y absorción de los materiales pétreos que se emplearán en la elaboración de carpetas asfálticas, se toma el material del retenido en la malla de 3/8" y se pone a saturar durante 24 horas, después de lo cual se extrae el material del agua y se seca superficialmente con un lienzo absorbente e inmediatamente se pesa, (Ph).

En esas condiciones se sumerge el material en un picnómetro con agua y se observa qué cantidad de ella desaloja, anotándose dicho volúmen de agua como V. Se extrae el material y se pone a secar en un horno durante 12 horas a temperatura de 100 a 110°C. Después de ello se saca el material del horno, se deja enfriar y se pesa obteniéndose el peso seco, Ps. Con estos datos se obtiene la densidad y la absorción del material de la siguiente manera:

$$\text{Densidad aparente} = Ps/V$$

$$\text{Porcentaje de absorción} = (Ph - Ps/Ps) 100$$

Los resultados obtenidos se comparan con las especificaciones correspondientes y se decide el caso.

- d) Desgaste. Esta prueba tiene por objeto conocer la calidad del material pétreo desde el punto de vista de su desgaste ya sea por el grado de alternación del agregado, por la presencia de planos débiles y aristas de fácil desgaste. Cuando se trate de analizar el desgaste de piedras en trozos se emplea la máquina Deval, pero cuando se trata de agregados se emplea la máquina Los Angeles denominándose al

resultado Desgaste Los Angeles. La prueba se ejecuta de la siguiente manera: La muestra a ensayar se lava para eliminar el polvo que tenga adherido y luego se seca a peso constante en un horno y después se criba a través de las mallas 3", 2 1/2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", #3, #4, #8 y #12 para conocer su graduación. Luego se emplea una cantidad determinada de cada tamaño para ejecutar la prueba, así como el peso en Kgs. de la carga abrasiva y el número de revoluciones que deberá darse a la máquina. La muestra seleccionada se pesa (P1), se coloca junto con las esferas en la máquina y ella se hace girar hasta completar las revoluciones especificadas. Se saca la muestra de la máquina y se lava a través de la malla #12 según el retenido de ésta en un horno y se pesa (P2). La pérdida por desgaste será: (REF. 8)

$$\text{Porcentaje de desgaste} = (P1 - P2 / P1) 100$$

- e) Adherencia con el Asfalto. Esta prueba tiene por objeto el conocer si el material pétreo que se pretende emplear en la elaboración de carpetas es de características hidrofílicas o hidrofóbicas. Se dice que un material es hidrofílico cuando tiene más afinidad por el agua que por el asfalto, e hidrofóbico en caso contrario. Si un material empleado para formar carpeta asfáltica es hidrofílico, dicho material atraerá al agua y desalojará a la película de asfalto que lo recubre y por lo tanto queda destruida la adherencia existente entre el agregado y el asfalto y por ende se pretenderá la falla de la carpeta por la falta de estabilidad al separarse el asfalto. De lo anterior se puede deducir que es imprescindible el conocer con anterioridad a su uso qué características presenta el agregado con relación a la adherencia con el asfalto. REF. 10

La falta de adherencia del asfalto con el material pétreo puede presentarse por la presencia de una película fina de polvo adherido al material pétreo o debida a las características hidrofílicas del material que no es más que un fenómeno de tensión superficial entre las fases agregado - asfalto - agua.

Las características hidrofílicas de un material pétreo pueden ser modificadas empleando agentes químicos con lo cual se mejora mucho la adherencia del material con el asfalto.

Para conocer si un material tiene una buena o mala adherencia con un determinado asfalto, debe ejecutarse la prueba de Desprendimiento por fricción. El procedimiento consiste en verificar por duplicado la prueba de desprendimiento por fricción, tomando como -- testigo un material que haya comprobado tener buena afinidad con -- el asfalto.

De la mezcla preparada en las mismas condiciones como se va a emplear en la obra, se toman unos 300 gms. y se colocan en un frasco de vidrio y se les agrega agua hasta cubrir dicha mezcla, dejándola en reposo durante 24 horas. Si después de ese tiempo el des-- prendimiento de asfalto del agregado es de consideración, el material puede clasificarse como altamente hidrofílico.

Si no ha ocurrido un desprendimiento apreciable de la película de asfalto, el frasco con su contenido deberá agitarse vigorosamente por tres períodos de cinco minutos cada uno, debiendo examinarse la mezcla dentro del frasco después de cada agitada de cada cinco minutos. Si no se nota un desprendimiento de asfalto al terminar el tercer período de agitación o que haya habido un desprendimiento ligero comparada al del testigo, puede considerarse como adherencia normal con el asfalto.

En caso contrario, se dirá que el material tiene adherencia -- regular o baja, según sea el desprendimiento ocurrido del asfalto -- siendo necesario aumentar dicha adherencia, ya sea empleando un -- adicionante, o tratando de ver si dicha adherencia se mejora cambiando el tipo de asfalto, triturando el material a un tamaño menor o lavando el agregado pétreo.

f) Contracción lineal. La contracción lineal de los finos del material pétreo, nos indica la presencia de mucho o poca actividad de arcilla que contenga. Si la arcilla se presenta en forma de película

la delgado adherida al material pétreo, provoca una baja adherencia de asfalto con el agregado pétreo. Si la arcilla se encuentra en grumos o terrones, serán puntos débiles y de falla en la carpeta, en presencia del agua. La contracción lineal es la disminución en una dimensión de la masa del suelo expresada como un porcentaje de la dimensión original cuando su contenido de humedad se reduce desde una cantidad igual a la humedad del límite líquido del material hasta el límite de contracción del mismo. REF. 4

g) Determinación de la Pérdida por Intemperismo Acelerado en Material Seco. La prueba del Intemperismo acelerado, al determinar la resistencia a la desintegración de los agregados pétreos, causada por los esfuerzos desarrollados al formarse cristales de sulfato de sodio o de magnesio en los huecos o fisuras del agregado es un índice del grado de alteración que puede alcanzar éste por la acción de los agentes atmosféricos. Estos datos son muy valiosos, principalmente cuando no se cuenta con información adecuada del comportamiento del material expuesto a las condiciones de intemperismo existentes en la región. Deberá hacerse únicamente cuando se tengan dudas acerca de la calidad del material que pretenda emplearse en la elaboración de carpetas asfálticas. El equipo con el cual se lleva a cabo esta prueba es el siguiente REF. 4

Un juego de mallas Tyler estándar de abertura cuadrada de -- las denominaciones siguientes: 38.10 mm (1 1/2"), 25.40 mm (1"), 19.05 mm (3/4"), 12.70 mm (1/2") y #4.

Charolus de peltre. Balanza de 5 kgs. de capacidad y un grado de sensibilidad. Solución saturada de sulfato de sodio o magnesio. Horno a temperatura de 100 a 110 °C.

Procedimiento: Prepárese una solución saturada de alguna de las sales en agua, de manera de obtener no solamente una saturación, sino la presencia en exceso de cristales al momento de hacer la prueba. La disolución se hace a una temperatura de 25 a 30 °C, y se mantiene a una temperatura de 21 °C por lo menos cuarenta y ocho horas antes de emplearla. Deberá agitarse perfectamente cuando va a iniciarse cada ciclo. Se recomienda emplear las

emplear las siguientes cantidades de sal para asegurar la presencia de cristales en la solución.

Solución de sulfato de sodio, si es anhidro ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) 350 gms por litro si posee agua de cristalización ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), 750 gms.- por litro. Solución de sulfato de magnesio, ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), (Sal de Epsom) 1,400 gms. por litro.

Existen dos procedimientos de prueba que se aplican de acuerdo con la forma en que se presenta el material.

1. Si el material es graduado, la pérdida en material retenido en la malla #4, se calculará como sigue: Se determinará la composición granulométrica del material retenido de la malla #4, se deberán obtener, por separado, las cantidades de muestra indicadas en cada uno de los diferentes tamaños que deberán ser ensayados individualmente. REF. 8

T A M A Ñ O		CANTIDAD DE MUESTREO	(gramos)
De #4	a	12.7 mm (1/2")	300
De 12.7mm (1/2")	a	19.05mm (3/4")	500
De 19.05mm (3/4")	a	25.40mm (1")	1000
De 25.40mm (1")	a	38.10mm (1 1/2")	1500
De 38.10mm (1 1/2")	a	50.80mm (2")	1500

Si en la muestra original el material que pasa la malla de 25.40 mm (1") y se retiene en la 12.70 mm (1/2") es menor de 5% del total del material mayor de la malla #4, no deberá hacerse la prueba en dicho tamaño y se le considerará una pérdida por intemperismo al promedio obtenido para el tamaño inmediato anterior y posterior. Una consideración semejante se hará para el material que pasa la malla de 50.80 mm (2") y se retiene en la 25.40 mm (1"). Las muestras de material de cada tamaño, previamente secadas en horno hasta peso constante se colocará por separado en charolas que contengan la solución saturada de sulfato de sodio o magnesio, de manera que queden perfectamente cubiertas y se mantendrán por espacio de 16 a 18 horas a temperatura de 21°C. Fina-

lizado el período de saturación las muestras se sacarán de la charola, se escurrirán y se secarán hasta peso constante, a temperatura de 100 a 110°C; se dejarán enfriar y se colocarán nuevamente en el recipiente con solución de sulfato de sodio o magnesio. El ciclo anterior se repetirá cinco veces al terminar el último se lavarán las muestras hasta eliminar todo el sulfato de sodio o magnesio, después de lo cual se secarán hasta peso constante.

Cada muestra no criará la malla inferior y se anotará el peso del material retenido; la diferencia de este peso con el peso original, expresada como porcentaje de éste último, representará la pérdida por intemperismo de cada tamaño ensayado.

Se calcula la pérdida total por intemperismo acelerado del material grueso (retenido en la malla #4), multiplicando los porcentajes de material de cada tamaño ensayado, por la pérdida determinada y dividiendo entre cien estos productos. La suma de ellos representará la pérdida total del material ensayado.

II. Si la muestra está constituida por roca en trozos, se utilizan para la prueba 3,000 gms, del material en partículas en forma sensiblemente cúbica de 2.54 cms. de lado. La prueba se hará en la forma ya indicada y se calculará el porcentaje de la pérdida por intemperismo acelerado por el siguiente procedimiento.

Se separarán y se pesarán todos los fragmentos que no se hayan fracturado en tres o más pedazos. Este peso, restado del peso original, dará el peso del material alterado, el cual expresado como porcentaje de la muestra ensayada dará el valor de la pérdida por intemperismo acelerado. Como en el caso anterior, se dará un reporte de la inspección visual practicada en todas las partículas de la muestra. REF. 8



### III.11 PRUEBAS DE LABORATORIO

#### III.11.1 PRUEBAS EN EL MATERIAL PETREO:

Preparación de las muestras. Una muestra llevada al laboratorio comprende: Registro, secado, disgregado y cuarteo.

El registro tiene como finalidad localizar con más facilidad una muestra, de esta manera se llevará un control de todas las --- pruebas que sobre ella se efectúen.

El secado de la muestra es conveniente al hacerlo exponiéndola al sol, moverla periódicamente para que sea uniforme y más rápido, también puede secarse en hornos con una temperatura de 40 a 60 grados centígrados, recomendándose no secar a temperaturas elevadas que puedan variar las características originales de los materiales en estudio, en ambos casos el secado se hará al grado que se permita su disgregación y manejo. REF. 7

La disgregación de la muestra tiene por objeto hacer la separación de las diferentes partículas del material para posteriormente mezclarlas y cuartearlas. La operación de disgregado se lleva hasta convertirlos en polvo ó según sea el caso sin fracturar demasiado las partículas de tal forma que sea una medida comparativa del proceso real a emplear en la estructura.

#### III.11.2 CLASIFICACION DE LAS MUESTRAS

- a) Representativas
- b) No representativas
- c) Inalteradas

Las muestras representativas son aquellas que conservan todos sus componentes pero han perdido su principal propiedad que es la estructura.

Las muestras no representativas son las que además de perder-



su estructura pierden alguno de sus componentes, o bien pueden contaminarse, por estas razones sus características varían de donde fue tomada la muestra.

Finalmente las muestras inalteradas son aquellas que además de conservar sus componentes naturales no varían en ellas su estructura y humedad.

### III.11.3. PROPIEDADES INDICE DE LOS MATERIALES PETREOS. REF. 4.

**HUMEDAD.** El agua es el principal enemigo de los caminos, el cuidado de esta es de gran importancia y la presencia en exceso de ella impide la adherencia de la película asfáltica con el material pétreo.

La humedad de un suelo se define como la relación del peso del agua al peso de los sólidos, expresada en por-ciento o sea:

$$W = \frac{P_a}{P_s} \times 100$$

Donde:

- W= contenido de humedad en por ciento
- Pa= peso del agua en el suelo
- Ps= peso de los sólidos

La muestra que se tome será representativa del suelo cuya humedad se desea conocer teniéndose principal cuidado de utilizarse un recipiente adecuado para evitar la pérdida de humedad desde que es tomada la muestra en campo hasta que llegue al laboratorio.

#### PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA:

Se pesa el suelo húmedo, registrándose como (P1), se quita la tapa del recipiente metiéndose la muestra al horno para su secado con una temperatura constante de 100 a 110°C durante 20 horas. En el caso de muestras grandes es preferible extenderla en una charola para facilitar la evaporación del agua. Posterior a esta opera-

ción, se pesa la muestra seca en el mismo recipiente anotándose el peso (Pz), si la atmósfera se encuentra húmeda se coloca la muestra en un desecador mientras se enfría se pesa el recipiente (Pt), calculándose la humedad de la manera siguiente:

$$W = \frac{P1 - Pz}{Pz - Pt} (100)$$

Donde:

- W = contenido de humedad (%)
- P1 = Peso de la muestra húmeda más el peso del recipiente. --  
P1 = Pw + Pt.
- Pt = Peso del recipiente
- Pw = Peso de la muestra húmeda
- Ps = Peso de la muestra seca
- Pz = Peso de la muestra seca más el peso del recipiente.  
Pz = Ps + Pt.

DENSIDAD. Esto es la relación que hay entre la masa de un cuerpo y su volumen.

#### TIPOS DE DENSIDAD.

- a) Absoluta
- b) Aparente
- c) Relativa

La densidad absoluta es la relación de la masa de un cuerpo - contenida en la unidad de volumen, sin incluir sus vacíos. (expresada en Gramos =  $m/cm^3$ ).

La densidad aparente. Es la masa por unidad de volumen incluyendo sus vacíos y se expresa en  $grs-m/cm^3$ .

La densidad relativa de un sólido es la relación de la densidad del suelo a la densidad absoluta del agua destilada a la temperatura de 4°C cuyo valor es de  $1\text{ gr/cm}^3$ . Y se expresa en valor absoluto.

### DETERMINACION DE LA DENSIDAD RELATIVA.

Se toma una muestra la cual se satura, posteriormente se seca superficialmente y se toma su peso (P1), enseguida se realiza el secado y se obtiene (Ps) el peso seco, se procede a introducir la muestra en un matríz de 500 c.c. vacío agregándosele agua destilada hasta la mitad, se coloca a temperatura tal que llegue a la ebullición expulsando de esa forma el aire atrapado, después a la temperatura ambiente se coloca el faltante de agua destilada, retirándose el matríz del tanque de enfriamiento y se pesa (Pz). Hecho lo anterior la densidad relativa será:

$$Dr = \frac{Ps}{P1 + Ps - Pz}$$

Donde:

Dr = Densidad relativa de los sólidos

P1 = Peso del material saturado de agua

Ps = Peso seco de los sólidos

Pz = Peso del matríz conteniendo los sólidos y el agua.

PESO VOLUMETRICO. El peso volumétrico de un suelo se define como - el peso total de la muestra (peso del agua más el peso de los sólidos) por unidad de volúmen, considerando los vacíos que existen en la muestra.

$$W = \frac{Wt}{Vt} = \frac{Pa + Ps}{Vt}$$

Donde: W = Peso volumétrico del suelo

Wt = Peso total de la muestra

Vt = Volúmen total de la muestra

Pa = Peso del agua

Ps = Peso de los sólidos.

Se conoce también el peso volumétrico suelto y es aquel que se ha sometido a un proceso de secado considerado los vacíos entre las partículas. El peso volumétrico suelto seco corresponde al an-

tes expuesto y es cuando el suelo ha adquirido un confinamiento natural o por un proceso mecánico de compactación. El peso volumétrico en general, esta en función de la granulometría y de la densidad del suelo. Una muestra cuyo peso volumétrico suelto se acerque al peso volumétrico máximo proctor, presenta una graduación de tal forma que reduce el proceso de compactación.

LIMITES DE ATTERBERG. Este tipo de prueba se hace necesaria con el fin de conocer el grado de plasticidad de los finos, lo que es un indicio de la presencia de arcilla y esta puede ser perjudicial en las mezclas asfálticas, dependiendo de la cantidad y de la actividad que se presenta en el material. Cuando la arcilla se encuentra dispersa en el material pétreo ocasiona una mala adherencia de la película asfáltica y si se encuentra formando grumos aislados, cada uno de ellos constituye un punto débil en la carpeta, en presencia del agua. El material pétreo debe cumplir con el requisito de plasticidad medida ésta por la contracción lineal.

Atterberg nos señala la plasticidad no como propiedad permanente de las arcillas sino que depende de un contenido de agua. REF. 4

Y que la plasticidad de un suelo exige para ser expresada en forma convencional la utilización de dos parámetros el límite líquido y el índice plástico, además definió los estados de consistencia en que puede estar un suelo susceptible de ser plástico según su contenido de agua. REF. 4

Estado líquido. Con las propiedades y apariencias de una suspensión.

Estado semilíquidos. Con las propiedades de un fluido viscoso.

Estado plástico. En el que el suelo se comporta plásticamente.

Estados semilíquido. En el que el suelo tiene apariencia de un sólido pero disminuye de volumen al estar sujeto al secado.

Estado sólido. El volúmen del suelo no varía con el secado.

La frontera entre los estados semifluidos y plásticos los de finió Atterberg como límite líquido y la frontera convencional entre los estados plástico y semisólido le llamó límite plástico.

Límite líquido. Se define como el contenido de agua del suelo para la cual la ranura hecha a este en la copa de Casagrande se cierra a lo largo de 1.27 cms. (1/2") con 25 golpes de la misma REF. 4

Límite plástico. Se define como el contenido de agua que tiene el suelo cuando al rodar con la palma de la mano sobre una placa de cristal un cilindro de dicho suelo y este alcanza exactamente un diámetro de 3 mm. se agrieta y desmorona. REF. 4

Índice plástico. Se define por la diferencia aritmética del límite líquido menos el límite plástico. REF. 4

### III.12. ASFALTOS.

Dentro del mejoramiento de los pavimentos flexibles encontramos los productos asfálticos. Aún cuando los asfaltos se utilizan para estabilizar suelos es frecuente su empleo en labores tales como, renivelaciones, bacheos, mejoramiento de bombeo de la superficie de rodamiento, estabilizaciones de acotamientos, riegos de sello y liga, entre otras labores. Estos productos resultan muy importantes hoy en día; para fortuna nuestra, siendo México un país petrolero dicha actividad resulta ser ágil y efectiva, aún cuando la calidad de los productos asfálticos no sea del todo apropiada. REF. 8 y 10.

La mayor parte del asfalto que se emplea hoy en día en América proviene de la refinación del petróleo. El asfalto refinado se produce en una gran variedad de tipos, desde los sólidos, duros y quebradizos hasta los fluidos casi tan líquidos como el agua. La forma semi-sólida conocida como cemento asfáltico es el material básico y puede considerarse como una combinación de asfalto duro y

aceites no volátiles del petróleo.

En vías terrestres, es frecuente el uso de los productos asfálticos líquidos, y son muy importantes dentro de las labores de construcción y mantenimiento.

Los materiales asfálticos se clasifican de la siguiente manera:

- a) Cementos asfálticos.
- b) Rebajados asfálticos.
- c) Emulsiones asfálticas.

#### III.12.1. CARACTERISTICAS.

- a) Cementos asfálticos. Son los asfaltos obtenidos por un proceso de destilación del petróleo para eliminar a éste sus solventes volátiles y parte de los aceites.
- b) Rebajados asfálticos.
  - 1.- Asfaltos Rebajados de Fraguado Rápido (FR). Son los materiales asfálticos líquidos, compuestos de un cemento asfáltico y un disolvente del tipo de la nafta o gasolina.
  - 2.- Asfaltos Rebajados de Fraguado Medio (FM). Son los materiales asfálticos líquidos compuestos de un cemento asfáltico y un disolvente del tipo del queroseno.
  - 3.- Asfaltos Rebajados de Fraguado Lento (FL). Son los materiales asfálticos líquidos, compuestos de un cemento asfáltico y un disolvente de baja volatilidad o aceite ligero.
- c) Emulsiones Asfálticas. Son los materiales asfálticos líquidos estables, formados por dos fases no mezclables, en los que la fase continua de la emulsión está formada por agua y la fase discontinua por pequeños glóbulos de asfalto. Dependiendo del

agente emulsificante, las emulsiones asfálticas pueden ser aniónicas, si los glóbulos de asfalto tienen carga eléctrica negativa o catiónicas, si los glóbulos asfálticos tienen carga eléctrica positiva. Estas emulsiones pueden ser de rompimiento rápido, medio y lento. REF. 10

Las temperaturas de los productos asfálticos en el momento de ser empleados, serán: REF. 8

A). Cementos Asfálticos.

De 120 °C a 160 °C

B). Asfaltos Rebajados de Fraguado Lento.

-FL-0, de 20 °C a 30 °C

-FL-1, de 30 °C a 45 °C

-FL-2, de 75 °C a 85 °C

-FL-3, de 85 °C a 95 °C

-FL-4, de 95 °C a 100 °C

C). Asfaltos Rebajados de Fraguado Medio.

-FM-0, de 20 °C a 40 °C

-FM-1, de 30 °C a 60 °C

-FM-2, de 70 °C a 85 °C

-FM-3, de 80 °C a 95 °C

-FM-4, de 90 °C a 100 °C.

D). Asfaltos Rebajados de Fraguado Rápido.

-FR-0, de 20 °C a 40 °C

-FR-1, de 30 °C a 50 °C

-FR-2, de 40 °C a 60 °C

-FR-3, de 60 °C a 80 °C

-FR-4, de 80 °C a 100 °C

E). Emulsiones Asfálticas.

En general no requieren calentamientos, pero se recomienda -- una temperatura de 5°C a 40 °C.

Los riesgos de material asfáltico no deberán aplicarse cuando la temperatura ambiente sea menor de 5 °C, si hay amenaza de lluvia o la velocidad del viento sea tal que impida la aplicación uniforme. REF. 8.



A) Cementos asfálticos

CARACTERÍSTICAS	CEMENTO ASFÁLTICO			
	Núm. 2	Núm. 6	Núm. 7	Núm. 8
Penetración, 100 g. 5 s. 25°C, grados . . . . .	100-300	80-100	60-70	40-50
Viscosidad Saybolt-Furul: A 135°C, s. mínimo . . . . .	60	85	110	130
Punto de inflamación (copa abierta de Cleveland), °C mínimo. . . . .	230	210	232	212
Punto de reblandecimiento, °C . . . . .	37-43	45-52	48-56	52-60
Dureidad, 25°C, cm. mínimo . . . . .	60	110	110	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo . . . . .	99.5	99.5	99.5	99.5
Prueba de la película delgada, 80 cm <sup>2</sup> , 5 h, 165°C: Penetración retenida, por ciento, mínima . . . . .	40	50	54	58
Pérdida por calentamiento, por ciento, máximo . . . . .	1.4	1.0	1.0	0.8

B) Asfaltos rebajados de fraguado rápido

CARACTERÍSTICAS	GRADO				
	FR-0	FR-1	FR-2	FR-3	FR-4
<b>PRUEBAS AL MATERIAL ASFÁLTICO</b>					
Punto de inflamación (copa abierta de Tagli), °C mínimo . . . . .			27	27	27
Viscosidad Saybolt-Furul: A 25°C, segundos . . . . .	75-150	75-150	100-200	250-500	125-250
A 50°C, segundos . . . . .					
A 82°C, segundos . . . . .					
Destilación: Por ciento del total destilado a 360°C . . . . .					
Hasta 100°C, mínimo . . . . .	15	10			
Hasta 225°C, mínimo . . . . .	55	50	40	25	8
Hasta 290°C, mínimo . . . . .	75	70	65	55	40
Hasta 315°C, mínimo . . . . .	90	88	85	83	80
Residuo de la destilación a 300°C: Por ciento del volumen total por diferencia, mínimo . . . . .	20	20	17	13	7
Agua por destilación, por ciento, máximo . . . . .	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
<b>PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION</b>					
Penetración, grados . . . . .	10-120	10-120	10-120	10-120	10-120
Dureidad en centímetros, mínimo . . . . .	100	100	100	100	100
Relubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo . . . . .	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

C) Asfaltos rebajados de fraguado medio

CARACTERÍSTICAS	GRADO				
	FM-0	FM-1	FM-2	FM-3	FM-4
<b>PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO</b>					
Punto de inflamación (copa abierta de Tag), °C mínimo	38	38	66	66	66
Viscosidad Saybolt-Furul:	75-150	75-150	100-200	250-500	125-250
A 25°C, segundos					
A 50°C, segundos					
A 82°C, segundos					
Destilación: Por ciento del total destilado a 300°C					
Hasta 225°C, máximo	25	20	10	5	0
Hasta 250°C	40-70	25-65	15-55	5-40	30 M4L
Hasta 315°C	75-93	70-90	60-87	55-85	40-80
Residuo de la destilación a 300°C: Por ciento del volumen total por diferencia, mínimo	50	60	67	73	78
Agua por destilación, por ciento, máximo	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
<b>PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION</b>					
Penetración, grados	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300
Dureza en centímetros, mínimo	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

D) Asfaltos rebajados de fraguado lento

CARACTERÍSTICAS	GRADO				
	FL-0	FL-1	FL-2	FL-3	FL-4
<b>PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO</b>					
Punto de inflamación (copa abierta de Cleveland), °C mínimo	66	66	80	81	107
Viscosidad Saybolt-Furul:	75-150	75-150	100-200	250-500	125-250
A 25°C, segundos					
A 50°C, segundos					
A 82°C, segundos					
Destilación: Destilado total a 300°C, por ciento en volumen					
Agua por destilación, por ciento, máximo	15-40	10-30	5-25	2-15	10 M4L
Residuo asfáltico de 100 gramos de penetración, por ciento, mínimo	40	50	60	70	75
<b>PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION</b>					
Flotación en el residuo de la destilación, a 25 °C, segundos	15-100	30-100	25-100	50-125	60-150
Dureza del residuo asfáltico de 100 gramos de penetración, 25°C, cm, mínimo	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

E) Emulsiones asfálticas aniónicas

CARACTERÍSTICAS	G R A D O				
	Recubrimiento rápido		Recubrimiento medio		Recubrimiento lento
	RR-1	RR-2	RM-1	RL-1	RL-2
<b>PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO</b>					
Viscosidad Saybolt-Furni a 25°C, segundos . . . . .	31 (18)	75-100	100-150	31 (18)	20-100
Viscosidad Saybolt-Furni a 50°C, segundos . . . . .					
Residuo de la destilación, por ciento en peso, mínimo . . . . .	37	62	62	37	37
Aumentamiento en 3 días, diferencia en por ciento, máximo . . . . .	3	3	3	3	3
Demulsibilidad:					
35 ml de 0.02N CaCl <sub>2</sub> , por ciento, máximo . . . . .	20	50	30		
50 ml de 0.10N CaCl <sub>2</sub> , por ciento, máximo . . . . .			30	10	10
Retenido en la malla N.ºm. 20, por ciento, máximo . . . . .	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máximo . . . . .				2.0	2.0
<b>PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION</b>					
Penetración, 25°C, 100 g, 5 segundos, grados . . . . .	100-150	100-150	100-150	100-150	100-150
Solubilidad en tetrahiduro de carbono, por ciento, mínimo . . . . .	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5
Ductilidad, 25°C, cm, mínimo . . . . .	40	40	40	40	40

F) Emulsiones asfálticas catiónicas

CARACTERÍSTICAS	G R A D O					
	Recubrimiento rápido		Recubrimiento medio		Recubrimiento lento	
	RR-3K	RR-3K	RM-3K	RM-3K	RL-3K	RL-3K
<b>PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO</b>						
Viscosidad Saybolt-Furni, 25°C, segundos . . . . .	20-100	100-400	50-300	50-500	20-100	20-100
Viscosidad Saybolt-Furni, 50°C, segundos . . . . .	60	65	60	65	57	57
Residuo de la destilación, por ciento en peso, mínimo . . . . .	5	5	5	5	5	5
Aumentamiento en 3 días, diferencia en por ciento, máximo . . . . .	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Retenido en la malla N.ºm. 20, por ciento, máximo . . . . .						
Cubrimiento del agregado (en condiciones de trabajo):						
Prueba de resistencia al agua:						
Agregado seco, por ciento de cubrimiento, mínimo . . . . .			80	80		
Agregado húmedo, por ciento de cubrimiento, mínimo . . . . .			60	60		
Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máximo . . . . .					2	2
Carga de la partícula . . . . .	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	2	2
pH, máximo . . . . .					6.7	6.7
Disuelve en volumen, por ciento, máximo . . . . .	3	3	20	12		
<b>PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION</b>						
Penetración, 25°C, 100 g, 5 segundos, grados . . . . .	100-150	100-150	100-250	100-350	100-300	100-300
Solubilidad en tetrahiduro de carbono, por ciento, mínimo . . . . .	97	97	97	97	97	97
Ductilidad, 25°C, cm, mínimo . . . . .	40	40	40	40	40	40

Nota: La viscosidad de las emulsiones no debe exceder más de treinta por ciento (30%) al bajar su temperatura de veinte grados centígrados (20°C) a diez grados centígrados (10°C), ni bajar más de treinta por ciento (30%) al subir su temperatura de veinte grados centígrados (20°C) a cuarenta grados centígrados (40°C).

### III.12.2 USOS.

Muchos son los usos de los productos asfálticos como ya se ha mencionado, pero en general su empleo puede ser variado. Así tenemos que: Los productos asfálticos de fraguado medio (FM) se utilizan en riegos de impregnación de la base y en estabilizaciones asfálticas. Los rebajados de fraguado rápido (FR) se emplean en la elaboración de mezclas para carpetas, en los riegos de liga entre bases impregnadas y carpetas. Los rebajados de fraguado lento son muy poco empleados en nuestro país, por lo general se les emplea en la estabilización de suelos finos así como en riegos de impregnación de base con textura muy cerrada. REF. 8 y 10.

## CAPITULO IV

## DRENAJE Y SUBDRENAJE

### IV.1. DRENAJE Y SUBDRENAJE.

Este elemento de las carreteras es esencial para su buen comportamiento. El control de las aguas superficiales y subterráneas-- producto de infiltraciones, es un factor importantísimo en la vida -- útil de las carreteras.

Las aguas superficiales no controladas, erosionan y deslavan-- el material que sostiene o compone a la sección de una carretera,-- desgastándola y propiciando las fallas de la misma.

Por ejemplo, las aguas infiltradas contribuyen a inestabili-- zar los taludes de una sección en corte, provocando caídas de material o incluso la falla total del talud, al reducir las características de resistencia del material.

En el caso de una sección en terraplén, el agua subterránea-- puede ascender por capilaridad hasta el pavimento dañándolo. Si -- las terracerías son de mala calidad o expansivas, el pavimento sufrirá deformaciones, ya que con cambios en el contenido de agua o saturadas., las terracerías se deformarán y como son la base del-- pavimento, éste también se deformará.

Es necesario construir obras que protejan a la estructura -- del camino del agua, conservándolo así sus características de ca-- lidad y resistencia.

Para encauzar y desalojar estas aguas existe el sistema de -- drenaje y subdrenaje.

El agua superficial se acostumbra canalizar por medio de las siguientes obras: bombeo, guarniciones, bordillos, lavaderos, bajadas, bermas, bordos, uso apropiado de vegetación, cunetas, contracunetas y canales interceptores; los dos últimos generalmente-- no están bien construidos, pues no se impermeabilizan y son con--

traproducentes ya que contribuyen a la infiltración del agua con sus consecuencias.

Además de las obras anteriores, se usan las alcantarillas y los puentes, que son obras de drenaje menor y mayor respectivamente.

El agua subterránea se canaliza por medio de las siguientes obras: filtros en muros de contención, capas permeables en los pavimentos ( reductoras o rompedoras de capilaridad ), drenes longitudinales de zanja ( llamados también subdrenes longitudinales ), subdrenes interceptores transversales, drenes de penetración -- transversal, pozos de alivio, capas permeables profundas con remoción de material, trincheras estabilizadoras y galerías filtrantes.

#### IV.1.1. TIPO DE DRENAJE Y SUBDRENAJE.

En la vida de un camino es fundamental el funcionamiento del drenaje, pues por la naturaleza del material con que se forman -- los terraplenes o el propio de los taludes de los cortes, cualquier exceso de agua o humedad ocasiona deslaves y trastorna el funcionamiento del camino. Los deslaves, asentamientos, oquedades y desprendimientos de material, encarecen el costo de la conservación y a veces interrumpen el tránsito, ocasionando por lo tanto desequilibrios económicos.

#### IV.1.2. OBJETIVOS DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE.

El objetivo fundamental del drenaje y subdrenaje es la eliminación del agua o humedad en cualquier forma puede perjudicar al camino; esto se logra evitando que el agua llegue a él, o bien -- dando salida a la que inevitablemente le llega.

En ocasiones se destinan obras semejantes a las de drenaje y subdrenaje a distinto fin, a pesar de lo cual se sigue considerando como tales, más bien por la analogía que existe en el proyecto,

que por su finalidad.

#### IV.2. CLASIFICACION DEL DRENAJE.

El drenaje se divide en drenaje superficial y en drenaje subterráneo, de acuerdo con el funcionamiento del escurrimiento.

##### IV.2.1. DRENAJE SUPERFICIAL.

Se llama drenaje superficial al que tiende eliminar el agua que escurre encima del terreno o del camino, sea que provenga directamente de la lluvia, de escurrimientos o de aguas almacenadas.

El drenaje superficial comprende dos aspectos: uno es el que trata de evitar que el agua llegue al camino por medio de obras que lo protejan y el otro es el que trata de eliminar el agua que inevitablemente llega al camino, por medio de estructuras especiales. REF. 9.

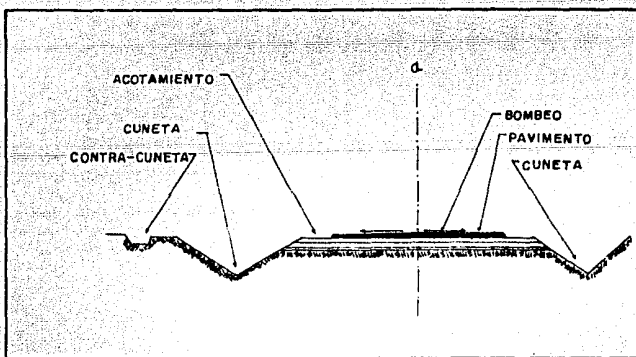
Las principales obras para la protección del camino son las siguientes: bombeo de la superficie, cunetas, contracunetas, canales, bordos, otras obras auxiliares, etc., las cuales se describen a continuación:

##### BOMBEO DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO:

Se llama bombeo a la forma que se le da a la sección del camino para evitar que el agua de lluvia se estanque y por lo tanto ocasiona trastornos al tránsito e infiltraciones en las terracerías que provocan saturaciones en las mismas, reblandecimientos del terreno y finalmente destrucción del camino; sirve también para evitar que el agua corra longitudinalmente sobre la superficie del camino y la erosione. El bombeo depende no solamente de la precipitación pluvial, sino de la clase de superficie del camino, ya que una superficie dura y tersa requiere menos bombeo que una rugosa y falta de compactación. En la tabla IV.1 se especifica

CLASE DE SUPERFICIE	PENDIENTE TRANSVERSAL RECOMENDABLE.		TIPO DE CAMINO VECINAL	PENDIENTE TRANSVERSAL (BOMBEO)
	MINIMA	MAXIMA		
TIERRA	2%	8%	ESPECIAL	2%
GRAVA O MACADAM	1%	6%	PRIMERO Y SEGUNDO ORDEN	2-3%
PAVIMENTOS ASFALTICOS	1/2 %	3%	TERCER ORDEN	3%

TABLA IV.1 BOMBEO RECOMENDABLE PARA TIPOS DE CAMINO VECINAL.



CAMINO EN SECCION CON OBRAS TÍPICAS.



can los bombeos recomendables para cada tipo de camino vecinal. -  
REF. 3

Al proyectar el bombeo de un camino debe tomarse en cuenta --  
también la comodidad para los usuarios del mismo, puesto que un -  
camino con bombeo exagerado provoca que los conductores de vehícu  
los prefieren el centro, en lugar de conservar su vía de circula-  
ción. Un buen proyecto de bombeo debe equilibrar por lo tanto las  
necesidades de drenaje con la comodidad del tránsito.

#### CUNETAS:

Son las estructuras destinadas a recoger el agua que escurre  
de la superficie del camino debido al bombeo, así como la que es-  
curre por los taludes de los cortes. REF. 9

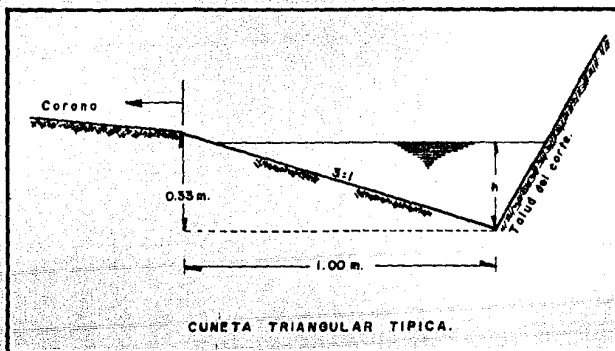
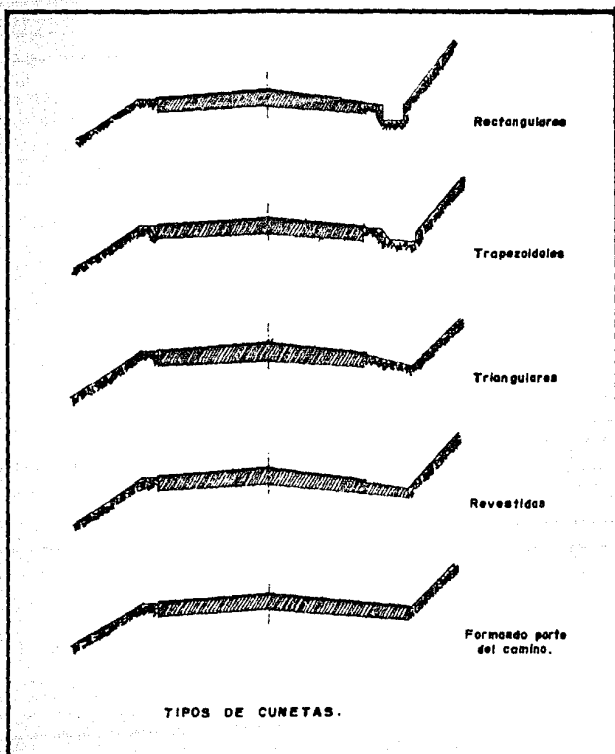
Las cunetas son zanjas que se localizan a la orilla del cami  
no en los cortes, o cuando el camino es a pelo de tierra; de sa-  
guan en alcantarillas o por medio de canales de salida.

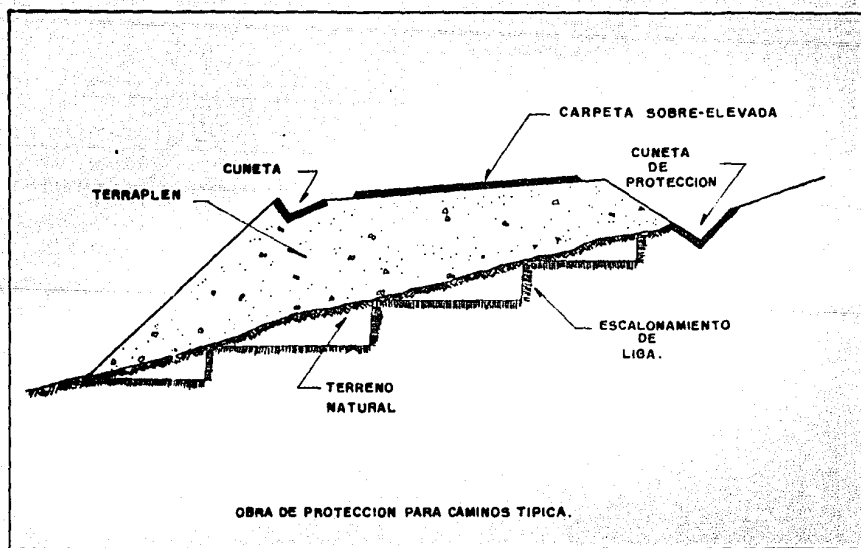
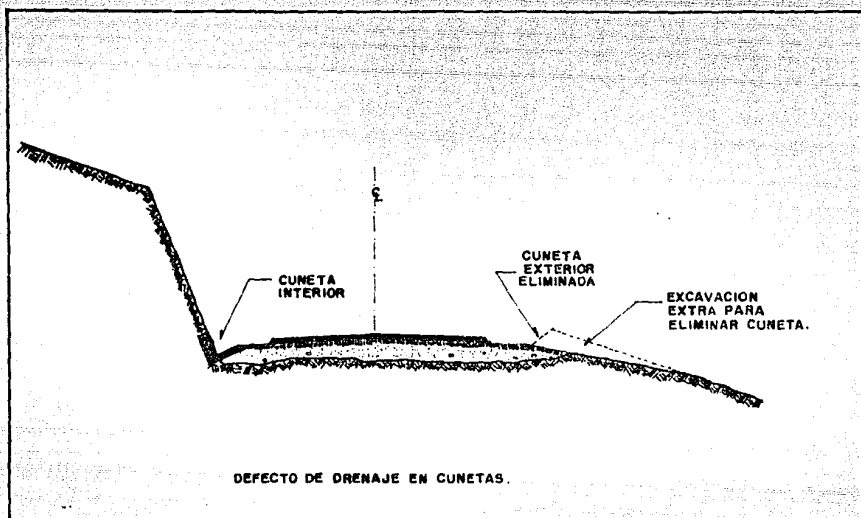
La localización de las cunetas no ofrece ningún problema es-  
pecial, pues es evidente. La forma de ellas depende de la cantidad  
de agua que escurre y del ancho del camino y sus dimensiones depen-  
den del escurrimiento.

#### CONTRACUNETAS:

Son canales destinados a evitar que el agua llegue a las cu-  
netas, cuando éstas tienen una capacidad menor que la necesaria -  
para el gasto, así como para evitar deslaves en los cortes. REF.-  
8 y 9

La localización de las contracunetas va íntimamente ligada -  
con su funcionamiento, por lo cual se colocan siempre en las lade-  
ras, del lado de agua arriba y a cierta distancia de la orilla --





del corte. Como son normales a la línea de máxima pendiente del terreno, prácticamente quedan paralelas al eje del camino. Por la razón anterior cuando el eje del camino siga la línea de máxima pendiente, no deben construirse contracunetas, pues en ese caso su funcionamiento no solamente es nulo, sino perjudicial.

Un factor que interviene en la localización de las contracunetas es el de la estratificación de las capas geológicas, pues si en la excavación de las mismas se llega a un manto poroso, por el que se filtrara el agua, se perjudicarían los cortes ocasionados deslaves y derrumbes.

Generalmente tiene forma trapezoidal con base de 30 a 50 cm. y taludes de acuerdo con el terreno; su pendiente debe ser uniforme, pues los cambios ocasionan disturbios hidráulicos y como consecuencia depósitos o deslaves y a la larga el anulamiento de su funcionamiento.

El origen de la contracuneta debe localizarse en la parte más alta de la cresta y a una distancia conveniente de la orilla del corte tomando en cuenta las consideraciones que se hicieron antes.

El desfogue de las mismas debe ser siempre libre y lo suficientemente alejado del terraplén para no ocasionar perjuicios en él. La longitud de la contracuneta deberá ser siempre la mínima, a menos que la salida este obligada, en cuyo caso deberá hacerse una correcta localización de ella sobre los planos de configuración.

#### CANALES:

Son obras de protección localizadas a las orillas del camino con el objeto de impedir que el agua llegue al camino y lo dañe. Su función es análoga a la de las cunetas, solamente que éstas casi siempre se localizan a los lados en los cortes para re-

coger el agua que escurre sobre la superficie, así como en los caminos a pelo de tierra, y aquéllos deben colocarse lo suficientemente lejos del camino para que no haya saturación de agua. Se utilizan tanto en el caso de líneas a pelo de tierra, como en el caso de terraplenes. REF. 9 y 3

Las dimensiones, pendiente y longitud de los canales deben calcularse de acuerdo con el área por drenar o sea el gasto, según los procedimientos habituales en hidráulica.

#### BORDOS:

En algunos casos, como por ejemplo en los caminos en terreno desértico o bien zonas bajas, es necesario encauzar el agua para no construir un gran número de alcantarillas de escaso gasto o porque la lámina de agua es muy extensa sin cauces definidos.

El encauzamiento se hace por medio de bordos de tierra, zanjeados o no de acuerdo con el gasto, tirante y velocidad de agua. REF. 3

#### OTRAS OBRAS AUXILIARES:

Además de las obras que se han detallado, cuya misión es defender el camino del agua, hay muchas otras obras auxiliares como muros de defensa, zanjeados, etc., especiales para cada caso particular y de los cuales no se puede hablar en general. REF. 3

#### IV.2.2. SUBDRENAJE.

El drenaje subterráneo está constituido por los dispositivos necesarios para eliminar el agua subterránea, o bien abatir su nivel hasta donde no sea perjudicial al camino.

**INFLUENCIA DEL AGUA.** El agua que se encuentra bajo la superficie de la tierra se presenta en corrientes o estancada. Cuando se en-

cuentra estancada puede apreciarse a simple vista; si no es aparentemente superficialmente entonces se encuentra con exceso de humedad de los suelos y es llamada agua capilar. REF. 9

El nivel del agua subterránea generalmente es paralelo a la superficie del terreno por lo que en terrenos planos o de lomerío suave es muy difícil averiguar a que profundidad se encuentra el agua subterránea. Cuando en un terreno hay una depresión brota un manantial, si el manto de agua subterránea es interceptado por esa depresión.

A veces el agua se encuentra formando lagunas interiores, en especie de bolsas.

#### IMPORTANCIA DEL SUBDRENAJE. REF. 3 y 9

De acuerdo con la naturaleza de los suelos es muy importante el proyecto del subdrenaje pues el exceso de agua o humedad en ellos es altamente perjudicial, ya que ocasiona reblandecimiento de los terraplenes o bases y por lo tanto baches, grietas y deslaves, así como resbalamiento del material de los taludes de los terraplenes, etc.

Existen algunos casos en los que debe estudiarse el drenaje subterráneo y son los siguientes:

- a) Estabilización de sub-base.
- b) Estabilización de base.
- c) Estabilización de taludes.
- d) Derrumbes en terraplenes.

#### SUBDRENAJE SIN OBRAS AUXILIARES:

Los métodos para subdrenar sin obras auxiliares, consisten en el aprovechamiento de las condiciones naturales del suelo para eliminar el agua subterránea o para abatir su nivel.

### ESTABILIZACION DE SUB-BASE

Para estabilizar la sub-base, existen varios procedimientos a seguir sin el empleo de obras auxiliares y son:

- a) Colocar una capa permeable sobre el terreno, con objeto de que el agua que por capilaridad ponga en peligro la estabilidad de la base, no suba al terraplén sino que escorra lateralmente.

No se ha fijado el espesor de la capa porosa, en general se recomienda sea de 15 a 60 cm., variando con cada caso. Cuando el revestimiento (base) o pavimento, permiten el paso del agua superficial, muchas veces se agrava la situación, pues el agua va aumentar la cantidad de humedad del terreno.

- b) Otro sistema consiste en la impermeabilización de la sub-base por medio de mezclas de materiales, recurriéndose -- por lo general al asfalto.

- c) Cuando se prevea que estos sistemas no son eficientes será necesario acarrear material adecuado para mejorar el que se tiene, seleccionando los bancos.

- d) Un sistema que en cualquier caso ayuda notablemente es el de compactar adecuadamente y con intervención del laboratorio, el terraplén o la cama del camino en los cortes. Y

- e) Proyectar adecuadamente las cunetas.

### ESTABILIZACION DE LA BASE.

En la estabilización de la base (o revestimiento), que es la capa que va sobre la sub-base y abajo del pavimento, se aconseja observar las siguientes reglas:

- a) Que la altura de la subrasante sea la suficiente para que el agua capilar no llegue a perjudicarla.

- b) Que haya drenes de grava o piedra, generalmente en forma triangular.

#### SUBDRENAJE CON OBRAS AUXILIARES:

Cuando los métodos aconsejados con anterioridad (sin obras auxiliares), no son efectivos hay necesidad de proyectar un drenaje parecido al superficial, será necesario crear conductos para que el agua escurra y salga o para que se abata el nivel subterráneo en forma por demás significativa.

#### TIPOS DE DRENES SUBTERRANEOS:

TUBOS. Tubos con juntas abiertas y paredes perforadas o permeables ( fig. 4.1). Estos tubos se alojan dentro de un relleno permeable que sirve como conducto para que el agua llegue al tubo y pueda salir.

ZANJAS. Consiste en abrir una zanja y poner el material permeable, suprimiendo el tubo ( fig. 4.2). Lo más aconsejable sería que la zanja tuviera la profundidad necesaria para captar el espesor total del manto de agua, pero como ésto no es posible, bastará darle la profundidad a que quiera abatirse el nivel subterráneo para que éste no sea perjudicial al camino.

En terrenos planos las zanjas se localizan a ambos lados del camino, con la pendiente necesaria para que corra el agua.

No hay método racional para calcular las dimensiones de estas zanjas. La pendiente y dimensiones dependen en gran parte de la naturaleza del terreno y de las exigencias constructivas.

Cuando la zanja va rellena de material permeable constituye un dren ciego (fig. 4.3) y se coloca dentro del propio





FIGURA 41. TUBO DE PAREDES PERFORADAS.

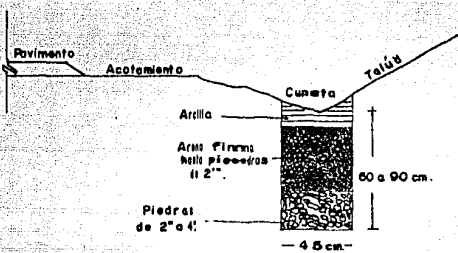


FIGURA 42. DREN CIEGO.

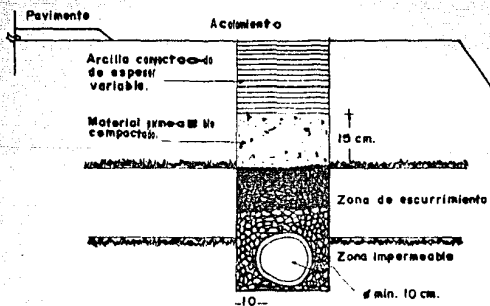


FIGURA 43. DREN DE TUBO.

terraplén o fuera de él.

Lo importante en el proyecto de drenes ciegos, es que éstos tengan pendiente adecuada, salida fácil y que la graducción del material y el tamaño de las partículas faciliten el escurrimiento.

Cuando se colocan lateralmente es conveniente poner las debajo de las cunetas, excavando las zanjas del ancho indispensable para que un hombre pueda trabajar dentro de ellas, es decir de 45 a 60 cm. y con una profundidad de 50 a 100 cm.

Con el objeto de que el agua escurra con facilidad dentro del dren, el material de relleno debe tener el más alto porcentaje de vacíos posible, por lo que se aconseja que el material sea de tamaño uniforme. Se recomienda que cuando las zanjas van colocadas debajo de las cunetas, como éstas pueden arrastrar lodo, el material de relleno se gradúe pero en capas, es decir, la capa inmediatamente abajo del fondo de la cuneta, debe ser de material fino la que a continuación, de material grueso y finalmente la que va en el fondo de la zanja, de grava gruesa o piedra quebrada hasta de 10 a 15 cm.

Si el dren va dentro del terraplén, puede ir al centro o bien transversalmente, sea perpendicular al eje del camino o bien en forma de V.

Si el dren ciego que va dentro del camino, no funciona bien, sea porque no tiene la profundidad suficiente para abatir la lámina de agua hasta el nivel deseado o porque el material de relleno se clasificó y provocó atascamientos y por lo tanto impidió la salida del agua, lejos de servir es perjudicial para la estabilidad del camino, pues forman zonas débiles en el terraplén.

### ZANJA RELLENA DE MATERIAL PERMEABLE ( CON TUBO)

En este caso el dren lo constituye propiamente el relleno de la zanja y el tubo sólo es el conducto necesario para dar salida al agua drenada. Los tubos pueden ser de barro, de concreto o de lámina corrugada. La manera de hacer llegar el agua a ellos pueden ser no poniendo juntas, o en los de barro y concreto, hacerlos porosos o finalmente haciéndoles perforaciones, siendo este sistema el más usado y el que se recomienda con frecuencia.

#### IV.3. MANTENIMIENTO.

##### IV.3.1. CONSERVACION PREVENTIVA.

En ésta categoría se clasifican los trabajos que eviten que se originan fallas que luego den lugar a reducción de la capacidad de servicio del pavimento, tales labores son las que a continuación se describen: REF. 7

**LIMPIEZA DE CUNETAS Y CONTRACUNETAS.** Es la remoción o expulsión de materiales extraños, por ejemplo: tierra, hierba, piedras, troncos que reduzcan el área hidráulica efectiva de las cunetas y contracunetas.

Las cunetas son zanjas construídas a uno o ambos lados de la carretera cuando la sección es en corte, destinadas a recoger y encauzar el agua de lluvia o de filtraciones en la pared de los cortes hacia lugares donde no tenga efecto alguno sobre la estructura del camino. REF. 9

Las contracunetas son canales construídos en la ladera de aguas arriba de una obra vial, que impiden el escurrimiento del agua en forma brusca, por así decirlo sobre las cunetas y la superficie de rodamiento tomando en cuenta también que con ello arrojan materias ajenas y lodos a dichas obras.

Ambas tienen el inconveniente de que si no se eliminan los cuerpos extraños y no se revisten o se garantizan su impermeabilidad, son contraproducentes ya que acumulan el agua y propician las filtraciones en el pavimento o en el material de talúd, según sea el caso.

Además de esta limpieza se cuidará que conservan su forma y dimensiones para la cual hay necesidad de volver a formarlas, --- cuando han perdido la sección. Con frecuencia se suelen zampear para su fácil conservación y mayor economía.

Cuando la pendiente es menor de 7 % y el tirante de agua es de 10 cm., no vale la pena zampear, pero debe conservarse en la mente que tratándose de caminos vecinales, que generalmente son de corona angosta, el zampeado de la cuneta tiene también utilización en el tránsito. Cuando la pendiente es fuerte conviene el -- zampeado, que consiste en una capa de piedra juntada con mortero de cemento, lleve dentellones al comenzar y terminar la cuneta.

**LIMPIEZA DE ALCANTARILLAS.** Es la remoción de cuerpos extraños de la misma que impiden el libre escurrimiento del agua. Se llama al cantarilla a una estructura de claro menor de 6 m. que tiene como función permitir el paso del agua de tal manera que el tránsito -- sobre una obra vial pueda ser permanente en todo tiempo o bajo -- condiciones normales o anormales previstas. REF. 9

**LIMPIEZA DE CANALES DE ENTRADA Y SALIDA.** Es la remoción de azolve o algún otro material que disminuya o tape la sección hidráulica de los cauces naturales o artificiales que conducen el agua hacia las obras de drenaje y/o hacia lugares donde no haya efectos ---- sobre la obra vial.

**DESAZOLVE DE SUBDRENES.** Es la eliminación de cuerpos ajenos del tubo conductor del subdren que obstruyen la salida o conducción -- del agua producto de infiltraciones hacia las obras de drenaje o lugares en donde el agua no influya en el comportamiento de la -- sección estructural de la carretera.

El subdren es un canal construido bajo la cuneta, que después se rellena con pétreos de granulometría definida que permita el paso del agua pero no de los sólidos, previa colocación de un tubo perforado en la parte baja del canal que conducirá el agua. REF. - 3 y 9

#### IV.3.2. CONSERVACION CORRECTIVA.

Son los trabajos tendientes a evitar posibles causas de fallas mayores en el mismo, que en futuro conduzca a reducción en la capacidad de servicios del pavimento y costos más altos de conservación o reconstrucción. REF. 7

#### REPARACION Y CONSTRUCCION DE OBRAS DE DRENAJE Y SUBDRENAJE.

Son modificaciones o reparaciones que se deben realizar a las obras mencionadas en la conservación preventiva, para obtener un funcionamiento más eficiente del sistema.

#### CONSTRUCCION Y RECONSTRUCCION DE OBRAS COMPLEMENTARIAS DE DRENAJE- ( BORDILLOS Y LAVADEROS ).

En estos casos, siempre deberá llegarse al origen de la falla con ayuda de inspecciones, sondeos y pruebas de laboratorio, para determinar las dimensiones de las fallas y los procedimientos más adecuados a seguir. REF. 9

Es por demás mencionar que las operaciones anteriores las debe realizar personal experimentado que les haga correctamente y evite, a la larga, un incremento en el costo al tener que estar reparando una falla continuamente, ya sea por mal ejecución del trabajo o no haber llegado al origen de dicha falla.

## C O N C L U S I O N E S

Sin lugar a dudas, las labores de mantenimiento que se realizan a obras de infraestructura carretera, constituyen uno de los aspectos más importantes para hacer que éstas cuenten con un nivel de servicio aceptable durante la vida útil para la cual fueron diseñadas.

La conservación periódica es vital; si consideramos que al construir una carretera y abrirla a la circulación, se piensa que se ha cumplido desde el punto de vista de ingeniería de las vías terrestres, sería un error. Se observó que carreteras que carecían de mantenimiento mínimo indispensable sufrieron fallas en un porcentaje considerable. Conjuntamente con esto, dadas las características de los caminos, el tránsito por las mismas aumenta de acuerdo al nivel económico de las poblaciones que conecta. Dicho incremento va disminuyendo las características de resistencia y calidad que el pavimento posee y a razón de la tasa de crecimiento de tráfico considerado. Dado que el tráfico aumenta día a día en peso y volumen, las carreteras existentes acusan desgaste y desperfectos y tienen que sufrir cambios en su conformación y estructuración, superficie de rodamiento y en algunos casos en lo que a drenaje y subdrenaje se refiere.

Esta tesis, ordena de manera simple y lógica los métodos y procedimientos que se siguen en el mantenimiento y/o rehabilitación de caminos y carreteras que sufren daños de diferente índole y grado, por mínimos que éstos puedan ser, crearán desperfectos posteriores a la carretera y ésta se deteriorará gradualmente hasta fallar por completo.

Se mencionaron las características que tienen los productos asfálticos y su importancia dentro de las labores de mantenimiento también se señalaron las características que deben tener los agregados pétreos al combinarse con los asfaltos en la construcción de carreteras.

Así mismo, se presentaron de manera superficial algunos de los métodos experimentales que existen para el diseño de los pavimentos de acuerdo al flujo de vehículos y a las características físicas de los mismos. Cabe señalar que no se hace un análisis muy profundo de éstos métodos, dado que esta tesis no finca su importancia en el diseño de pavimentos.

Para concluir, podemos decir que, la infraestructura carretera es con mucho, importantísima en nuestros días. Por tal, es necesario intensificar las labores de mantenimiento y/o rehabilitación en las carreteras y caminos con objeto de evitar grandes gastos e incrementar el costo vida-útil del camino en forma por demás antieconómica.

B I B L I O G R A F I A

- 1) INGENIERIA DE CARRETERAS. Osglesby Clarkson y Hewes Laurence I. 2a. Edición. México, Ed. C.E.C.S.A. 1976.
- 2) LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES. Alfonso Rico R. y Hermilo del Castillo. México, Ed. LIMUSA. 1976. V.I.
- 3) MANUAL DE CAMINOS VECINALES. Rene Etcharren C. México. Asociación Mexicana de caminos, A.C. Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A. 1969.
- 4) MECANICA DE SUELOS. Juárez Badillo E. y Rico R.A. 3a. Ed. México, Editorial LIMUSA 1978. VOL. I
- 5) PAVIMENTOS ASFALTICOS. J. Rogers Martin y Hugh A. Wallace. Madrid, Editorial Aguilar. 1962
- 6) PROYECTO Y CONSTRUCCION DE CARRETERAS. Jeuffroy Georges. Barcelona España, Editorial E.T.A. Vol. I 1972.
- 7) MANUAL DE PAVIMENTOS. Moncayo V. J. Editorial C.E.C.S.A. Ed. - 1985. México.
- 8) VIAS DE COMUNICACION. Crespo Villalaz C. 4a. Ed. México. Editorial LIMUSA. 1986.
- 9) LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES. Alfonso Rico R. y Hermilo del Castillo. México, Ed. LIMUSA. 3a. Ed. 1982 Vol. II
- 10) EMULSIONES ASFALTICAS. Representaciones y Servicios de Ingeniería.
- 11) APUNTES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS. 8º Semestre.