



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLAS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERIA
CIVIL

**“EVALUACION DE LA ESTRUCTURA DE UN
PAVIMENTO MEDIANTE EL USO DE LA VIGA
BENKELMAN”**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTA
PABLO VILLA JUAN

ASESOR
M. V. T. ALEJANDRO PERALTA ARNAUD

MORELIA MICH.,

NOVIEMBRE 2006



I N D I C E

“EVALUACION DE LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO MEDIANTE EL USO DE LA VIGA BENKELMAN”

CONTENIDO

I.- INTRODUCCION

II.- GENERALIDADES

III.- CONDICIONES ACTUALES DE LA RED CARRETERA NACIONAL

III. a DETERMINACION DE ZONAS HOMOGENEAS

IV.-METODOS, PARA LA EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

IV. a. ANTECEDENTES

IV. b. EQUIPOS DE AUSCULTACION

IV. c. VIGA BENKELMAN

V.- CRITERIO DE REPARACION DE FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

VI.- ESTRATEGIAS PARA LA CONSERVACION O RECONSTRUCCION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

CAPITULO I

I.-GENERALIDADES



CAPITULO I

I.-GENERALIDADES

La determinación del estado resistente estructural del firme de una carretera constituye una de las materias técnicas más interesantes y complejas de la ingeniería de carreteras.

Como es conocido el firme de una carretera es una estructura resistente constituida por capas de pequeño espesor (en relación a su longitud y anchura) y diferentes clases de materiales que son las encargadas de transmitir las solicitaciones producidas por el tráfico pesado al cimiento (o explanada) de la estructura. Por coste y por características resistentes, la gradación de las capas es de arriba a abajo. Arriba (más cerca de la superficie y de los vehículos) las más caras y mejores, y debajo capas de menor precio y prestaciones resistentes.

Como se ha indicado el firme es una estructura constituida por varias capas y materiales (multicapa) que al ser sometida a una determinada solicitación, normalmente una carga ortogonal al firme que produce un estado de tensiones y deformaciones, se desplaza en sentido vertical en magnitudes muy pequeñas (del orden de centésimas o milésimas de milímetro). Este desplazamiento vertical se conoce con el nombre de **deflexión**. El análisis de la estructura caracterizada por un modelo de cálculo, permite determinar el desplazamiento teórico y compararlo con el desplazamiento obtenido mediante técnicas de reconocimiento con equipos que miden las deflexiones que se producen bajo una carga de ensayo.

La deflexión es una característica de cada tipo y estado del firme que está intrínsecamente relacionada con los valores de los módulos de las capas. Existiendo una correspondencia entre los valores de los módulos y los valores de la deflexión.

Para la medida de la deflexión existen una variada gama de técnicas, Viga Benkelman, Deflectógrafos Lacroix, Curvímetros, en desuso creciente en los países técnicamente más avanzados ya que todo el desarrollo técnico de la disciplina de rehabilitación estructural de firmes y los intercambios internacionales de información se llevan a cabo desde hace años a partir de las deflexiones medidas con equipos denominados **DEFLECTOMETROS DE IMPACTO** conocidos por sus siglas inglesas como **FWD** (Falling Weight Deflectometers) que presentan dos ventajas fundamentales a la hora de practicar la ingeniería de firmes.

La primera ventaja es que el sistema de aplicación de la carga se parece mucho al de las cargas dinámicas producidas por los vehículos reales que afectan y dañan a la carretera. La escasa duración del impacto (del orden de 20/30 milisegundos) se aproxima bastante al efecto de un vehículo circulando a 60 ó 70 km/h.

La segunda ventaja es que mediante los **FWD** se mide también lo que sucede en los alrededores del punto de carga (normalmente se mide en 6, 7 ó 9 puntos situados secuencialmente a distancias entre 20 cm y 180 cm del punto de impacto). Estas deflexiones asociadas permiten estudiar el firme en su concepto de estructura multicapa (serie de capas de varios espesores y módulos) cosa que es imposible con la viga Benkelman y los deflectógrafos o curvímetros.



I. a. INTRODUCCION

La medición de las deflexiones se utiliza ampliamente para conocer la capacidad estructural de los pavimentos en campo, y dentro de la tecnología de pavimentos, particularmente en la evaluación estructural de ellos mismos existen diversas metodologías y equipos para tales propósitos.

La literatura especializada en pavimentos proporciona información acerca de la medición de deflexiones en pavimentos localizadas directamente en el punto de aplicación de la carga o alejadas de él, a partir de una carga estática conocida, de una vibratoria o de una por impulso. Las deflexiones se miden con transductores que determinan el movimiento vertical de la superficie de un pavimento ante un impacto. Actualmente, existen diversos procedimientos para la medición de deflexiones en pavimentos de concreto asfáltico, en concreto hidráulico, e incluso en una combinación de ellos. Los pavimentos rígidos pueden ser sin refuerzo, una con juntas, con refuerzo en las juntas, o concretos reforzados de manera continua.

Los ensayos realizados mediante esta metodología, son por su naturaleza denominados no destructivos NDT (Non Destructive Test).

Los ensayos no destructivos de deflexiones proporcionan información que se utiliza para la evaluación estructural de los pavimentos. Además, los resultados de dichas deflexiones pueden emplearse a su vez en las siguientes características de los pavimentos.

- a) Módulo de elasticidad de cada capa
- b) Rigidez combinada de los sistemas de pavimentos
- c) Eficiencia en la transferencia de carga en las juntas de pavimentos de concreto hidráulico
- d) Módulos de reacción de la subrasante
- e) Espesor efectivo, número estructural o valor de soporte del suelo
- f) Capacidad de carga o capacidad de soporte del pavimento

Dichos parámetros pueden utilizarse en el análisis y diseño de la rehabilitación y reconstrucción de pavimentos rígidos y flexibles

Uno de los problemas fundamentales a los que se enfrentan muchos de los países hoy en día, es la de conservación de sus carreteras, que han ido disminuyendo su nivel de servicio, ya que por el descuido de que han sido objeto, porque han superado su vida útil por el acelerado crecimiento, en volumen y en peso, del tránsito que circula por las vías terrestres, o bien por la gran extensión de las redes de carreteras. En esta última situación, la red de carreteras de México ha crecido generalmente por encima de lo que es posible administrar con métodos tradicionales fundamentados en el "sentido común" o en la "experiencia" y en conocimiento regional y nacional de quienes toman las decisiones.

El esfuerzo para la construcción de nuevas vías de comunicación se realiza en la búsqueda del desarrollo general de los países y en él se consumen los recursos que podrían emplearse en la indispensable tarea de conservación de las carreteras existentes, por lo que el estado físico de las redes se va degradando en forma inexorable. Además las necesidades urgentes de otros sectores, a los que se va teniendo que hacer frente con los recursos que se podrían destinar a la conservación, distraen la atención del problema fundamental en el uso de las carreteras, que es su conservación, por lo que el agotamiento de la riqueza impide el adecuado mantenimiento de aquellas.



Esta disyuntiva de construir y conservar se puede resolver buscando un justo equilibrio entre quienes promueven la construcción de nuevas obras y los responsables de la conservación. Tal equilibrio es imprescindible, porque tan necesario es la aparición de infraestructura nueva, como indispensable el mantenimiento del nivel de servicio proyectado para el tránsito eficiente por las vías de transporte terrestre existentes.

Por otro lado, la extensión de las redes ha motivado el deseo de sistematizar la atención que se otorga a las carreteras, buscando una organización de los trabajos que conduzca a criterios de mantenimiento preventivo en lugar de correctivo, que proporcionen elementos de decisión para clasificar las inversiones relacionadas con el estado real de los caminos. Con estos fines hay que anteponer criterios objetivos para que las operaciones por ejecutar y las inversiones por realizar, se clasifiquen fuera de la experiencia y a partir de factores de opinión subjetivos y dudosos.

Si se piensa en la conservación de carreteras, es posible llegar a la conclusión de que, independientemente de la importancia reconocida del problema, la política desarrollada suele carecer de objetivos claros. La importancia del asunto es tal, que la ausencia de una idea precisa sobre los criterios de conservación más adecuados, permiten que aparezcan motivaciones menos relevantes como principales en el diseño y aplicación de las políticas de conservación, tales como pueden ser las acciones y quejas de las comunidades más activas, las de los grupos más influyentes, la opinión general del público usuario, las manifestaciones de los medios informativos y otras, todo lo cual conduce a ciertos niveles de confusión y vacilaciones en la aplicación de una estrategia nacional nítidamente definida.

En México con las condiciones prevalecientes como son búsqueda de un desarrollo armónico, generación de riqueza y reactivación económica, tanto en el interior como hacia el exterior, parece que el objeto principal de una política de conservación debe ser optimizar el transporte de carga. A ello deben ceñirse todas las acciones de conservación y mantenimiento de carreteras. Dichas acciones deben tener como fundamento la eliminación de los sobrecostos de operación posibles, este sentido creado a brevedad la posibilidad de llegar a una verdadera estrategia de conservación.



CAPITULO II

CONDICIONES ACTUALES DE LA RED CARRETERA NACIONAL



CAPITULO II

CONDICIONES ACTUALES DE LA RED CARRETERA NACIONAL

2.1 HISTORIA DE LA RED CARRETERA NACIONAL

La red de carretera del país nace en el año de 1925, cuando la Comisión Nacional de Caminos inicio la construcción de carreteras, en ese entonces solo se contaba con brechas y veredas no aptas para la circulación de automóviles. Inicialmente la construcción de carreteras respondió a la necesidad de unir a la región central con la frontera norte y a necesidades completamente regionales, originando una red radial formada por grandes ejes troncales que enlazaron a las principales ciudades del país.

De 1925 a 1930 se construyeron 1420 km. y de 1930 a 1940, se agregaron a la red 8500 km. de carreteras, a través de los cuales quedaron comunicadas por este medio 23 ciudades con mas de 50000 habitantes. De 1940 a 1950 la red se incrementó en 11530 km. para una longitud total de 21450 km. gracias a lo cual quedó comunicado el 20 % de territorio nacional. Entre 1950 a 1960 se construyeron 23400 km. para un total de 44850 km. con lo cual fue completada el sistema carretero, enlazando así al 33 % del territorio nacional. De 1960 a 1970 la red carretera se incrementó en 26630 km. especialmente caminos alimentadores y de interconexión con la red troncal, para alcanzar una longitud de 71480 km. de 1970 a 1983 la red totalizó 210000 km.

EVOLUCION DE LA RED CARRETERA NACIONAL

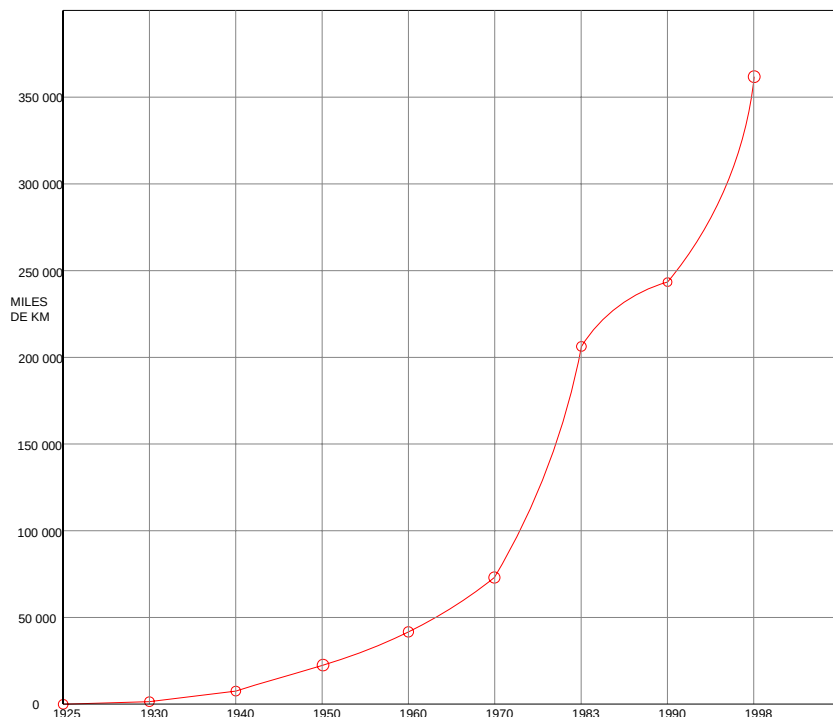


Fig. 2.1



2.2.- CONDICIONES ACTUALES DE LA RED CARRETERO NACIONAL

En la actualidad, México cuenta con una red carretero total de 329.532 km (1999), 310 000 kilómetros, de los cuales 99, 000 km . son pavimentados, 147, 000 km. son revestidos, 14, 000 km. se encuentran en terracería y los restantes 50, 000 km. son brechas. De los 99, 000 km. pavimentados, un poco mas de 45,000 km. constituyen la fracción más importante, denominada como la red carretera principal. Esta es la que mayor proporción sustenta la actividad económica del país.

Se tiene considerado que aproximadamente un 40% de la red carretera principal se encuentra en buenas condiciones (esto nos indica que solo requiere de mantenimiento normal o preventivo), un 40% en regulares condiciones (requiere mantenimiento con reconstrucciones aisladas) y el 20% en malas condiciones (requiere una rehabilitación o reconstrucción).

Como se puede observar en la figura 2.1, la gran expansión de la red interurbana culminó en los '80, después de varias décadas de intensa inversión y actividad de construcción. En nuestro país, se puede decir que el tamaño de la red se considera suficiente y que la construcción de caminos es mas bien una actividad puntual, que suele consistir en mejorar la calidad o capacidad de la red existente. Solo en muy contados casos se aumenta la cobertura física de la red, abriendo caminos donde no existan originalmente.

Por ello, si la tarea del pasado era construir un sistema de carreteras y caminos, la tarea de hoy es conservar este sistema y adaptarlo a las necesidades de los usuarios.

Desde luego, es sabido que resulta más fácil hacer algo nuevo, que conservar algo ya existente en buen estado de funcionamiento.

Tomando en cuenta que el monto de los recursos destinados a la conservación de la red troncal no ha permitido reforzar adecuadamente los pavimentos de la mayoría de las carreteras, por lo tanto, se obtienen duraciones inferiores a las del ciclo de reposición para carpetas y sellos asfálticos, agudizándose aún más el problema de la escasez de recursos. La falta de recursos oportunos ha hecho que la red carretera nacional opere con bajos niveles de servicio.

A continuación se presenta la tabla 2.1, donde se presenta la situación actual de la red carretera nacional, de acuerdo al nivel de servicio en que se encuentra operando.

NIVEL DE SERVICIO	CARRETERAS LIBRES	CARRETERAS DE CUOTA
A	14.64	45.20
B	39.66	46.11
C	24.93	1.46
D	12.79	3.13
E	7.09	0.00
F	0.89	4.09
TOTAL EN PORCIENTO	100.00%	100.00%

Tabla 2.1

La información presentada, se generó mediante la metodología presentada en la publicación “Manual de Capacidad Vial”, editada por la S. C. T., en 1995, para el cual se realizaron algunas modificaciones, de las cuales se pueden citar las siguientes:



A) El método se aplica a tanto a carreteras de dos carriles como a segmentos básicos de autopistas; así como el correspondiente para carreteras multicarril.

B) Para carreteras de dos carriles, la capacidad en condiciones ideales se considera de 2800 vph en ambos sentidos de circulación; para autopistas se tomó de 1900 vph cuando la velocidad de proyecto es menor de 90 Km./hr (terreno montañoso) y de 2000 vph cuando la velocidad de proyecto es mayor o igual a 90 Km./hr (terreno plano y lomerío).

C) La relación volumen-capacidad "v/c" se determina a partir de los promedios de velocidad observada en cada tipo de terreno y de la distancia de visibilidad de rebase en cada caso.

D) Para carreteras de dos carriles, el factor de distribución direccional se considera como 1.00, tomando una distribución del 50% en cada sentido.

E) El factor de ajuste por ancho de carril y distancia de obstáculos laterales se determina a partir de los anchos de carril y acotamientos observados; para carreteras de dos carriles varía entre 0.65 y 0.96 y para autopistas toman un valor de 1.00.

F) El ancho de corona se considera de 9.00 m. para terreno plano, de 8.00 m. para lomerío y de 7.00 m. para terreno montañoso.

G) El factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados en la corriente del tránsito se calcula por medio de la siguiente ecuación.

$$fvp = (Pp + P_B E_B + Pc Ec)^{-1}$$

Donde: Pp , P_B , Pc = Porcentaje de automóviles, autobuses y camiones en la corriente del tránsito.

E_B , Ec = Automóviles ligeros equivalentes por autobuses y por camiones

Para conocer la capacidad y los niveles de servicio que prevalecen en cada tramo de la red carretera, se consideran.

- 1) Las condiciones establecidas por las características físicas del camino.
- 2) Las condiciones que dependen de la naturaleza del tránsito vehicular en cuanto a su magnitud y tipo de vehículos.

Por capacidad se entiende el número máximo de vehículos que pueden circular por un camino durante un lapso determinado: de esta forma, los niveles de servicio son una medida cualitativa del defecto de una serie de factores, entre los cuales se pueden citar; la velocidad, el tiempo de recorrido, las interrupciones del movimiento continuo del tránsito, la libertad de manejo, la comodidad y los costos de operación; en la práctica se manejan seis niveles de servicio para identificar las condiciones de operación de un camino, que son las siguientes:



NIVEL DE SERVICIO "A".- Corresponde a una condición de flujo firme, con volúmenes de tránsito bajos; la velocidad depende del deseo de los conductores dentro de los límites impuestos y bajo las condiciones físicas de la carretera.

NIVEL DE SERVICIO "B".- Se considera como flujo estable; los conductores tienen una libertad razonable para elegir sus velocidades y el carril de operación.

NIVEL DE SERVICIO "C".- El flujo es estable; los conductores perciben restricciones tanto para elegir su velocidad, como para efectuar maniobras de cambio de carril de rebase; se obtiene una velocidad de operación satisfactoria. Es deseable que este nivel de servicio sea el más desfavorable al que puedan operar las vialidades.

NIVEL DE SERVICIO "D".- En esta condición se considera al flujo inestable; la velocidad de operación aun es satisfactoria, pero resulta afectada por los cambios en las condiciones de operación.

NIVEL DE SERVICIO "E".- Este nivel, los volúmenes de tránsito corresponden a la capacidad. El flujo es inestable y pueden ocurrir paradas de corta duración.

NIVEL DE SERVICIO "F".- Corresponde a flujos forzados, en donde los volúmenes son inferiores a los de la capacidad y las velocidades se reducen pudiendo producir paradas debida al congestionamiento.

De lo anterior, se puede observar que el "NIVEL DE SERVICIO "A" es el mejor y el NIVEL DE SERVICIO "F" es el más inconveniente, siendo el NIVEL DE SERVICIO "E" el que marca la capacidad de la vía.



CAPITULO III

CAUSAS QUE ORIGINAN LAS FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES



CAPITULO III

CAUSAS QUE ORIGINAN LAS FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

3.1. – GENERALIDADES

Un pavimento puede definirse como la capa o capas de materiales apropiados, comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento, cuyas funciones principales son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y texturas apropiados, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como la de transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito.

Generalmente y para fines meramente prácticos a los pavimentos se pueden dividir de acuerdo a su constitución y comportamiento, en dos grandes grupos; **los pavimentos Rígidos y los pavimentos Flexibles**.

Los pavimentos Rígidos son aquellos que debido a los materiales que los constituyen, después de sufrir una deformación no son capaces de recuperar su deformación original cuando cesa la carga que produce la deformación. El ejemplo más típico de estos son los pavimentos de concreto hidráulicos.

Los pavimentos flexibles son aquellos que dentro de su límite de capacidad, pueden volver a recuperar su forma original al término de la aplicación de una carga. Un ejemplo de estos pavimentos son los construidos a base de una carpeta asfáltica.

Para la realización de este trabajo solo se tomaron en cuenta, los pavimentos flexibles ya que estos constituyen aproximadamente un 96% de nuestra red carretera. La forma adecuada y en orden ascendente de la constitución de estos pavimentos es la siguiente: Terreno de cimentación, terracerías, la capa de subbase, la sub-base, la base y la carpeta asfáltica, esta última es apropiadamente la superficie de rodamiento.

3.2.-TERRENO DE CIMENTACION

En toda obra civil es de gran importancia el terreno de cimentación, puesto que es el terreno el que soporta las fuerzas que le transmite a las terracerías, en ocasiones estos esfuerzos terminan por producir deformaciones en el terreno de cimentación, que sin duda repercuten en las terracerías.

Existen otros dos factores que afectan a la obra vial, los climatológicos (lluvias, heladas, viento, etc.) y los efectos de la superestructura (obras de drenaje y subdrenaje).

El terreno de cimentación, puede estar constituido o de roca o de suelo, como la roca es muy resistente en comparación con el suelo, lo que nos interesa es el suelo, aunque existen algunos suelos que generalmente no presentan problemas, como los friccionantes (gravas, arenas y limos) no plásticos o las mezclas en que estos predominen.

Una de las principales causas que originan las fallas en el terreno de cimentación son las sobrecargas las cuales provocan asentamientos.



Los asentamientos son un problema serio que se presenta en el suelo de cimiento fino y comprensibles al recibir la sobrecarga que producen los terraplenes, estas sobrecargas producen defectos como las siguientes: Pérdida de bombeo (puesto que la presión es mayor en el centro del terraplén los asentamientos mayores son en el centro), variación en los asentamientos diferenciales (se presenta por la gran variedad de los materiales que se emplean en la construcción de los terraplenes), disminución de la altura del terraplén (esto se presenta debido a los asentamientos uniformes de la estructura), agrietamiento de la corona del terraplén (se presenta cuando la corona es ancha y tiene bermas el terraplén). Para evitar estos asentamientos de los terraplenes existen métodos para cimentarlos sobre terrenos muy blandos.

Existen métodos para calcular los asentamientos y resistencia del terreno natural o de cimentaciones, los cuales no se analizan en el presente trabajo, pero se pueden consultar en algunos tomos de Mecánica de Suelos.

3.3.- FALLAS DEL PAVIMENTO A CAUSA DE LAS TERRACERIAS

Un sin número de casos de deterioro de la superficie de rodamiento, son a causa del empleo de materiales inadecuados en la constitución de los terraplenes, por falta de compactación o debido al exceso de humedad de estos.

Las deficiencias que se producen en los terraplenes, no siempre se corrigen con la reconstrucción de la superficie de rodamiento, también en algunos casos se deben realizar investigaciones o pruebas de laboratorio para saber si existen en las terracerías exceso de humedad, fango o la existencia de cualquier otro material que baje la resistencia de estas.

La resistencia de los suelos al esfuerzo cortante no siempre es requisito fundamental en la construcción de terracerías, ya que los esfuerzos que en estas se producen son solo los transmitidos por el pavimento, que generalmente están por debajo de su capacidad de resistencia, esto significa que es difícil que lleguen a fallar los materiales que constituyen a las terracerías.

Uno de los requisitos básicos en la aceptación o el rechazo de un material para terracerías es sin duda su deformabilidad, ya que de las deformaciones depende su buen comportamiento como soporte de los pavimentos.

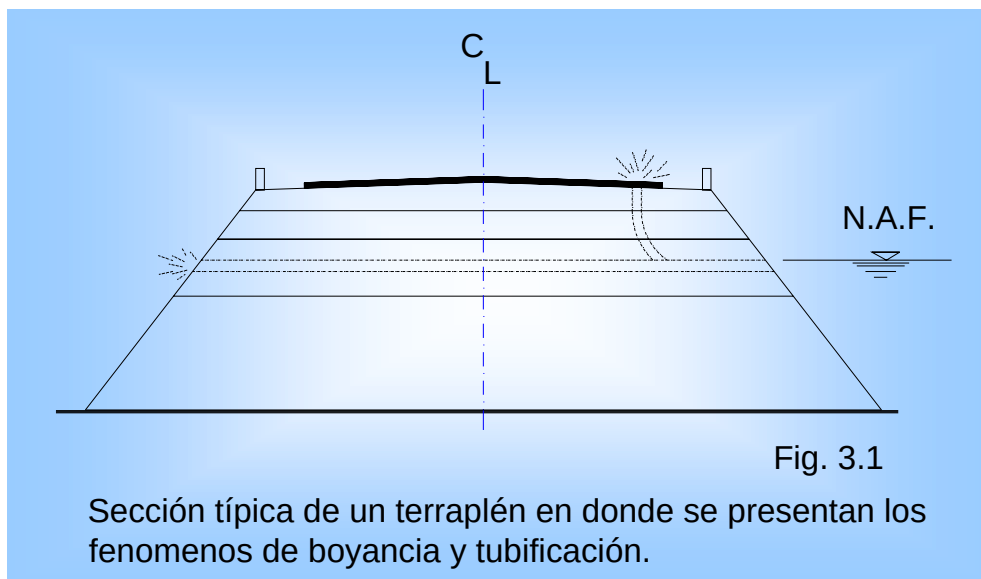
Cuando en un terraplén predominen los fragmentos grandes y medianos, se dice que son deformables estructuralmente, ya que estos fragmentos presentan una gran dificultad para su acomodo y los vacíos que frecuentemente quedan entre un fragmento y otro, provocan que la resistencia del terraplén disminuya. Aunque en la actualidad existe una gran variedad de maquinaria bastante aceptable para la construcción de terraplenes de enormes alturas, así como también para los pedraplenes.

Para evitar que se presenten problemas a lo largo de la vida útil de un terraplén, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes prohíbe el uso de algunos materiales como son, los suelos finos de alta compresibilidad (limos inorgánicos MH, limos y arcillas orgánicas OH y arcillas inorgánicas CH), así como también los materiales que reciben el nombre de Turbas.

Cuando las arenas o los limos se encuentran sueltos a veces presentan problemas de erosión y de algunos asentamientos bruscos. Generalmente estos asentamientos están asociados al movimiento del agua en el subsuelo, por saturación del agua que se infiltra por la superficie o por ascenso del nivel freático, los asentamientos o deformaciones que sufren el terraplén y la

capa subrasante son producidos por algunos fenómenos como los denominados de boyancia y tubificación.

- El fenómeno de boyancia: se produce cuando el suelo pierde total o parcialmente su capacidad de carga al vencer el flujo ascendente del agua, el peso de las partículas. Este problema depende de la altura del terraplén, ya que a mayor altura es más difícil que el flujo ascienda.
- El efecto de la tubificación: se presenta cuando el agua se infiltra a través de la cimentación de manera que se presenta un arrastre de partículas. Los suelos en que más comúnmente se presenta este fenómeno son los fricciones finos permeables, sin cementación y con un índice plástico menor del 10%.



- El efecto de licuación: un sismo, produce una sollicitación rápida que pueda producir dramáticas fallas que se denominan genéricamente efectos de licuación, este fenómeno es común en suelos como las arenas saturadas que se encuentran relativamente sueltas, limos no plásticos y suelos lacustre o mares.

Al producirse un sismo las presiones del agua aumentan a un ritmo tal que las presiones no alcanzan a disiparse por las salidas de agua que tiene la estructura del material (poros). Al incrementarse las presiones interiores del agua, debido a esto la masa adquiere gran viscosidad y se comporta como un material “Elastoplástico”, fluyendo bajo la acción de las cargas que provocan el fenómeno.

Para impedir el fenómeno de la licuación es necesario compactar los terrenos susceptibles a tal fenómeno, aun cuando esto incrementa los costos de los caminos. También para prevenir la licuación puede irse construyendo por etapas el terraplén, para que el terreno de cimentación se vaya consolidando bajo la carga de este.

3.4.- ANALISIS DE LA CAPA SUBRASANTE

La capa subrasante es la capa superior de las terracerías de ahí que muchas veces no se construye con material diferente al de las terracerías y se distingue solo por un mayor tratamiento de compactación.



Las funciones principales de la capa subrasante son dos, una de carácter económico y otra de carácter mecánico estructural. Para este caso nos interesa más la de carácter mecánico estructural por lo que solamente se tocará de forma superficial la de carácter económico.

La capa subrasante se encarga de recibir los esfuerzos transmitidos por la capa superior y soportar dentro de los límites tolerables de resistencia y deformidad previstos por el diseño del proyecto.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes en sus especificaciones hasta cierto punto confiables ha establecido para la capa subrasante un espesor mínimo de 30 cm. y un espesor máximo de 50 cm. en caminos en que es tránsito promedio anual sea alto o en lugares en donde el material de terracerías no sea de confiar. Así mismo no debe tener partículas mayores de 3" (7.6cm). Eliminando los suelos finos (MH y OH) cuyo límite líquido sea mayor de 100% y todos los suelos orgánicos con límite líquido mayor de 50% (OH), grado de compactación de 95% respecto al peso volumétrico seco máximo del material en uso. Por último se recomienda que como mínimo el material de un valor relativo de soporte (VRS) de 5% mínimo (expansión <5%). *Cabe mencionar que el I.M.T. a editado un manual de recomendaciones, en donde propone sean utilizados materiales de mayor calidad.*

La consideración de carácter económico consiste en suponer que la subrasante, es de un espesor suficiente y su calidad permitirá importantes ahorros en los espesores de las capas del pavimento subsecuentes, sin perjuicio de la función estructural en conjunto, pues será capaz de absorber niveles de esfuerzos relativamente altos provenientes de la superficie y transmitirlos completamente disminuidos a las terracerías. Desde este punto de vista económico resulta de igual calidad y espesor, es sabido que los materiales que se utilizan en la capa subrasante no son de la mejor calidad, de tal manera que su contribución descansa más en el espesor que en su calidad.

- La capa subrasante al igual que las terracerías pueden provocar la falla de un pavimento, generalmente a causa de el empleo de materiales de calidad inadecuada o por una falta de compactación de estos.

3.5.- ANÁLISIS DE LA SUB-BASE.

La capa de sub-base, en pavimentos flexibles, tiene como principal objeto abaratar los costos del pavimento. Si el espesor de la base es más de 20 cm, conviene sustituir parte del espesor con un material de menor calidad, que se encuentra fácilmente en la localidad. Para obtener una buena calidad en la sub-base se deben cumplir con los siguientes requisitos:

- 1.- Una cuidadosa selección de los materiales empleados.
- 2.- Un tratamiento adecuado de ellos desde que son extraídos de los bancos previamente fijados, hasta que son compactados en el camino.
- 3.- Un diseño racional de los espesores de las capas, en función de las características de la subrasante y del tipo y frecuencia de las cargas que va a soportar el pavimento.

Además de estas funciones que son comunes en la capa subrasante, podrá tener una o varias de las siguientes funciones.



A).- Actuar como aislante que impida la ascensión de finos arcillosos de la subrasante para evitar la contaminación del material de la base del pavimento con dichos finos, ya que ocasionaría en presencia de agua, un descenso de la capacidad de carga de la base.

B).- Abaratar el costo de la construcción ya que se utilizan materiales con especificaciones de calidad menos rigurosas que las de la base del pavimento y por regla general se obtienen a menor costo.

D).- Cortar la ascensión capilar del agua a las capas superiores de la estructura del pavimento.

D).- Actuar en ciertos casos como dren para evitar la saturación de la subrasante a causa de el agua que en ocasiones se pudiera percolar por la falta de impermeabilidad de la carpeta asfáltica.

Para que puedan cumplirse las funciones de la sub-base, además de las consideraciones anteriores se deberá además compactar con la humedad cercana a la óptima hasta obtener como mínimo un 95% de su peso volumétrico. También la S.C.T. proporciona ciertos requisitos que deben de cumplir los materiales, por ejemplo los siguientes básicos:

Contracción lineal.....	4.5 Max.
Valor relativo de soporte.....	50 Min.
Equivalente de arena.....	20 Min. Tentativo.
% de compactación.....	95%

La S.C.T. utiliza materiales con productos asfálticos, cemento o cal, cuando los suelos a utilizar no satisfagan por si mismos los requerimientos generales, concretamente de plasticidad, equivalentes de arena y límites de plasticidad.

- Una causa que sin duda alguna es causante de algunas fallas y deformaciones en los pavimentos, es la penetración de agua a las capas inferiores como lo es la sub-base.

3.6.- ANÁLISIS DE LA BASE HIDRAULICA

Al igual que la sub-base, la base cumple una función económica, pues permite reducir el espesor de la carpeta, que es lo más costoso, pero la función fundamental de la base de un pavimento flexible es estructural y consiste en proporcionar un elemento resistente a la acción de las cargas del tránsito y capaz de transmitir los esfuerzos resultantes con intensidades adecuadas, la base tiene también una función drenante para ser capaz de eliminar fácil y rápidamente el agua que pudiera infiltrarse a través de la carpeta, así como impedir radicalmente la ascensión capilar del agua que provenga de niveles inferiores.

Las características de un material para base de un pavimento flexible es que debe ser friccionante y con una relación de vacíos baja. Para que de esta manera quede garantizada la resistencia estructural al variar las condiciones circunstanciales tales como un sismo o el agua.

La S.C.T. en el libro correspondiente a las especificaciones de los materiales para base hidráulica, propone los siguientes lineamientos:

Una granulometría casi igual que para la sub-base con excepción en que en la curva granulométrica debe quedar alojado en la zona 1 y 2, aceptándose la zona 3 en casos especiales.



Cuando sea necesario tener una buena estabilidad en la base se debe tener mucho cuidado en los porcentajes de finos a emplear, ya que de lo contrario será contraproducente, ya que esta llevaría una falla segura en el pavimento.

Se tiene una exigencia de un 5% de material fino, como mínimo y valores del orden del 18% o 20% como máximo.

Límite líquido 30% máximo y contracción lineal en la zona 1 a 4.5 m máximo, en la zona 2 de 3.5 m máximo y en la zona 3 de 2.0 m máximo. El valor relativo de soporte depende de la intensidad del tránsito si es de hasta 1000 vehículos pesados al día su V.R.S será como mínimo de 80%. Su equivalente de arena sea de 30 mínimo el índice de durabilidad (tentativo) será de 35 mínimo y un porcentaje de compactación de 95 a 100%. Cuando la intensidad del tránsito sea mayor de 1000 vehículos al día el V.R.S. recomendable será de 100 mínimo, el equivalente de arena de 50 mínimo, el índice de durabilidad de 40 mínimo y el porcentaje de compactación de 100%.

- Una de las causas principales de falla en la base hidráulica es el empleo de materiales de calidad inadecuada, esto conduce a deformaciones del pavimento, por lo que a continuación se presentan los materiales, que se deben de emplear en la construcción de sub-base y bases:

1.- Materiales que no requieren tratamiento. Son los poco o nada cohesivos, como los limos, arenas y gravas, que al extraerlos quedan sueltos y no contienen más del 5% de partículas mayores de 2".

2.- Materiales que requieren ser disgregados. Son los tezontles y los cohesivos como tepetates, caliches, conglomerados, aglomerados y rocas muy alteradas, que al extraerlos resultan con terrones y que una vez sometidos a la acción del equipo de disgregación, no contienen mas de 5% de partículas de 2".

3.- Materiales que requieren ser cribados. Son los poco o nada cohesivos, como mezclas de gravas, arenas y limos, que al extraerlos quedan sueltos y con contenido entre el 5% y el 25% de material mayor de 2"; deben ser cribados por la malla de 2" para eliminar los materiales no deseados.

4.- Materiales que requieran ser triturados parcialmente y cribados. Son materiales poco o nada cohesivos, como las mezclas entre gravas, arena y limos, que al extraerlos quedan sueltos y contienen mas del 25% de partículas mayores del 2"; deben triturarse y cribarse por la malla de 1 1/2"; también pueden ser tezontles y materiales cohesivos, como tepetates, caliche, conglomerados, aglomerados y rocas alteradas que al extraerse resulten con terrones que puedan disgregarse por la acción del equipo mecánico y que posteriormente a dicho tratamiento contienen mas del 5% de partículas mayores de 2" debiendo triturarse y cribarse por la malla de 1 1/2", sin que previamente deban disgregarse por la acción del equipo mecánico.

5.- Materiales que requieran trituración total y cribado a través de la malla 1 1/2". Son los que proviene de piedra extraída de montos de roca, piedra de pepena, piedra de depósitos naturales o desperdicios.

Las ventajas que presentan los materiales que se obtienen de trituración son muchas, una de estas es que la trituración produce fragmentos angulosos, que aumentan la fricción interna



entre las partículas y con esto se obtiene un mejor acunamiento, lo cual, produce una mejor estabilidad del material compactado.

3.7.- CARPETAS ASFALTICAS

La carpeta asfáltica es la parte superior de la estructura del pavimento que sirve como superficie de rodamiento a los vehículos, tiene como principal función transmitir a las capas inferiores del pavimento las cargas impuestas por ellos. La carpeta asfáltica es colocada sobre la base hidráulica y en algunas ocasiones sobre una base asfáltica, pueden realizarse de cualquiera de las siguientes maneras: por el sistema de riegos, por el sistema de mezcla en el lugar y mediante concreto asfáltico elaborado en planta estacionaria en caliente; pero independientemente de ello, deben llenar los siguientes requisitos; no desplazarse ni disgregarse por la acción del tránsito, tener suficiente resistencia al intemperismo y soportar pequeñas deformaciones sin agrietarse.

Una de las principales causas que provoca que las carpetas fallen es, que en la actualidad la S.C.T. permite que los pesos y dimensiones de los vehículos de carga sean de grandes magnitudes, lo que le transmite una mayor carga a los pavimentos. Lo anterior aunado a los factores topográficos y climatológicos tan desfavorables en nuestro país, provocan fallas en la superficie de rodamiento, que se pueden manifestar mediante la presencia de “Distorsiones”, “Agrietamientos” de la carpeta (los criterios de reparación para este tipo de fallas se presenta con mayor detalle en el “Capítulo V”).

CARPETA A BASE DE RIEGOS: A este tipo de carpetas también se le llama de tratamiento superficial, se construyen colocando el material pétreo previamente clasificado, sobre una base impregnada a la que se le ha dado un antes una aplicación de producto asfáltico. Esta capa de material pétreo se compacta con aplanadora de rodillo liso, para buscar una trabazón mecánica que impida la desintegración de la carpeta, ayudada por la acción cementante del asfalto. Cuando la carpeta se construya por el sistema de 2 o más riegos, sobre el material pétreo que constituye la primera capa, se aplica un riego asfáltico que es cubierta por el material pétreo clasificado de menor tamaño, el cual se acuña entre los huecos que quedaron, y que posteriormente es compactado. En una forma semejante se construyen los siguientes riegos.

CARPETA DE MEZCLAS EN EL LUGAR.- Se construyen acamellonando el agregado pétreo (de granulometría grueso o fina) sobre el lugar y aplicándole con una petrolizadora la cantidad de asfalto (emulsión) que previamente se cuantifica en gabinete, a base de pruebas de laboratorio. Mezclándolos con una motoconformadora o equipo especial de mezclado. Después de evaporar el agua excedente, se tiende y compacta la mezcla al espesor calculado. La cantidad de asfalto varía de acuerdo a la granulometría y puede variar de 3 a 6%. Estas carpetas pueden tener un espesor de 4 a 7 cm.

Su calidad es superior a la de los tratamientos superficiales. Este tipo de carpetas no debe usarse para categorías de tránsito pesado y continuo como por ejemplo; Avenidas, estacionamientos industriales, calles y estacionamientos de mercados de abastos, Calzadas y calles comerciales donde transiten muchos autobuses, Carreteras urbanas y Autopistas.

CARPETAS DE MEZCLA EN PLANTA ESTACIONARIA (también se les conoce como planta en caliente): En estas plantas se cuenta con un secador, para eliminar la humedad del material pétreo y permitir la dosificación en tres o cuatro tamaños que se almacenan en tolvas diferentes. Dosificando por peso o por volumen en los materiales de distintos tamaños y el

asfalto, se logra una producción u niforme de la mezcla asfáltica que es elaborada en un recipiente de dos sistemas de aspas que giran en sentido contrario. En este tipo de mezcla, como el agregado pétreo se calienta, se pueden emplear asfaltos de mayor viscosidad, como el cemento asfáltico núm. 6 (es el más empleado en México). El tendido de la mezcla se efectúa mediante una maquina coladora de concreto asfáltico (finisher). Este tipo de carpetas es con las que se logra una mayor calidad, aunque también son las de mayor costo.

Se ha observado que un cm de carpeta asfáltica puede equivaler estructuralmente hasta 2 cm. de base hidráulica en grava equivalente.

Las carpetas asfálticas de mezcla en el lugar y las de mezcla en caliente o de concreto asfáltico, deben de recibir un riego de sello, para impermeabilizar o para utilizar en la rehabilitación de una superficie reseca y desgranada.

Los riegos de sello pueden ser de dos clases:

- a).- De tratamiento superficial
- b).- De mortero asfáltico.

En las emulsiones asfálticas al evaporarse el agua agregada y la de emulsión, el agregado queda cementado con el asfalto, que dando una capa sellante de 3 mm de espesor aproximadamente dando a la superficie un acabado antiderrapante.

El tipo y volumen del tránsito influye en el tipo de mortero asfáltico y también las condiciones climatológicas del sitio. El sello de mortero asfáltico "Superficie General", es el más usado en la construcción de carpetas nuevas. El otro "Superficie Fina", es adecuado para carpetas agrietadas ya que penetra mejor.





En esta figura 3.5 se presenta una maquinaria terminadora (Finisher) que son parte importante en la construcción de una carpeta en planta estacionaria.



Fig. 3.5





3.8.- DRENAJE

Como ya se ha mencionado con anterioridad el agua es el principal enemigo de los caminos, pues a causa de ella se ocasionan fuertes fallas en los pavimentos y por tal motivo se le concede una gran importancia al proyecto y diseño de obras de drenaje y sub-drenaje.

El drenaje del camino tiene por objeto evitar, tal o parcialmente, que el agua llegue al camino y que el agua que logre llegar, tenga una salida fácil y rápida.

Un buen drenaje debe cumplir con las siguientes funciones para evitar que falle el pavimento:

1.- Evitar que el agua circule sobre la superficie del camino en cantidades excesivas, ya que esto ocasionaría estacionamientos del agua en zonas erosionadas, dando lugar a la deformación de "baches" y por consiguiente a la destrucción del pavimento.

2.- Evitar que el agua de las cunetas remoje y reblandezca las terracerías, disminuyendo la resistencia al esfuerzo cortante y originando asentamientos que puedan llevar a la destrucción del camino.

3.- Evitar que los cortes en suelos no muy buenos se saturen, con peligros de derrumbes, deslizamientos, fallas, etc.

4.- Evitar que el agua de arroyos sea remanzada por los terraplenes, existiendo peligros de deslaves.

5.- Evitar que el agua subterránea ascienda hasta la subrasante, originando el deterioro del camino.



3.8.1. DRENAJE SUPERFICIAL

El drenaje superficial es el destinado a captar y eliminar las aguas que corren sobre el terreno natural o sobre la estructura del camino, por lo general estas aguas proceden de las lluvias, aunque en ocasiones estas provienen de inundaciones de corrientes fluviales o de manantiales. Las obras de defensa recomendables para cortes con contracunetas y cunetas, para terraplenes son alcantarillas, ya sean de concreto, mampostería o lamina de acero corrugado, los lavaderos y bordillos.

LAS CUNETAS.- Son canales que se adosan a los lados de la corona de la vía terrestre, en el lado del corte en secciones de tal naturaleza; en cortes en balcón hay entonces cuneta en un solo lado y en cortes en cañón, en los dos lados. La cuneta se dispone en el extremo del acotamiento, en contacto inmediato con el corte. Su situación le permite recibir los escurrimientos de origen pluvial propios del talud y los del área comprendida entre el coronamiento del corte y la contracuneta, si la hubiere o en el terreno natural aguas arriba del corte, si no hay contracunetas. También puede recibir la cuneta agua que haya caído sobre la corona del camino. Cuando la pendiente transversal de esta tenga la inclinación apropiada para ello.

La capacidad hidráulica de la cuneta como canal define principalmente la posibilidad de cumplir su función de canalizar y eliminar con rapidez el agua que colecte. El agua por drenar depende del área de influencia, del coeficiente de escurrimiento y de la intensidad de lluvia durante un tiempo igual al de concentración.

La pendiente longitudinal mínima que debe existir en una cuneta es de 0.5%. La velocidad con la que el agua circule sobre ella debe quedar comprendida entre los límites de depósito y erosión, ambos indeseables.

Las cunetas se construyen de sección trapezoidal o triangular. En la práctica mexicana, la triangular es con mucho la más frecuente. El talud hacia la vía es como de 3:1, preferentemente 4:1 y el del lado del corte sigue sensiblemente la inclinación de este. Se prevé una lámina de agua de no más de 30 cm.

Las cunetas usualmente se revisten de mampostería o concreto hidráulico. En el primero caso suele utilizarse mortero con proporción 1:4 (90 kg. De cemento por cada m³ de mampostería) en el segundo pueden utilizarse losas coladas en el sitio o precoladas. La menor rugosidad del concreto lo hace más eficiente hidráulicamente que el zampeado de mampostería; con el concreto puede también construirse con mayor rapidez. Las losas usadas suelen tener alrededor de 1 m. de longitud con juntas selladas, para evitar la infiltración del agua.

En algunas ocasiones también se utilizan las cunetas en terraplenes, esto sucede generalmente cuando se presentan terraplenes en curva y con escurrimientos del lado contrario de la curva.

- Para evitar que las cunetas le causen algún problema a la superestructura de un camino, es necesario realizar periódicamente una limpieza de ellas, para evitar que su área hidráulica disminuya y sea suficiente, en el caso de las lluvias.

CONTRACUNETAS.- Son canales excavados en el terreno natural o formados por pequeños bordos, que se localizan aguas arriba de los taludes de los cortes, cerca de estos, con

la finalidad de interceptar el agua que escurre ladera abajo desde mayores alturas, para evitar erosión de talud y el congestionamiento de las cunetas y la corona del camino por el agua y su material de arrastre.

La contracuneta se construye a una distancia variable del coronamiento del corte y que depende de la altura de este; se trata de que entre la contracuneta y el propio corte no quede área susceptible de generar escurrimientos no controlados de importancia y, a la vez, no colocarla demasiado cerca del corte, a fin de facilitar su trazo y permitir que se desarrolle sobre terreno que no se vea afectado por pequeños derrumbes que pudieran llegar a presentarse, pequeños abatimientos o trabajos de macice que eventualmente hayan de hacerse, etc. En cortes de altura normal es frecuente que la contracuneta se encuentre a una distancia del coronamiento del corte comprendida entre la altura del mismo y la mitad de ese valor; en cortes altos, el punto más próximo de la contracuneta puede estar a unos 8 ó 10 mts. del coronamiento del corte.

La profundidad de las contracunetas está comprendida entre los 40 y 60 cm., la plantilla del canal trapecial está comprendida entre 60 y 80 cm. (no es recomendable profundizar demasiado ya que esto ocasionaría deslizamientos) y sus taludes deben de ser sensiblemente iguales a los del terreno natural.

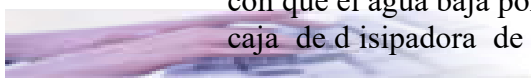
El desarrollo de la contracuneta debe de ser sensiblemente paralelo al propio corte. Si la loma donde se realizó un corte es muy escarpada, un trazo paralelo podría dar lugar a pendientes excesivas en las contracunetas, por lo que en ese caso su trazo deberá de ceñirse más o menos a las curvas de nivel de la superficie de la loma, alejándose los extremos de las contracunetas del camino; obviamente estos extremos deberán trazarse cortando dichas curvas de nivel, de modo que el canal vaya teniendo una pendiente apropiada.

Una zona crítica en estas estructuras es la unión entre una contracuneta o cuneta y el correspondiente lavadero, pues en ella existe el riesgo de que el agua se introduzca bajo el lavadero, erosionando y disminuyendo su sustentación, con riesgo de falla, para evitar este peligro es recomendable que esa zona de unión sea amplia y sin quiebres, que el lavadero tenga un dentellón de entrada para protegerlo del efecto de filtración, dicho dentellón podría tener tan pequeña profundidad como 50 cm. el lavadero debe ser de sección holgada, que evite derrames y que tenga una descarga apropiada que anule los efectos de erosión regresiva en su pie, que han causado serias fallas.

LAVADEROS.- Los lavaderos son canales conectados con los bordillos y bajan transversalmente por los taludes, con la misión de conducir el agua de lluvia que escurre por los acotamientos hasta lugares alejados de los terraplenes, en donde esta agua sea inofensiva. En general son estructuras de muy fuerte pendiente y en esta circunstancia radica la mayoría de los peligros que los aquejan.

Cuando se dispone en los caminos están sobre los terraplenes, sobre los lados en terraplén de cortes en balcón (generalmente a la entrada y salida) o en los lados interiores de curvas, cuando corresponden a secciones también en terraplén. En tramos en tangentes suelen disponerse cada 60 ó 100 m. pero esta separación puede ser variable, dependiendo de la pendiente longitudinal de la vía terrestre y del régimen de precipitación pluvial en la zona.

- Uno de los problemas que tienen los lavaderos es que las fuertes velocidades con que el agua baja por él haría en principio necesaria la construcción de una caja dissipadora de energía al pie del mismo, con el objeto de evitar



erosiones del propio lavadero al pie del terraplén; la alternativa sería la de prolongar el lavadero en forma de un abanico de amortiguación y en la longitud suficiente. La construcción de la caja disipadora será quizá todavía más imperativa si en lugar de utilizar bajada abierta se proveyese al lavadero de un tubo de caída. Una solución tan completa desde el punto de vista hidráulico resultaría demasiado costosa, por lo que desde las primeras investigaciones sobre estos temas se procuró hallar otra solución diferente que amortiguase la energía adquirida por el agua en la bajada a menor costo, la solución parece ser dar gran rugosidad a la plantilla del lavadero provocando un flujo de bajada fuertemente turbulento, con arrastre de aire en la vena líquida, lo que parece reducir la energía de la bajada en forma suficiente. La mampostería muy rugosa o el escalonamiento de la plantilla parecen producir muy buenos resultados.

Los lavaderos se construyen muy frecuentes de mampostería con junteo de lechada de cemento con proporción de 1:4. También hacen de concreto, como se dijo y finalmente, se construyen de media sección de tubo de lamina galvanizada corrugada con juntas atornilladas; en este último caso, el tubo debe salir de una plantilla de mampostería o de concreto, con estos materiales deberá construirse la entrada, así como rematar en el final de la bajada; es muy recomendable que en las zonas intermedias de su desarrollo, el tubo de amarre con silletas de mampostería.

El costo de conservación de los lavaderos es alto y la vigilancia que sobre de ellos ha de ejercerse, intensa, pues es frecuente que sufran distorsiones por todos los movimientos que son comunes en los taludes de los terraplenes, aun en buenas condiciones de estabilidad.

LAS ALCANTARILLAS.- Son conductos cerrados que se construyen transversalmente a un terraplén y por debajo de este con objeto de conducir el agua de lluvia proveniente de una pequeña cuenca, o de cunetas o contracunetas hacia un cause natural. Si una alcantarilla es insuficiente hidráulicamente producirá al almacenamiento del agua, aguas arriba del terraplén (en este caso los efectos serán seguramente destructivos), el almacenamiento tiende a producir filtraciones al cuerpo del terraplén con peligro de tubificación si el material que lo construye es susceptible o no ha sido bien compactado; a este respecto una zona crítica es la más próxima a la estructura de la alcantarilla, pues en ella se dificulta la compactación del material de abrigo, siendo este un punto importante a cuidar en la construcción. Con la infiltración del agua se satura el terraplén y las capas del pavimento, esto provoca una disminución de su resistencia al esfuerzo cortante, propiciando así fallas por deslizamientos y asentamientos en el propio cuerpo de la estructura de tierra. La colocación de las alcantarillas respecto a la dirección del agua que reciben es importante para evitar erosiones que, en ocasiones llegan a destruir las obras y los terraplenes; por lo que se deberá tener cuidado en los cambios de dirección y la llegada del agua con velocidad excesiva, también es importante que la alcantarilla quede bien ubicada en el fondo de la barranca o bajo por el que fluyan las aguas; ya que de no colocarse de esa manera se formará un embalse y provocaría la falla de la estructura.

- Dos de las causas principales que originan que las alcantarillas fallen son las siguientes: la falta de limpieza provoca el azolve de ellas y cuando los terraplenes se colocan sobre terrenos muy blandos y comprensibles, sus asentamientos resultan muy perjudiciales para las obras de drenaje que hayan de hacerse en ellos; ya que estos asentamientos disminuyen el área hidráulica cuando son rígidas o las deforman más allá de lo tolerable cuando son flexibles.



BORDILLOS.- Los bordillos son estructuras que se colocan al lado exterior del acotamiento en las secciones en tangente, en el borde opuesto al corte, en las secciones en balcón o en la parte inferior de las secciones de terraplén en curva. Son pequeños bordes que forman una barrera para conducir el agua hacia los lavaderos y las bajadas, evitando erosiones en los taludes y la saturación de estos por el agua que cae sobre la corona del camino.

En México la sección que generalmente se utiliza para construir bordillos es la trapecial, a base de concreto asfáltico o hidráulico.

La altura del bordillo debe ser suficiente para que no sea rebasado por el agua almacenada, pero no debe rebasar ciertos límites, arriba de los cuales crea una sensación psicológica de confinamiento que es inconveniente para el vehículo que ha de estacionarse en el acotamiento eventualmente o para que circule por él; generalmente la altura del bordillo oscila entre 12 y 15 cm.

Cuando se utiliza el concreto asfáltico es importante un adecuado control de la temperatura; ya que valores adecuados de estas conducen a obras sin la debida liga, que al paso del tiempo se desintegran, en tanto que temperaturas bajas producen estructuras poco resistentes, por manejarse un producto de excesiva viscosidad. Una temperatura de 130°C puede considerarse como recomendable, en condiciones normales de trabajo.

Los bordillos de concreto hidráulico requieren juntas de expansión, que suelen colocarse cada 10 mts. En la construcción de estos debe tenerse cuidado con el curado.

Como todas las obras complementarias de drenaje, los bordillos deben proyectarse donde sean necesarios, deben utilizarse en aquellos lugares en que el escurrimiento del agua sobre los terraplenes cause trastornos, porque el material que forma los terraplenes sea erosionable y este desprotegido. Es importante proteger los taludes de los terraplenes mediante la siembra de vegetación, ya que esta vegetación impide la desintegración de los terraplenes.

En las figuras 3.6 y 3.7 se observan los elementos principales que integran al drenaje.

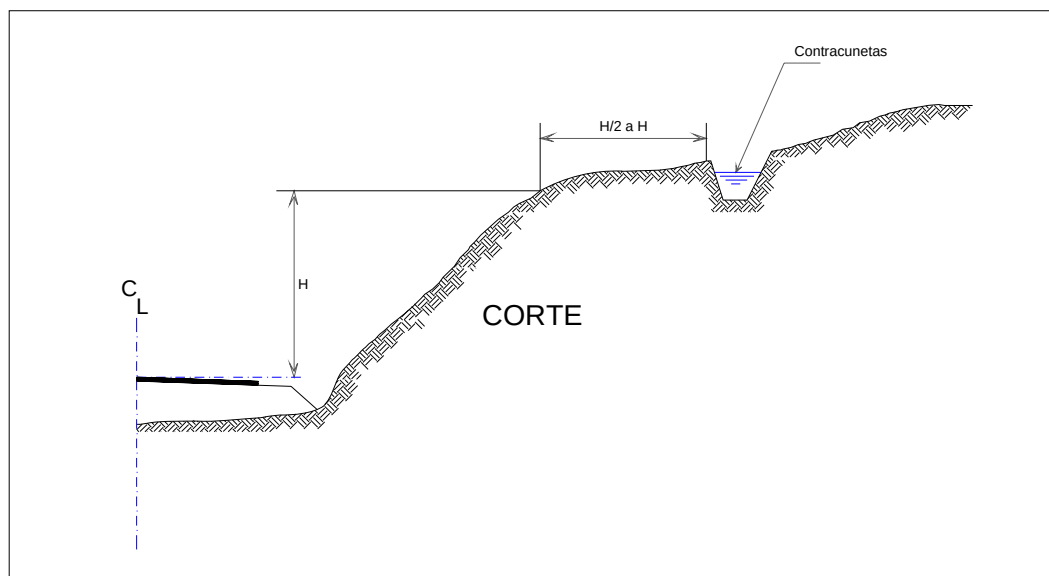


Fig. 3.6



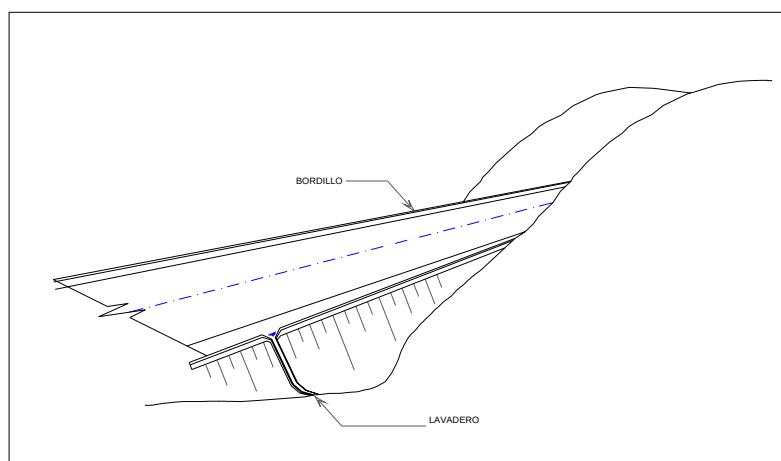


Fig. 3.7

3.8.2. SUB-DRENAJE.

El llamado subdrenaje esta constituido por obras mediante las cuales se pretende mantener alejada el agua de las zonas en donde puede causar algún daño, o bien, obras de conducción y eliminación para el control del agua que entre a las zonas peligrosas de la estructura del camino. En casos frecuentes se utilizan soluciones combinadas.

El agua subterránea puede provenir de la lluvia o nieve, llamándose a estas meteóricas; puede ser agua “de def ormación” que es la que ocupa los espacios entre sedim entos que quedaron en el fondo de océanos, lagos, lagunas, etc. Por otro lado, se puede encontrar agua magnética producto de la actividad volcánica.

Cualquiera que sea su origen del agua subterránea, siempre es preferible aceptar su presencia y no tratar de detener su escurrimiento, ya que esto solamente se podría lograr mediante procedimientos muy costosos y por lo tanto antieconómicos para una vía terrestre. Asentando este criterio, la conducción y eliminación del agua subterránea puede lograrse, en la mayoría de los casos, con alguno de las siguientes obras, o bien una combinación entre ellas.

EL SUBDRENAJE DE ZANJAS Y CAPAS PERMEABLES.- El objetivo del dren de zanja, es interceptar y eliminar el flujo del agua, para conducirlo por gravedad a lo largo de un tubo perforado convenientemente hacia una cañada o aguas abajo, así mismo, dicha zanja deberá ser rellena con material filtrante.

El sub-dren consiste en una zanja de profundidad adecuada (varía de 1 a 4 m ts.), provista de un tubo perforado en su fondo de la figura 3.8

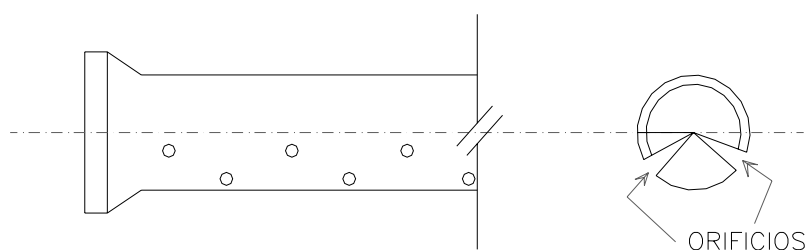


FIG. 3.8



El objeto de las perforaciones es permitir el acceso del agua al interior del tubo y proporcionar una fácil y rápida conducción del agua. No es conveniente perforar la parte superior de los tubos, porque ello favorece la entrada de partículas finas del material de filtro; tampoco es conveniente colocar perforaciones en la parte mas baja del tubo, pues con ella se propicia la salida del agua captada, cuando se velocidad disminuye o cuando se tenga un gasto bajo.

Prácticamente en la mayoría de las instalaciones de sub-drenaje se utiliza tubería de 10 a 20 cm. de diámetro; siendo frecuentemente el tubo de concreto, pudiendo utilizar otros materiales así mismo tubería de mayor diámetro según el gasto de escurrimiento.

Las perforaciones suelen tener diámetros del orden de 5 a 10 mm. El tubo deberá quedar embebido en el material filtrante cumpliendo éste con requerimientos de permeabilidad de tal manera que garantice suficiente capacidad de carga como para eliminar rápida y eficazmente las aguas que se colectan, sin que se generen fuerzas de filtración o presiones perjudiciales.

Existen algunas normas para prevenir la migración del suelo por proteger al filtro y relacionar al material de filtración el material por proteger.

$$\frac{D_{50} \text{ del filtro}}{D_{50} \text{ del suelo}} < 25 \quad \frac{D_{15} \text{ del filtro}}{D_{85} \text{ del suelo}} < 405 \quad \frac{D_{15} \text{ del filtro}}{D_{85} \text{ del suelo}}$$

Para prevenir la obstrucción de las perforaciones en la tubería, o de fuga de las partículas del material a través de ellos se recomienda el siguiente criterio pudiéndose utilizar otros que en la ultima instancia proporcionen resultados semejantes.

PARA RANURAS

PARA PERFORACIONES CIRCULARES

$$\frac{D_{85} \text{ del filtro}}{\text{Ancho de la ranura}} < 1.2$$

$$\frac{D_{85} \text{ del filtro}}{\text{Diámetro del agujero}} < 1.0$$

Además de los requisitos anteriores el material de filtro debe cumplir que por lo menos sea de 20 a 25 veces más permeable que el suelo por proteger.

CAPAS PERMEABLES.- Son utilizadas frecuentemente en las camisas de los cortes de las carreteras ya que es ahí donde aparecen grandes cantidades de agua. Dichas capas son de espesor razonable normalmente no menor de 15 cm. y 30 cm. que son las dimensiones más comunes económicamente hablando.

El material de estas capas permeables debe tener características de filtro, de manera que con ayuda de una pendiente transversal adecuada y de unas correctas instalaciones de salida puedan drenar el agua que se filtre desde el pavimento, que provenga de los acotamientos de la vía o que ascienda por subpresión, procedente de niveles inferiores.

Muchas veces estas capas drenantes se integran al pavimento, aprovechando que la naturaleza granular de los materiales de filtro los hace muy apropiados para tal función, estructuralmente hablando. Otra función importante de las capas de filtro es que pudiera servir de transición entre los materiales finos de terracería y alguna capa de material triturado grueso que haya de colocarse encima, para impedir la incrustación de los fragmentos gruesos en la matriz fina.



A veces una capa permeable de material grueso se coloca en la parte inferior del terraplén, con la finalidad de interrumpir el proceso de ascensión capilar que, de otra manera, terminaría por llegar a la capa subrasante y en ocasiones perjudicarla, así como también a la sub-base y aún, a la base del pavimento. Estas son las capas rompedoras de capilaridad, cuya función es impedir el ascenso del agua, pero no drenarla; no son propiamente capas drenantes.

CONSTRUCCION DE UNA CAPA PERMEABLE CON REMOCION DEL MATERIAL.

Esta es una solución cuando bajo la zona en que se colocara un terraplén, existe una capa saturada de suelo de mala calidad y de espesor relativamente pequeño, no mayor de 4 o 5 mts. Y debajo de ella hay materiales de mucha mayor calidad, puede pensarse en remover totalmente el suelo malo en una faja bajo el camino por construir y en un ancho conveniente.

La excavación para la remoción podrá recubrirse con una capa de 50 cm. o 1 m. de material de filtro, que actué como sub-dren de la zona; esta capa deberá estar provista de tubería perforada de captación y de tubería de desagüe. Posteriormente la excavación se rellenara con material de buenas características debidamente compactado; sobre éste podrá construirse el terraplén compactado, sobre este podrá construirse el terraplén proyectado.

La capa drenante evita que el nuevo material colocado y el terraplén del camino sufran los efectos adversos del agua.

Adicionalmente el sistema permite que el terraplén se apoye en terreno firme, por lo que la solución cubre los fines de mejoramiento del terreno de cimentación y estabilidad del propio terraplén (Fig. 3.9).

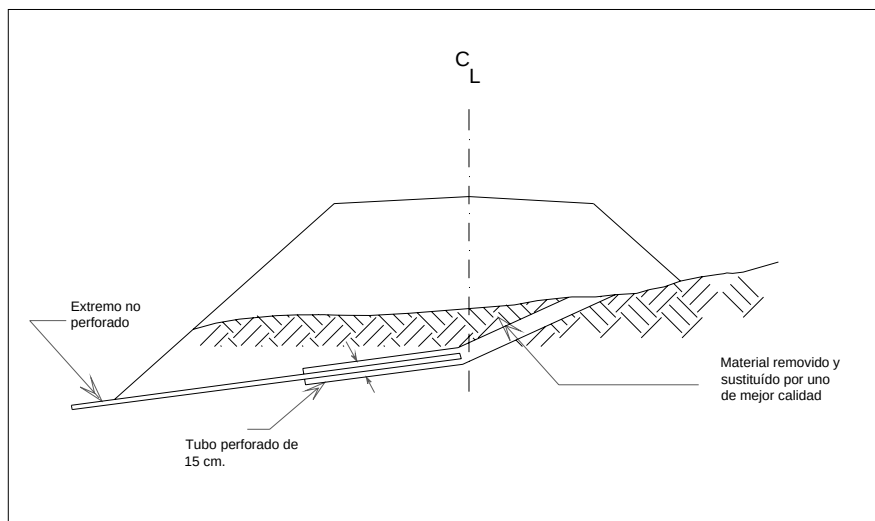


Fig. 3.9

TRINCHERAS ESTABILIZADORAS.- Cuando en una ladera existe flujo de agua y está formada por grandes espesores de materiales cuya estabilidad se ve amenazada por él y sobre esa ladera ha de construirse un terraplén, la remoción de los materiales malos y su sustitución por otros mejores resulta difícil y antieconómica. Puede entonces pensarse en captar el flujo y eliminar el agua en una zona bajo el terraplén de profundidad y ancho suficiente para garantizar la estabilidad local del terraplén: prácticamente esto se logra eliminando las aguas de



una zona que abarque aquella por la que podría desarrollarse el círculo de deslizamiento del conjunto formado por el terraplén y su terreno de cimentación.

La captación se logra construyendo una trinchera excavada bajo el lugar en que se construirá el terraplén.

El talud de aguas arriba de la trinchera y su fondo deberá ser recubrirse con una capa de material filtrante de 50 cm. a 1 m de espesor, provista de tubería perforada para captación y otra colocada transversalmente, para desagüe. Posteriormente la trinchera deberá ser rellena con material compactado debidamente, pudiéndose emplear el mismo producto de la excavación.

La profundidad con que se construyen las trincheras oscila entre 3 y 15 mts. Pero en ocasiones pueden ser más profundas.

La función de cualquier trinchera estabilizadora es proporcionar mejores características mecánicas del suelo ladera abajo al cortar físicamente el flujo asímétrico, ladera arriba, abatiendo las presiones en el agua en una importante zona de influencia. Además, el mejoramiento de las características mecánicas del suelo que se sustituye en el relleno crea una restricción mecánica a la falla, que puede ser muy importante en muchos casos.

DRENES TRANSVERSALES DE PENETRACION (DRENES HORIZONTALES)

Son tuberías que penetran en dirección transversal a la de la carretera para captar las aguas internas y para abatir las presiones naturales. Son recomendables tanto para mejorar la estabilidad de cortes como la del terreno de cimentación de terraplenes. Se construyen efectuando primeramente una perforación de 7.5 a 10 cm. de diámetro para lo cual existe una maquinaria especial. Una vez hecha esta perforación, se coloca en ella tubo de acero perforado de 5 cm. de diámetro generalmente recubierto de asfalto, para protección contra corrosión o galvanizado. Las longitudes de los drenes de penetración son variables, pero pueden llegar hasta 100 mts o más, su inclinación con la horizontal suele variar desde 2 a 20%. Los drenes se colectan a un colector exterior que otro tubo de unos 20 cm. de diámetro y que se encarga de enviar las aguas a donde sean inofensivas. La parte del tubo próximo a la superficie del terreno natural o del talud debe dejarse sin perforar en 1 o 2 mts para impedir la invasión de vegetación a través de las perforaciones, que obstruya la salida del tubo.

Los drenes transversales de penetración tienen la ventaja de drenar el agua y de abatir las presiones neutras a grandes profundidades, mayores de las que puede llegar cualquier otro elemento de sub-drenaje.

3.9.- ESTABILIDAD DE TALUDES

Un talud es cualquier superficie inclinada respecto a una horizontal, de tal manera que en una carretera tenemos dos tipos de taludes:

1.- Los taludes naturales o laderas; éstos se han formado con el transcurso del tiempo sin la intervención del hombre.

2.- Los taludes artificiales o cortes; los artificiales son los lados inclinados de los terraplenes y los taludes en corte se producen cuando se realiza una excavación a partir del nivel del terreno natural.



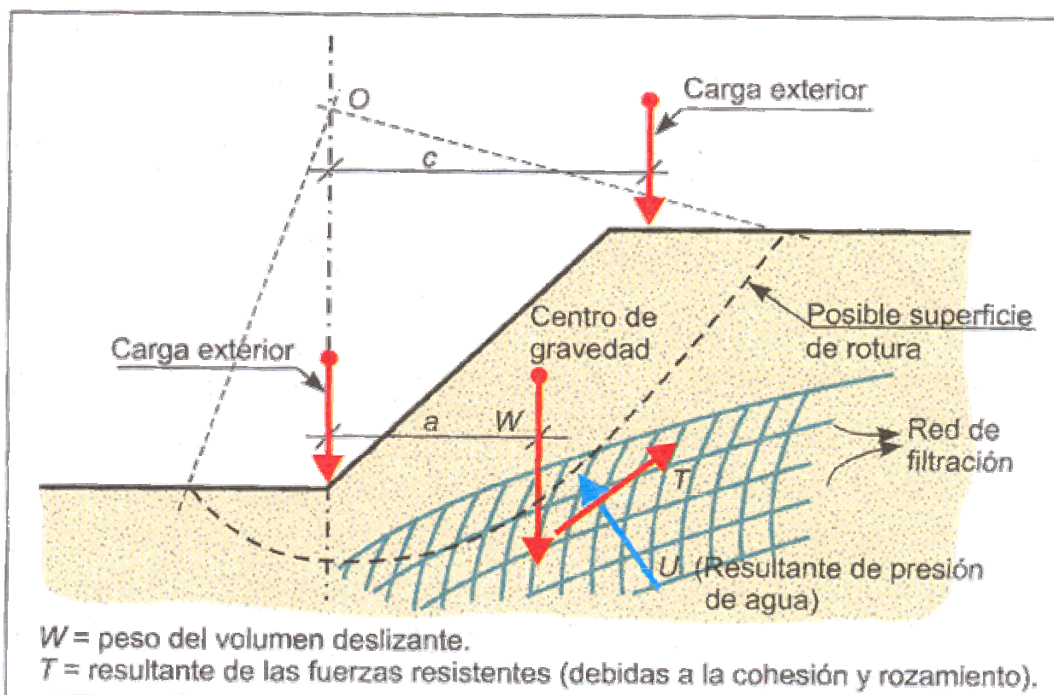
Está comprobado de que un talud constituye la estructura más compleja de las vías terrestres, ligados a su estabilidad aparecen los problemas más complicados de la mecánica de suelos. Para tener un punto de comparación se puede decir que el 50% de las carreteras por construir se desarrollan en terreno montañoso. Todo lo anterior repercute en costo por los grandes volúmenes de tierra por mover en cortes y terraplenes.

Por lo tanto surge así, la necesidad de diferenciar los múltiples modos por los que un talud puede llegar a no cumplir la función que se le haya asignado o incluso un eventual colapso, viendo cada modo como un problema distinto en planteamiento y solución.

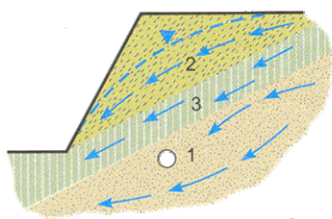
En la actualidad existen una serie de métodos de cálculos para garantizar la estabilidad de los taludes, métodos que a cierto punto son confiables pero en la construcción de las vías terrestres son poco aplicables (método sueco, método de la cuña, etc.), por lo cual no se tratarán, pero se pueden consultar en el tomo II de Mecánica de Suelos (Juárez Badillo y Rico Rodríguez).

En la práctica a menudo se insiste en que debe dejarse a criterio de los ingenieros de campo, auxiliados por estudios someros y rápidos la decisión de indicar la inclinación de los cortes y terraplenes de las obras viales (por lo general estas decisiones son empíricas o semiempíricas de acuerdo a la experiencia del ingeniero basándose en el tipo de material de que se trate).

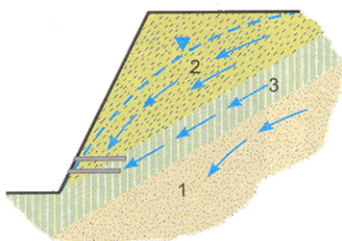
Complementando lo anterior, se desprende que por lo común no es factible la aplicación de los métodos matemáticos de análisis de estabilidad de taludes en las vías terrestres, sea por razones por falta de homogeneidad de los materiales constructivos, por lo cual son poco representativos los resultados de cualquier muestreo y estudios de laboratorio, o bien por la cantidad de diferentes taludes que se tendrían que estudiar; pero se presta especial interés en detectar desde la etapa de estudio previo aquellos casos que por alguna razón en especial sean merecedores de un estudio detallado; dentro de estos se encuentran generalmente todos los casos de taludes fallados.



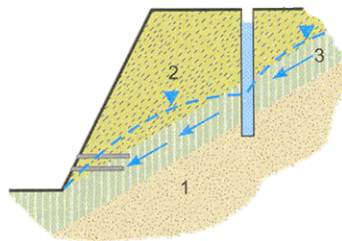
REALIZACION DE DRENES HORIZONTALES EN UN TALUD COMO SE MUESTRA EN LA FOTO



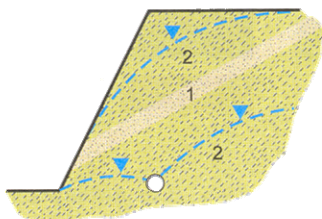
Galería de drenaje. Inadecuado.



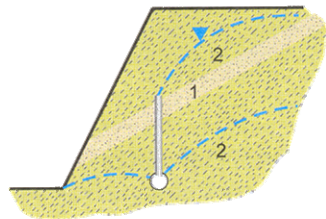
Drenes horizontales. Inadecuado.



Pozos de bombeo y drenes horizontales. Adecuado.

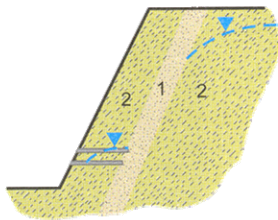


Galería de drenaje. Inadecuado.

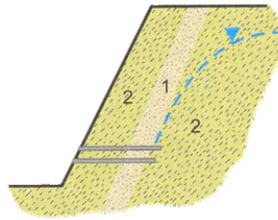


Galería con drenaje vertical. Adecuado.

1. Material poco permeable (10^{-7} cm/s).
2. Material permeable (10^{-3} cm/s).
3. Material de permeabilidad media (10^{-5} cm/s).



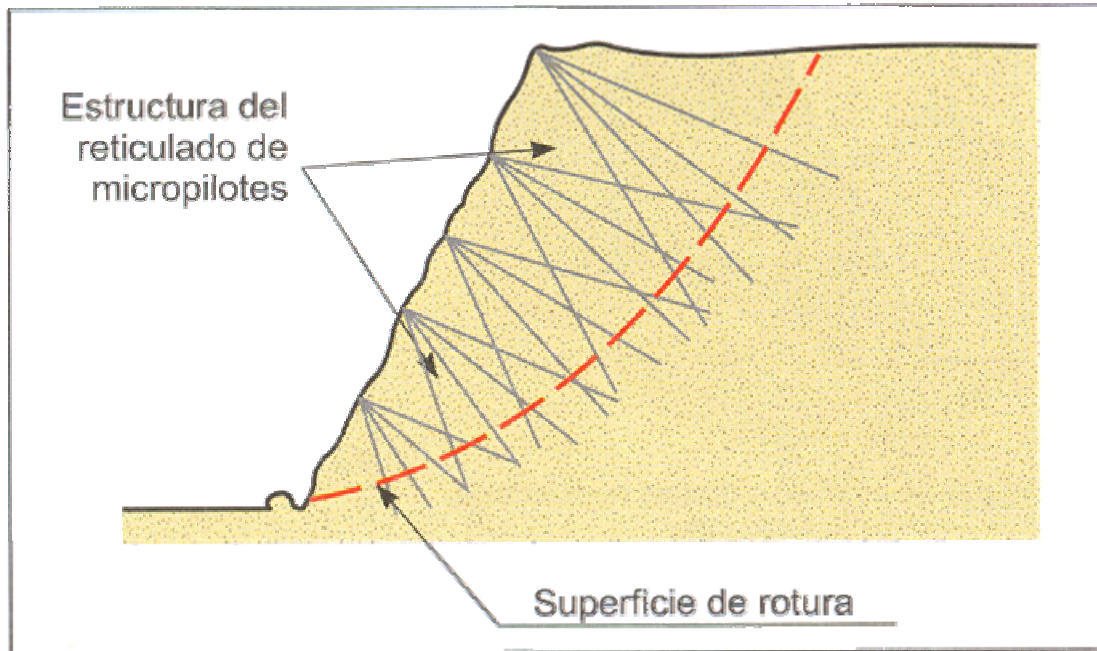
Drenes horizontales. Inadecuado.



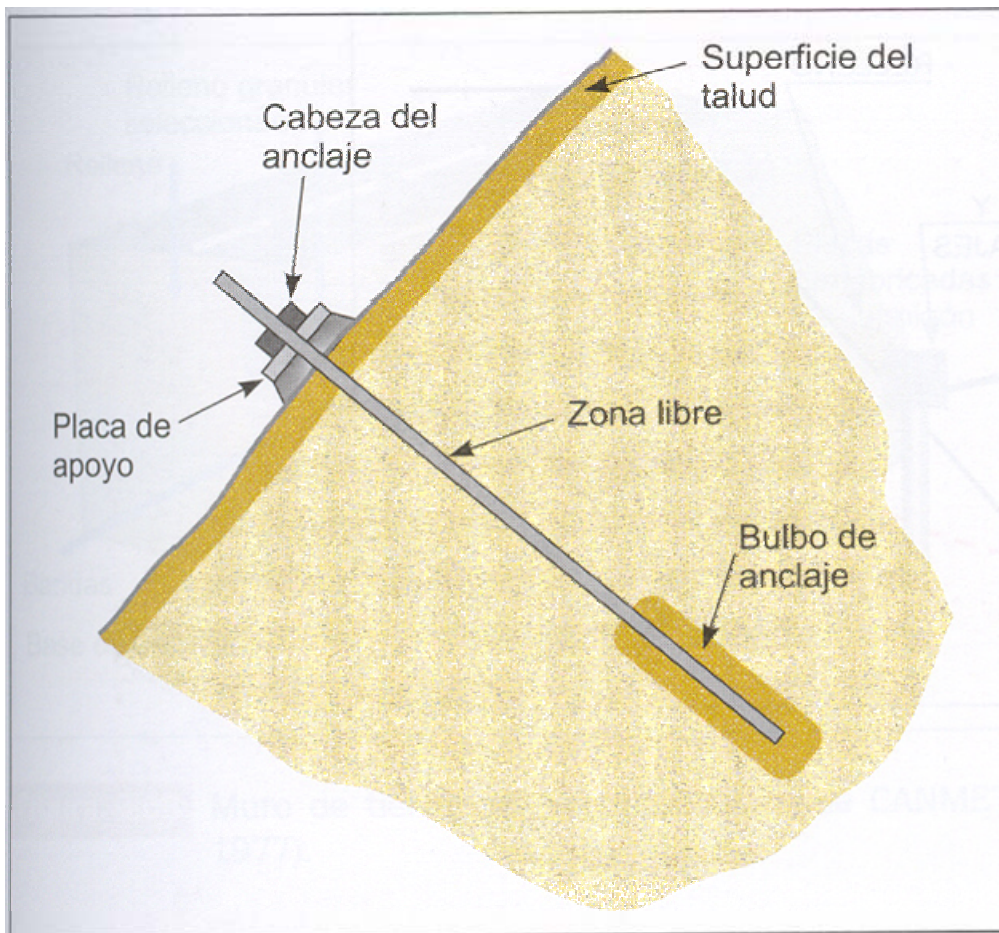
Drenes horizontales. Adecuado.



PANTALLA MULTIPLE DE MICROPILOTES



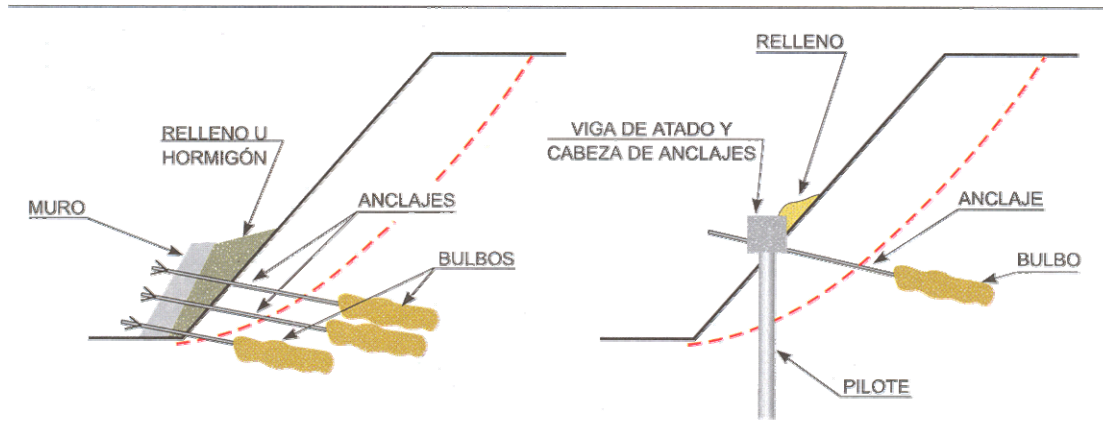
ESQUEMA DE LAS PARTES DE UN ANCLAJE



MUROS Y ELEMENTOS DE CONTENCIÓN

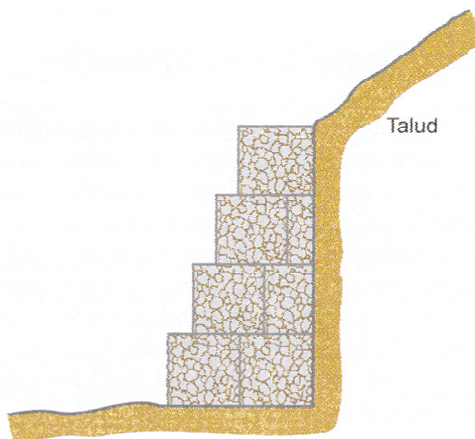
La construcción de muros se emplea para reforzar la zona de pie de los taludes evitando también la degradación en esa zona crítica frente a la estabilidad. Existen muros de gaviones, muros de pantalla.

MUROS Y PANTALLAS DE PILOTES ANCLADOS

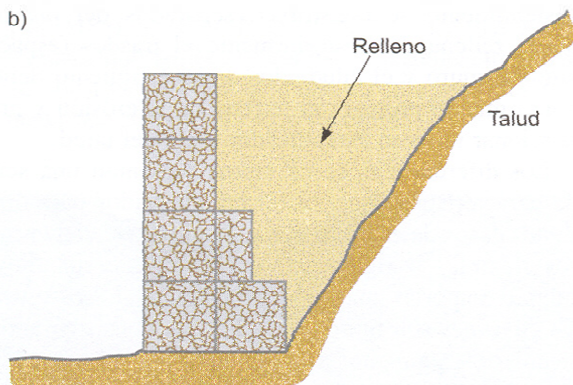


MUROS DE GAVIONES

a)



b)



MEDIDAS DE PROTECCIÓN SUPERFICIAL

- Eliminar los problemas de caídas de rocas
- Aumentar la seguridad del talud frente a roturas superficiales
- Evitar o reducir la erosión
- Evitar la entrada de agua de escorrentía

ACTUACIONES MÁS FRECUENTES

- Instalación de mallas metálicas
- Construcción de muros de revestimiento a pie de talud
- Instalación de materiales geotextiles
- Impermeabilización
- Siembra de especies que contribuyen a reforzar el terreno superficial



En las imágenes se muestran algunas de los métodos más comunes para estabilizar los taludes y desprendimiento de rocas.



POZOS DE ALIVIO.- Son perforaciones verticales del orden de 60 cm. de diámetro, dentro de los cuales se coloca un tubo perforado de 15 cm. de diámetro a algo similar; el espacio entre el tubo y las paredes de perforación se rellena con material filtrante. Las profundidades pueden llegar hasta 20 m. Y se colocan en la zona en que se capte el flujo perjudicial o sea ladera arriba de la zona en que se colocara el terraplén y próximo a este.

Los pozos de alivio deberán tener un sistema colector que elimine las aguas que se capten. La recolección lógica es una galería que la comuniquen en su base, construida como un pequeño túnel, también pueden desaguar con drenes transversales de penetración o por bombeo directo.

El espaciamiento entre pozos de alivio es muy variable dependiendo de las circunstancias del caso de que se trate y lo mismo puede decirse del número de hileras en que se dispongan, es frecuente un espaciado entre 5 y 10 m. y una disposición en dos hileras traslapadas.

3.9.1.- FALLAS LIGADAS A LAS LADERAS

DESLIZAMIENTO SUPERFICIAL ASOCIADA A LA FALTA DE RESISTENCIA POR BAJA PRESION DE CONFINAMIENTO: Se refiere al proceso más o menos continuo y generalmente lento de deslizamiento superficial, suele afectar grandes áreas produciendo dicho movimiento sin una transición brusca entre la parte móvil y las masas inmóviles más profundas, dicho deslizamiento suele deberse a una combinación de las combinaciones de las acciones de las fuerzas de gravedad y de otros agentes (como el lubricamiento producido por el agua).

En la actualidad, no se conoce un método seguro para detenerlo una vez que se inicia, es importante conocer al menos su localización oportuna, esto se puede lograr desde los primeros estudios de campo o en la etapa del anteproyecto.

Es lógico pensar que la velocidad del movimiento en la ladera sea máxima en la superficie y vaya disminuyendo hacia el interior, donde aumentan las restricciones del movimiento.

Este hecho, del que existe amplia evidencia experimental, se refleja, por una inclinación de los árboles, postes y elementos similares, los que adoptan una posición perpendicular a la ladera, en vez de una vertical (natural).

Cuando antes de construir una vía terrestre se logra identificar un deslizamiento superficial a base de la experiencia de algún ingeniero, no debe dudarse en cambiar el trazo de la vía terrestre, evitando así los problemas subsecuentes de fallas en el pavimento y como se menciono anteriormente no se ha logrado poner un remedio confiable a dichas fallas.

3.9.2.- FALLAS RELACIONADAS A TALUDES ARTIFICIALES.

FALLA ROTACIONAL.- Se identifica por una superficie de falla curva, a lo largo de la cual ocurre el movimiento del talud; esta superficie forma una traza con el plano del papel que pueda asimilarse, por facilidad y sin un mayor error, a una circunferencia, también se caracteriza por movimientos bruscos o colapsos que ocurren en los taludes y que afectan a masas profundas, se considera que la superficie de falla se forma en las zonas de futuro desarrollo donde actúan esfuerzos cortantes que sobrepasan la resistencia del material. En el

interior del talud existe un estado de esfuerzos cortantes que vence en forma más o menos rápida la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, a consecuencia de ello sobreviene la ruptura del mismo, con la formación de una superficie de deslizamiento, a lo largo de la cual se produce la falla.

Las fallas rotacionales pueden ser de diferentes tipos como se muestran a continuación:

- 1.- FALLA ROTACIONAL LOCAL
- 2.- FALLA ROTACIONAL POR EL PIE DEL TALUD
- 3.- FALLA ROTACIONAL DE BASE
- 4.- FALLA POR TRASLACION SOBRE UN PLANO DEBIL

FALLAS POR TRASLACION.- Ocurre cuando dentro del terreno de cimentación y, a relativamente poca profundidad existe un estrato paralelo a la superficie del terreno o casi paralelo cuya resistencia sea muy baja. El fenómeno es particularmente frecuente cuando el terreno natural constituye una ladera inclinada, con el plano débil guardando una inclinación similar. En la naturaleza los planos débiles típicos son estratos delgados de arcilla muy blanda o de arena, más o menos fina, sujeta a una sustracción que disminuya los esfuerzos efectivos y rebaje mucho la resistencia del manto al esfuerzo cortante.

FALLA CON SUPERFICIE COMPUESTA.- Abarca movimientos en que se combinan la rotación y la traslación, dando lugar a superficies de fallas compuestas en que se desarrollan zonas planas a la vez que tramos curvos, asimilables a arcos circulares. Este tipo de fallas están predeterminadas por la presencia de heterogeneidades dentro del talud.

Existen otros tres tipos de fallas, cuyo mecanismo no depende, por lo menos directa y casi exclusivamente, de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo. Esto no quiere decir que tan importante propiedad, no influya en mayor o menor grado en la generación y desarrollo de estas fallas.

Primeramente se presentan las fallas debidas a la erosión, tan frecuentes y nocivas en los terraplenes y cortes de las vías terrestres. El viento y el agua son los agentes erosivos propiciando irregularidades, socavones y canalizaciones en el plano del talud, estos defectos pueden progresar si no se corrigen a tiempo hasta provocar una total destrucción del talud sin que al final se logre identificar el origen de la falla.

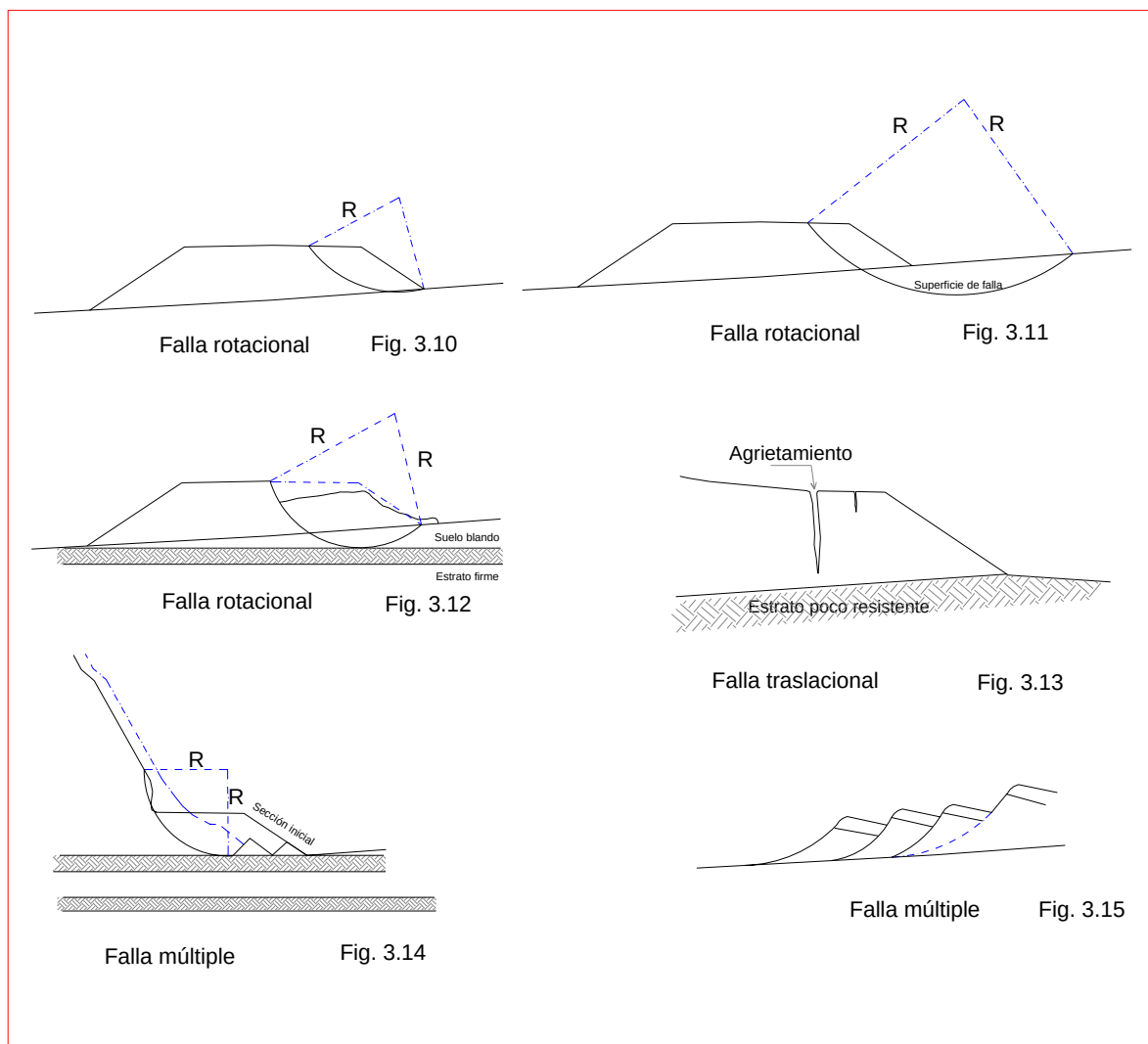
En segundo lugar aparecen las fallas por tubificación, en este mismo capítulo se mencionó lo relacionado con la tubificación, la cual comienza cuando hay arrastre de partículas de suelo en el interior de la masa por efecto de las fuerzas erosivas generadas por el flujo del agua, una vez que las partículas empiecen a ser removidas van generando en el suelo pequeños canales, por los que el agua circula a mayor velocidad, esto propicia un mayor poder de arrastre, de manera que el fenómeno de tubificación tiende a crecer continuamente una vez que comienza, aumentando siempre el diámetro de los canales que se van formando en el interior del terraplén. Otra característica curiosa del fenómeno es que, comenzando en el talud aguas abajo, progresa hacia atrás, es decir, hacia el interior del terraplén. El límite de este fenómeno es el colapso del bordo, al quedar este surcado por huecos de diámetro suficiente para afectar la estabilidad por disminución de sección resistente, la compactación deficiente puede ser un factor que contribuye en grande a la tubificación.

En tercer lugar aparecen las fallas por agrietamiento que tienen especial importancia en el caso de los terraplenes, se pueden presentar tanto en sentido transversal como en el

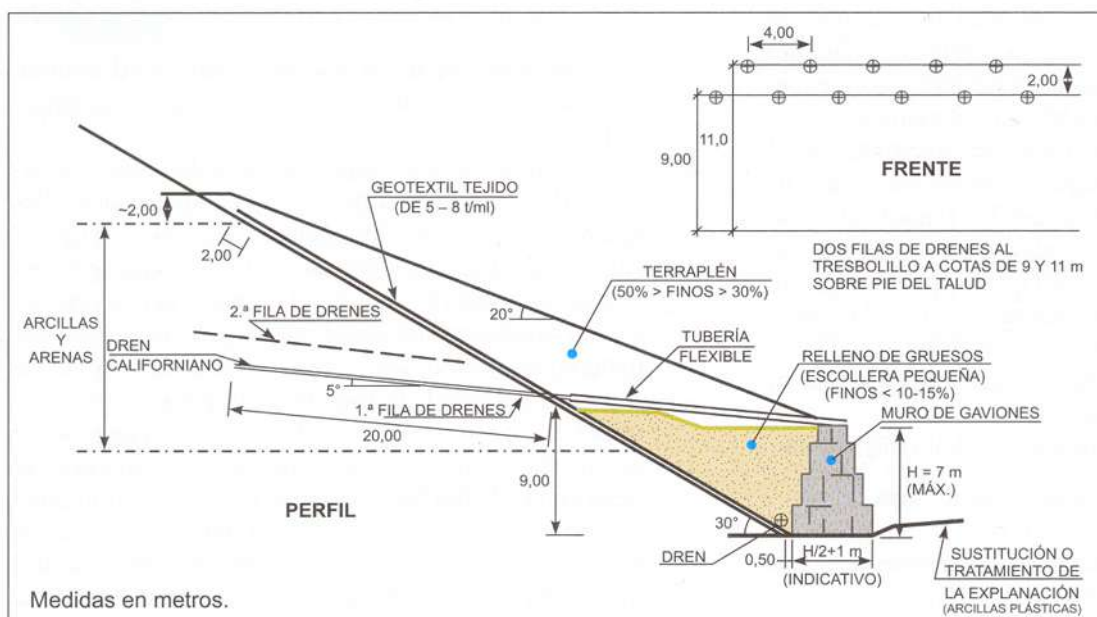
longitudinal, los primeros son a causa de asentamientos diferenciales a lo largo del eje del camino y solo serán de consideración en el caso de terraplenes construidos sobre suelos blandos, el agrietamiento longitudinal respecto al eje del camino es mucho más frecuente esto ocurre sobre todo por movimientos diferenciales de los hombros del terraplén y su parte central. Se manifiesta por la aparición de dos familias de grietas simétricas respecto al eje del camino, ubicadas en los hombros, incluso en las zonas extremas de la carpeta asfáltica; estas grietas continúan en forma casi ininterrumpida durante varios metros llegando en ocasiones hasta más de 100 mts.

Por otra parte, es cierto que el agrietamiento longitudinal también suele aparecer en lugares en que el terreno de cimentación es predominantemente arcilloso, blando y compresible, la sucesión de lluvias y sequías produce fuertes cambios volumétricos en este suelo, que se manifiesta en elevaciones y descensos de su nivel.

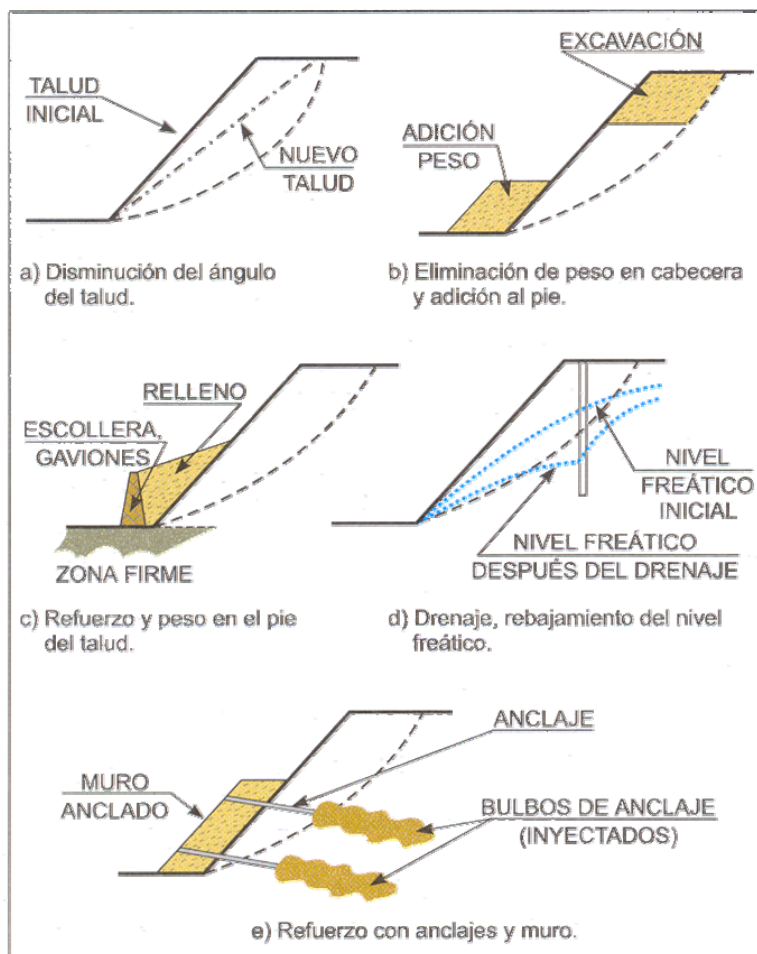
PRINCIPALES FALLAS QUE SE PRESENTAN EN LOS TALUDES



ESTABILIZACIÓN DE UN TALUD MEDIANTE MURO DE PIE



MÉTODOS PARA AUMENTAR EL COEFICIENTE DE SEGURIDAD DE TALUDES EN SUELOS



III. a DETERMINACION DE ZONAS HOMOGENEAS

CLASIFICACION DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE FALLAS QUE SE PRESENTAN EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.

HAY CUATRO REPRESENTATIVAS QUE SON:

- 1.- DESPRENDIMIENTOS
- 2.- DEFORMACIONES
- 3.- AGRIETAMIENTOS
- 4.- DEFECTOS VARIOS

1.- DESPRENDIMIENTOS

BACHES.- Son oquedades de varios tamaños en la capa de rodamiento por desprendimiento o desintegración inicial. Desprendimiento inicial de los agregados que al paso de los vehículos van formando.

LEVANTAMIENTO POR CONGELACION.- Desplazamiento diferencial hacia arriba que produce desintegración parcial o total de capas del pavimento.

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

PULIDO DE SUPERFICIE.- Desgaste acelerado en la superficie de la capa de rodamiento produciendo áreas lisas.

DESINTEGRACION.- Deterioro de la carpeta asfáltica en pequeños fragmentos con pérdida progresiva de materiales que lo componen.

2.- DEFORMACIONES

BURBUJA.- Ampolla de tamaño variable localizada en la superficie de rodamiento.

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

ONDULACIONES TRANSVERSALES.- Ondulaciones de la carpeta asfáltica en el sentido perpendicular al eje del camino que contienen en forma regular crestas y valles alterados, regularmente con separación menor a 60 cm. entre ellas.

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

ASENTAMIENTOS LONGITUDINALES.- Áreas de pavimento localizadas en elevaciones más bajas que las áreas adyacentes o elevaciones de diseño en el sentido longitudinal al eje del camino, en especial en los extremos laterales de la superficie de rodamiento.



CRESTAS LONGITUDINALES MASIVAS.- Montículos o crestas en el sentido paralelo al eje del camino, presentándose dos y hasta cuatro crestas a todo lo largo de ciertos tramos.

3.- AGRIETAMIENTOS

GRIETAS DE REFLEXION.- Grietas longitudinales y transversales que reflejan exactamente el patrón de agrietamiento de juntas de un pavimento existente, cuando es reencarpetao con concreto asfáltico.

GRIETAS DE REFLEXION TIPO 2.- Agrietamiento de la carpeta asfáltica siguiendo o no, un patrón determinado.

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

GRIETA ERRATICA O EN ZIG-ZAG.- Agrietamiento en desorden de la carpeta asfáltica, siguiendo patrones en la dirección del tránsito.

GRIETAS FINAS.- Pequeñas fisuras superficiales muy próximas la una con la otra, ya que no conforman un patrón regular y se extienden a cierta profundidad, pero no al espesor total de la carpeta.

PIEL DE COCODRILO.- Fisuras en la superficie de la carpeta asfáltica, formando un patrón regular con polígonos hasta de 20 cm. grietas interconectadas formando polígonos que asemejen la piel de un cocodrilo.



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

GRIETA TRANSVERSAL.- Agrietamiento de la carpeta que sigue un patrón transversal o perpendicular al eje del camino.

GRIETA LONGITUDINAL.- Fisura o grieta paralela al eje del camino o en muchos casos sobre el eje del camino.





AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL EN HOMBRO DEL TERRAPLEN.- Líneas de rotura producida en los bordes de la carretera paralelas al eje de la misma.

4.- DEFECTOS VARIOS

LLORADO DE ASFALTO.- Flujo de liberación del asfalto hacia la superficie de una carpeta asfáltica, formando una película o capa pegajosa y/o ascenso de asfalto a través de grietas.

AFLORAMIENTO DE HUMEDAD.- Aparición de zonas húmedas en la superficie, con o sin encharcamiento.

MARCADO DE HUELLA.- Impresión en relieve localizada en la superficie de rodamiento.

EXPULSION DE FINOS.- Material fino sobre la superficie de rodamiento, acumulado en zonas adyacentes a las grietas.

CRECIMIENTO DE HIERBA A TRAVES DE LA CARPETA.- Producto de agrietamiento en acotamientos y en los hombros de la carretera; la hierba silvestre crece aflorando por las grietas y avanzando con la humedad hasta prácticamente erosionar o destruir parte de la carpeta.

PARAMETROS DE DEGRADACION (LEVANTAMIENTO DE DAÑOS)

El levantamiento de daños se lleva a cabo haciendo un recorrido a pie, a lo largo del tramo en estudio, describiendo cada uno de ellos y agrupándolos según sus características en los siguientes tipos (ya mencionados anteriormente):

- 1.- DESPRENDIMIENTOS (Baches abiertos, calavereos, desgranamientos, etc.)
- 2.- DEFORMACIONES (Roderas, ondulaciones, etc.)
- 3.- AGRIETAMIENTOS (longitudinales y transversales, mapeo, piel de cocodrilo, etc.)
- 4.- DEFECTOS VARIOS (Exudaciones, ascenso de finos, etc.)
- 5.- MANTENIMIENTO (Baches mal o bien reparados)



Los deterioros encontrados se califican anotando en porcentaje de daño, acompañado de su severidad misma que se califica con la siguiente escala:

Ninguno ----- 0
Menor ----- 1
Moderado ---- 2
Mayor -----3
Severo -----4

El levantamiento de estas fallas y deterioros se van registrando en hojas especiales para su información en porcentajes según el sea el grupo de falla en el que se encuentren.

La división del tramo del que se toma en estudio es en zonas homogéneas que permita analizar de manera mas completa y precisa el camino, para tal efecto se realizaron divisiones de subtramos que presentan características similares desde el punto de vista de sus degradaciones en la superficie de rodamiento actual, características geotécnicas, drenaje y de estabilidad.



CAPITULO IV

IV.- METODOS PARA LA EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES



CAPITULO IV

IV.- METODOS PARA LA EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

IV. a. ANTECEDENTES

Existen diferentes métodos para evaluar la capacidad estructural de los pavimentos, lo anterior con la finalidad de definir su aptitud para resistir las cargas que circulan por diversos tramos carreteros.

La evaluación de la capacidad estructural en pavimentos se realiza utilizando predominantemente métodos no destructivos, los cuales consisten en aplicar una carga bajo condiciones dinámicas, estáticas, por impacto, etc., cuyos resultados ayudan a determinar en cada estructura del pavimento, las deformaciones o deflexiones asociadas a la sollicitación inducida, y así poder definir su capacidad para soportar las cargas vehiculares.

A nivel mundial se cuenta con una gran cantidad de equipos para determinar deflexiones en campo, sin embargo, los de mayor uso son los deflectómetros de impacto. Estos equipos aplican una sollicitación al pavimento por impacto y determinan una curva de deformaciones a partir de datos de desplazamiento, obtenidos por un arreglo de sensores de desplazamiento.

En el presente reporte se hará énfasis a los pavimentos de concreto asfáltico, a la vez que se incluyen recomendaciones para diferentes tipos de pavimento.

Es importante destacar que así como hay diversos equipos para medir deflexiones, es aun mayor el número de procedimientos para el análisis y procesamiento de los datos provenientes de tales equipos. Dichos programas calculan los módulos en cada una de las diferentes capas del pavimento evaluado mediante herramientas matemáticas diversas, y consideraciones en sus modelos igualmente variados.

Debido a lo anterior es difícil hacer una elección adecuada entre las diferentes metodologías de diseño; no obstante, en el presente trabajo se ha procurado incluir algunas consideraciones bajo las cuales se desarrolla algunos de estos métodos de análisis. Es necesario conocer lo anterior para poder realizar una interpretación adecuada de los resultados que de dichos modelos resulten, ya que se sabe que la elección de los módulos de capa, contiene en sí misma una gran cantidad de criterio ingenieril.

Por otro lado, es necesario tomar en cuenta los factores que en mayor medida influyen a los resultados obtenidos y la manera en que se deben considerar; un ejemplo lo constituye el clima, caracterizado como la temperatura y la humedad; en este caso, la magnitud de la carga, la posición o distancia de la capa rígida, etc.



IV. b EQUIPOS DE AUSCULTACIÓN

Los equipos más comunes para determinar la capacidad estructural de los pavimentos son:

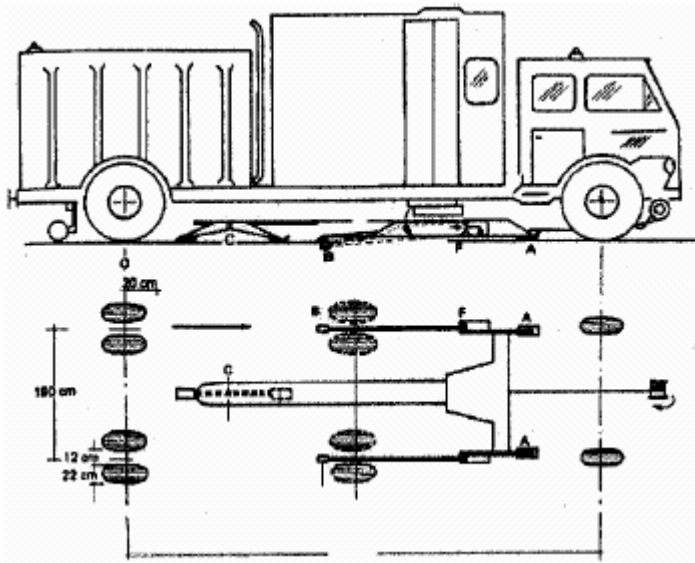
- a) Equipo discontinuo de medición (Figura 1.1). Opera con el principio de brazo de palanca simple (p ej, viga Benkelman)
- b) Equipo estático semicontinuo (Figuras 1.2 y 1.3). Actúa con el principio de doble brazo de palanca (p ej, deflectógrafo Lacroix)
- c) Equipo dinámico de aplicación de carga (Figuras 1.4 y 1.5). Utiliza un generador de fuerza dinámica, el cual puede ser una masa giratoria o un mecanismo actuador servohidráulicamente controlado (p ej, Dynaflect, Road Rater)
- d) Equipo de impacto (Figuras 1.6 y 1.7). Crea un impulso de carga sobre el pavimento, dejando caer una masa a partir de alturas variables sobre un sistema de resortes o caucho. Conocido generalmente como Falling Weight Deflectometer FWD (por ejemplo; Dynatest, Kuab, Jils)



Figura 1.1.

Equipo discontinuo para la determinación de deflexiones (Viga Benkelman)



**Figura 1.2.**

Esquema del equipo semicontinuo para la determinación de deflexiones (Deflectómetro Lacroix)

**Figura 1.3.**

Equipo semicontinuo para la determinación de deflexiones (deflectómetro Lacroix)

DEFLECTÓGRAFO TIPO LACROIX

Descripción

Equipo de alto rendimiento para la medida de deflexiones en los firmes.

Características técnicas

- Velocidad de ensayo de 3-4 km/h.
- Obtención de datos en dos líneas de medida.
- Distancia entre puntos de ensayo de 5 metros.
- En cada punto de ensayo se toman del orden de 60 lecturas de deflexión (permitiendo la obtención de la línea de influencia de la deflexión), siendo la longitud total de medida de 1,5 m.
- La recogida y tratamiento de datos se efectúa por ordenador.

Aplicaciones

- Medida y registro de las deflexiones de un firme de forma cuasicontinua bajo la carga de un eje tipo de camión.
- Obtención de la línea de influencia de la deflexión en cada punto de medida.



Figura 1.4.
Equipo dinámico para la determinación de deflexiones (Dynaflect)

4.1.1 Características de los deflectómetros de Impacto

El sistema de los equipos de impacto tiene que cumplir con los siguientes requerimientos:

4.1.2. Sistema de instrumentación

Durante su operación debe soportar temperaturas de entre -10 y 50 °C; tolerar humedad relativamente alta, lluvia o niebla; y otras condiciones adversas tales como polvo, golpes, o vibraciones que se pueden presentar normalmente en campo.

Los instrumentos no deben estar expuestos a los elementos (dentro del vehículo), y deben ser capaces de operar en un rango de temperaturas de entre 5 y 40 °C.

4.1.3. Dispositivo generador de impacto

El dispositivo generador de impacto debe ser del tipo de masa en caída libre con un sistema de guía. El dispositivo generador de impacto tiene que ser capaz de levantar una o varias masas predeterminadas, y soltarlas en caída libre. La onda generada por el impacto de la masa, y transmitida al pavimento, deberá reproducirse de acuerdo con los requerimientos descritos en el Capítulo 2. La onda debe tener aproximadamente la forma haversine y aplicarse con una amplitud de pico a pico de 50 kN. La duración del impulso de fuerza habrá de permanecer entre 20 y 60 ms, o un tiempo de incremento de la carga de 0 a 30 ms. Es importante que el sistema de guía presente una fricción despreciable y diseñada de tal manera que las masas caigan perpendiculares a la superficie del pavimento.



4.1.4. Placa de carga

La placa de carga debe ser capaz de distribuir uniformemente la carga sobre la superficie del pavimento. Los diámetros más comunes de las placas son de 300 y 450 mm de diámetro para realizar mediciones sobre autopistas y aeropistas, respectivamente. La placa será capaz de permitir mediciones de deflexión en los pavimentos, al centro de la placa.

4.1.5. Transductor de deflexión

Debe ser capaz de medir el desplazamiento vertical máximo, y estar montado de tal manera que minimice la rotación angular con respecto a su plano de medición en el movimiento máximo esperado. El número y espaciado de los sensores es opcional, y dependerá de los propósitos de la prueba y de las características de cada capa del pavimento. El espaciado adecuado entre sensores es de 300mm. Los sensores pueden ser de varios tipos: transductores de desplazamiento, de velocidad, o de aceleración (acelerómetros).

DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO



Figura 1.7.

Deflectómetro de impacto para la determinación de deflexiones (Kuab)

Descripción

Equipo constituido por una masa que se deja caer por gravedad, desde una altura determinada, sobre una placa, provista de un sistema de distribución, que transmite la carga de manera uniforme a la superficie sobre la que se apoya. El Centro de Estudios de Carreteras dispone de dos equipos de este tipo, cuyas diferencias técnicas se señalan a continuación.

Características técnicas

Deflectómetro de Impacto de 65 kN

- La onda de carga simula la producida por un vehículo circulando a 70 km/h. El tiempo de carga es de 30 milisegundos y la carga máxima equivalente es de 65 kN.



- La deflexión debida a la carga se mide a través de cinco sismómetros situados uno en el centro de la placa, y los otros a distancias de 20, 30, 45 y 90 cm.
- El rendimiento del equipo (suponiendo una distancia entre puntos de medida de 25 m) es de aproximadamente 2 km/h.

Deflectómetro de Impacto de 150 kN

- La onda de carga simula la producida por un vehículo circulando a 70 km /h. El tiempo de carga puede ser de 40 ó 60 milisegundos y la carga máxima equivalente es de 150 kN.
- La deflexión debida a la carga se mide a través de siete sismómetros situados uno en el centro de la placa, y los otros a distancias de 30, 45, 60, 90, 120 y 150 cm.
- Dispone de un sensor de infrarrojos para medir la temperatura de la superficie del pavimento.
- El rendimiento del equipo (suponiendo una distancia entre puntos de medida de 25 m) es de aproximadamente 2 km/h.

Aplicaciones

- Evaluación de la capacidad estructural de firmes flexibles, semirrígidos y rígidos.
- Evaluación de la transferencia de cargas en juntas de firmes de hormigón.
- Control de ejecución de coronación de explanada y capas granulares.

ANALIZADOR DE REGULARIDAD SUPERFICIAL (ARS)



Descripción

Equipo constituido por un vehículo tractor y un remolque compuesto por dos brazos rígidos apoyados en ruedas que recorren la calzada. Un péndulo inercial situado en uno de los brazos constituye la referencia fija para medir los movimientos angulares del brazo rígido, mediante un captador angular de inducción.



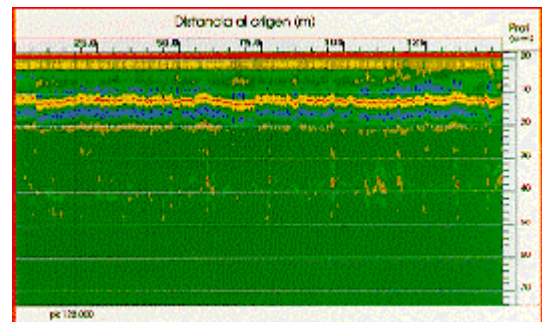
Características técnicas

- Velocidad de ensayo de 22, 55 ó 90 km/h.
- Las lecturas se toman cada 25 cm.
- Proceso de captación de datos basado en un microprocesador que trabaja en tiempo real.
- El equipo es capaz de medir las ondulaciones correspondientes a longitudes de onda entre 0,6 y 30 m.
- Amplitud máxima de los movimientos relativos medibles del brazo: ± 10 cm.

Aplicaciones

Evaluación de la regularidad superficial y control de la evolución de los firmes. El equipo permite la obtención del Índice de Regularidad Internacional (IRI).

EQUIPO DE GEORRADAR DE CARRETERAS

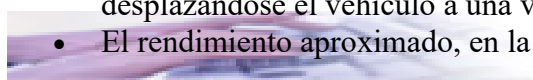


Descripción

Equipo basado en la adaptación de la técnica geofísica de prospección del subsuelo, constituido por un sistema portátil de RADAR, que permite, mediante reflexión de ondas electromagnéticas, evaluar espesores de capas de firme de forma continua, no destructiva, midiendo el intervalo de tiempo transcurrido entre los ecos producidos en sus interfaces. El equipo va montado sobre un vehículo y puede hacerse la auscultación sin que afecte al flujo normal de tráfico.

Características técnicas

- El equipo dispone de dos pares de antenas biestáticas cuya frecuencia central de trabajo es de 1 GHz, de dos antenas monoestáticas de 500 MHz y de un sistema de posicionamiento global (GPS). Puede trabajar con cuatro canales de lectura simultáneamente.
- Las señales reflejadas por el pavimento pueden ser filtradas y amplificadas, en tiempo real, pudiendo visualizarse en un monitor.
- La velocidad máxima de auscultación es de 80 km/h.
- La distancia mínima entre mediciones es de 25 cm, usando una sola antena y desplazándose el vehículo a una velocidad máxima de 60 km/h.
- El rendimiento aproximado, en la toma de datos, es de 400 km/día.



Aplicaciones

- Medida y registro de espesores de capas de firmes de carretera.
- Detección de heterogeneidades y anomalías en el interior del firme (cambios estructurales, humedades, etc.)
- Auscultación tanto de tramos concretos como del conjunto de la red (Sistemas de Gestión de Firmes).

VIÁGRAFO

Equipo de medida de tipo geométrico de la regularidad superficial de un firme de carretera.

Consta de ocho ruedas alineadas, unidas entre sí por medio de balancines, y una rueda libre vertical colocada en posición central y alineada con las otras ocho. La velocidad de ensayo es de 2-8 km/h, y el registro de datos se realiza mediante ordenador.



PERFILÓMETRO PIVOTANTE

Descripción

El Dipstick (Digital Incremental Profiler) es un equipo electrónico de alta precisión, para la evaluación de la regularidad superficial de los pavimentos.

Mide y graba, automáticamente, en la memoria del microordenador incorporado, la diferencia de cotas entre puntos separados secuencialmente 250 mm, pivotando alternativamente alrededor de sus dos patas de apoyo. Los datos de elevación registrados se utilizan mediante un programa preparado al efecto, para la obtención del Índice de Regularidad Internacional (IRI).

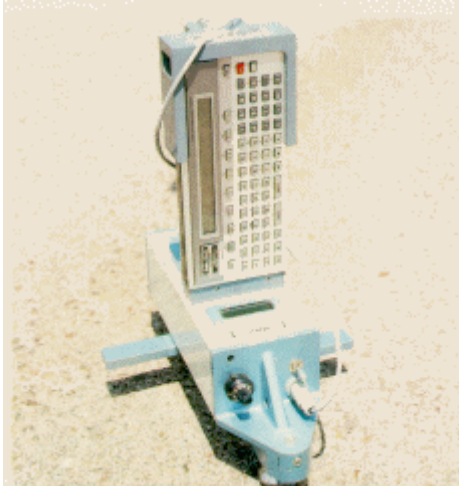
El empleo es manual y por un solo operador.

El Centro de Estudios de Carreteras cuenta con dos perfilómetros pivotantes, cuyas características técnicas se señalan a continuación:



Características técnicas

Dipstick



- Sistema de medida en caja estanca dotada de dos patas de apoyo con una distancia de 0,25 m entre ellas.
- Calculadora programable Radio Shack TRS-80, para toma de datos y almacenamiento de los mismos.
- Baterías de alimentación.
- Bastón de manejo.
- Rendimiento: 200 m/día.

DS 2000



- Sistema de medida en caja estanca dotada de dos patas de apoyo con una distancia de 0,25 m entre ellas.
- Calculadora programable Mininote™ 3000, para toma de datos y almacenamiento de los mismos.
- Baterías de alimentación.
- Bastón de manejo.
- Rendimiento: 200 m/día.

Elementos Auxiliares

- Placa de calibración.
- Cargador de baterías.

Aplicaciones

- Medida y registro de la regularidad superficial de un pavimento.
- Obtención del perfil del mismo.

PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO



Descripción

Penetrómetro portátil, constituido por una masa deslizante que se deja caer por gravedad sobre un yunque de impacto, y que por medio de una varilla transmite la energía a una puntaza cónica que se hince en el terreno.



Características técnicas

- Martillo de impacto: masa deslizante de acero de 8 Kg.
- Recorrido de la masa: 575 mm.
- Varilla de acero de 16 mm de diámetro y penetración máxima 800 mm bajo la superficie (varilla suplementaria de longitud útil 400 mm).
- Puntaza cónica enroscable de 20 mm de diámetro y ángulo de cono 60°.

Aplicaciones

Utilización en capas granulares de firme.

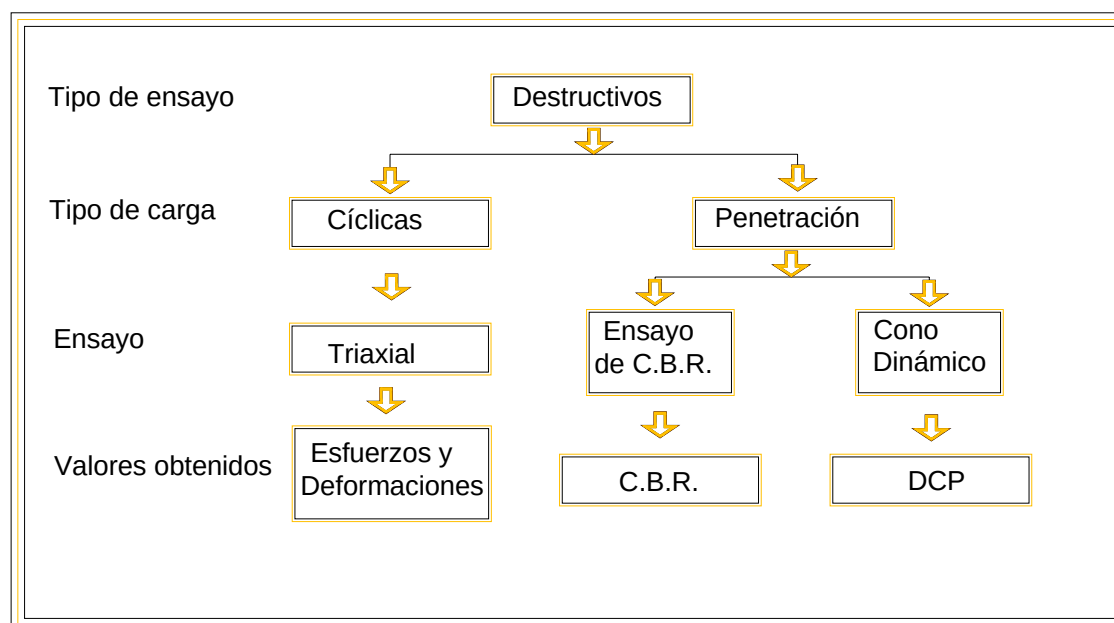
- Medida de la resistencia a la penetración.
- Determinación de espesores de las capas de firme.
- Evaluación de la capacidad portante de las capas de firme (correlación con índice CBR).
- Evaluación de las características mecánicas de los materiales de las capas de firme (correlación con el módulo de deformación).

EVALUACION Y DIAGNOSTICO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS

Los factores climáticos influyen en la vida de los pavimentos, por lo que en el proyecto se deben de tomar en cuenta y la intensidad del tránsito también se refleja en el aspecto que se analiza, prever el crecimiento futuro así como el tipo de vehículos circulantes.

METODOS DE EVALUACION ESTRUCTURAL

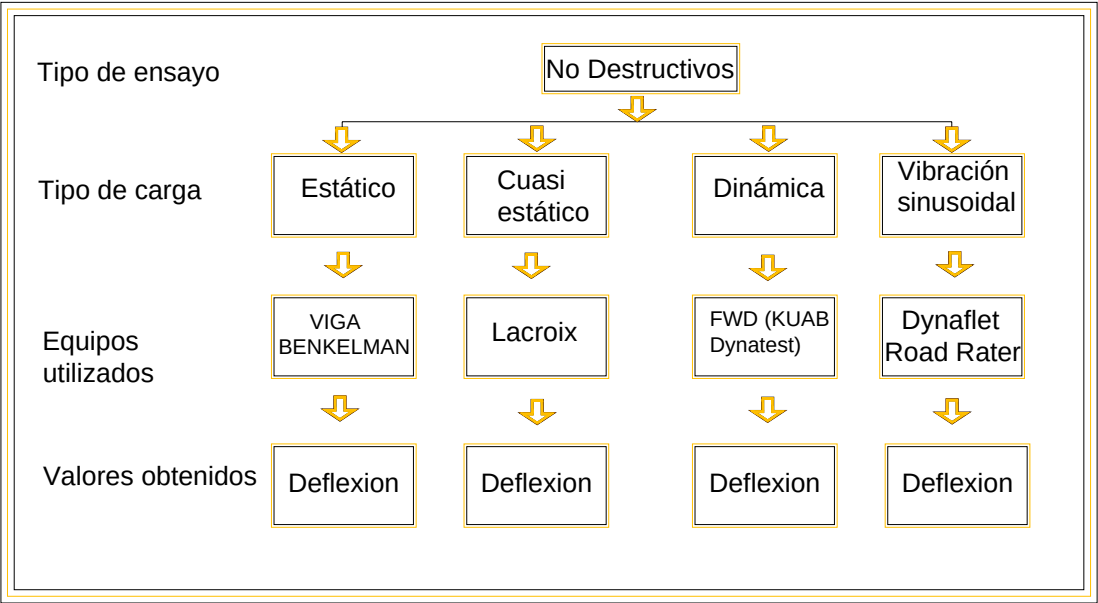
1. METODOS DE LOS DEGRADOS ASOCIADOS CON CARGA
2. ANALISIS DE LOS COMPONENTES DE LA ESTRUCTURA
3. PLUEBAS NO DESTRUCTIVAS (NDT)



Ejemplo de una prueba destructiva



Agrietamiento superficial por fatiga en la capa asfáltica



PLUEBAS NO DESTRUCTIVAS (NDT)

- 1.- Las pruebas de evaluación no destructivas brindan un soporte im portante, rápido y confiable, en la determinación de la capacidad estructural de un pavimento en servicio.
- 2.- Reduce el número de ensayos de laboratorio.
- 3.- Rapidez de ejecución.
- 4.- Las cargas en la prueba son reales (vehículos).

POSIBLES RESULTADOS DE NDT

- 1.- Variabilidad de proyecto
- 2.- Capacidad portante de la subrasante
- 3.- Propiedades de los materiales.
- 4.- Períodos anuales críticos
- 5.- Suficiencia estructural.
- 6.- Localización de vacíos
- 7.- Capacidad de transferencia de carga en pavimentos rígidos.

IMPORTANCIA DE LAS SOLICITACIONES DEL PAVIMENTO.

TIPOS DE EQUIPO NDT

- 1.- ESTATICO**
- 2.- VIBRATORIO**
- 3.- IMPULSO**
- 4.- PROPAGACION DE ONDAS SUPERFICIALES**

1.- ESTATICO

VIGA BENKELMAN
DEFLECTOGRAFO LACROIX

VENTAJAS

Facilidad de uso
Bajo costo del equipo
Amplio y extendido uso.

DESVENTAJAS

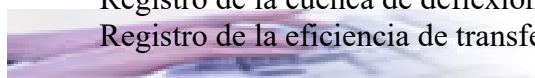
Dificultad para asegurar que los soportes frontales no están en la cuenca de deflexión.
Dificultad o inhabilidad para determinar la forma y tamaño de la cuenca de deflexiones.
Pobre repetibilidad de las medidas.
Intensivo en mano de obra y laborioso montaje.

2.- VIBRATORIO

DYNAFLET
ROAD RATER

VENTAJAS

Rápido, repetibilidad alta, equipo robusto
Registro de la cuenca de deflexión
Registro de la eficiencia de transferencia de carga y posible existencia de vacíos.



DESVENTAJAS

La precarga estática es grande con relación a la carga dinámica (puede modificar propiedades de los materiales por confinamiento)
Difícil coincidir frecuencia de ensayo con frecuencia de vehículos. Baja frecuencia de aplicación de carga.
Costo del equipo.

3.- IMPULSO

DEFLECTOMETROS DE IMPACTO

VENTAJAS

Rápido (hasta 60 pruebas por hora)
Repetibilidad alta
Equipo robusto
Registro de la curva de deflexión
Registro de la eficiencia de transferencia de carga y posible existencia de vacíos.
Simula mejor las cargas del vehículo.
Aplicación de diferentes valores de carga.

DESVENTAJAS

Costo del equipo

4.- PROPAGACION DE ONDAS SUPERFICIALES

SEISMIC PAVEMENT ANALYZER

Se tienen en cuenta parámetros de velocidad de onda, amplitud y longitud de onda.
Relaciona la velocidad de la onda superficial con la rigidez del material.

EN RESUMEN LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA MEDIDA DE LAS DEFLEXIONES

1.- CARGA

- Diferentes niveles de carga.

2.- PAVIMENTO

- Presencia de deterioros
- Deflexión en la huella mayor que entre huellas.
- Deformación cerca juntas mayores a centro de la losa.
- Deflexión en cortes, a nivel y rellenos son diferentes, según la distancia a estrato rígido.
- Vacíos bajo las losas incrementan la deflexión
- Variaciones en procesos constructivos, materiales, etc.

3.- CLIMA

- Variación de la deflexión por periodos del año y subrasante.
- Contenido de humedad
- Temperatura
- Penetración de congelamiento
- Tipo de subrasante



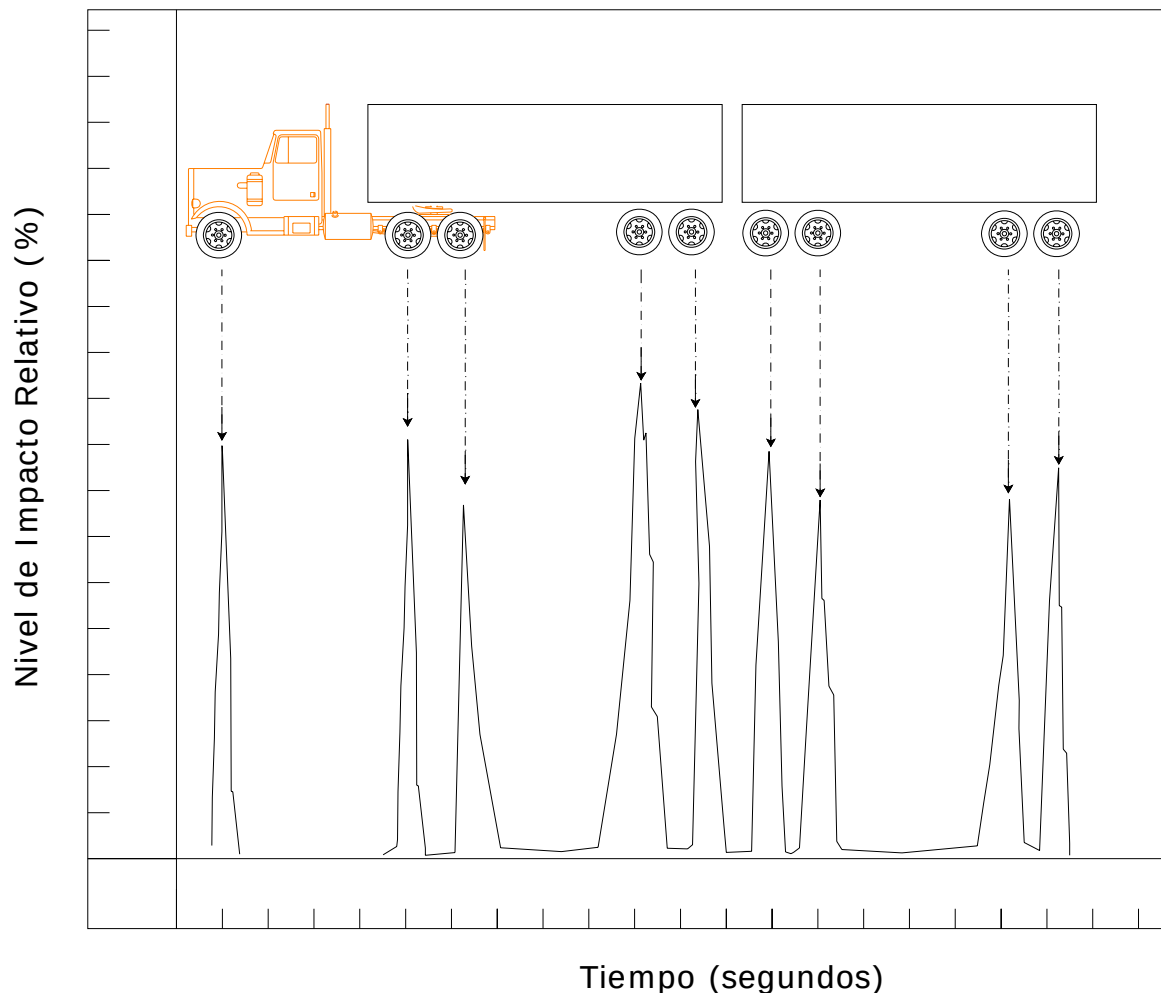
4.1.6. Comportamiento de materiales granulares bajo una carga repetida

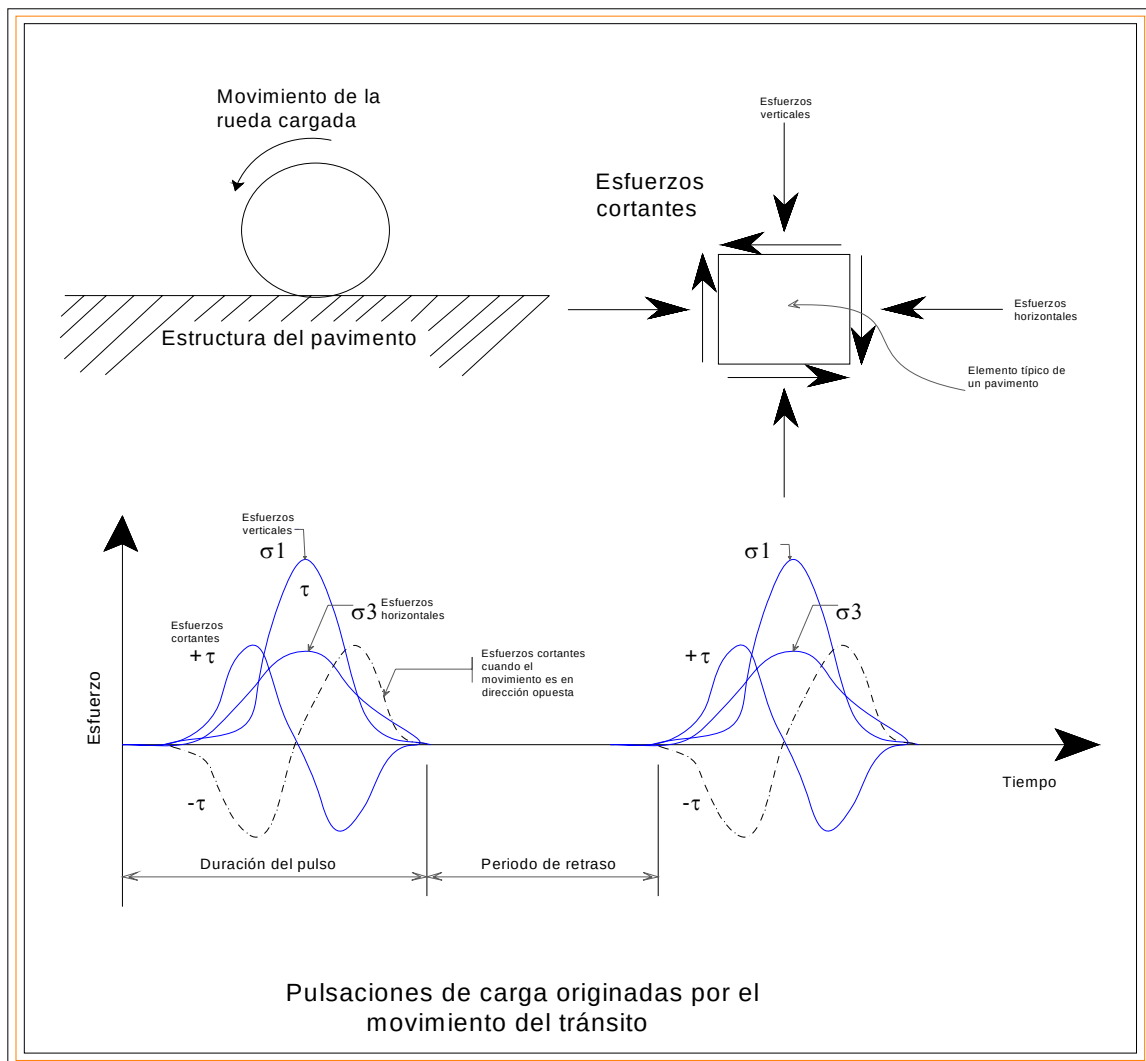
Introducción

Uno de los factores más importantes en la caracterización de los materiales de pavimentación es la deformación permanente que experimentan por efecto de la repetición de cargas, este factor es quizá el más importante a considerar, si se toma en cuenta que, en la mayoría de los casos, los pavimentos llegan a la falla debido al grado de deformación que han sufrido, disminuyendo su calidad de servicio a niveles de rechazo.

Por lo anterior, en los estudios de materiales para pavimentación debe ponerse especial énfasis en la determinación de las características de deformación permanente.

Una de las formas de deterioro más fuertemente asociada a los mecanismos de falla de los pavimentos flexibles **es la formación de roderas**, las cuales se generan por la acumulación de deformación permanente en la superficie, que puede, en principio, incluir contribuciones de todas las capas del pavimento.

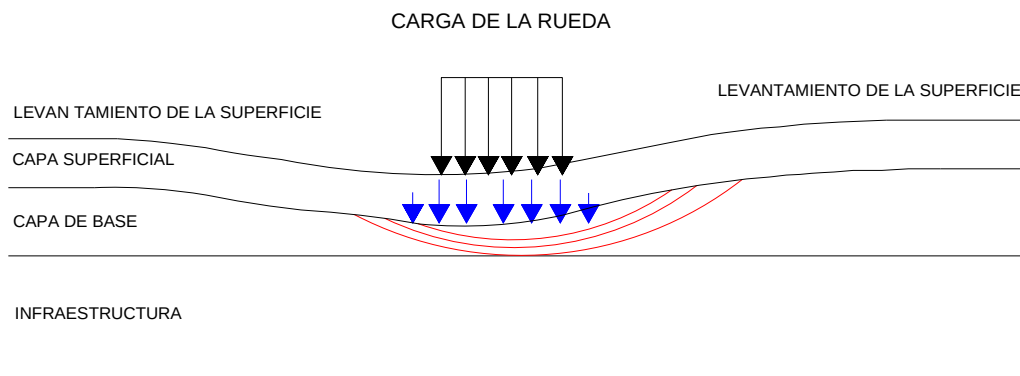




En la Figura anterior se puede apreciar el desarrollo de los esfuerzos verticales, horizontales y cortantes (generados en un elemento del suelo) originados por la aplicación de las cargas impuestas por el tránsito.



ILUSTRACION DE DEFORMACION DE RODERAS EN UN PAVIMENTO ASFALTICO, SEÑALANDO LAS DEFORMACIONES DE LAS DIFERENTES CAPAS, QUE CONTRIBUYEN A LA DEFORMACION PERMANENTE TOTAL EN LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO INDICADA COMO PROFUNDIDAD DE RODERA



MECANISMO DE DEFORMACION DE RODERAS EN UN PAVIMENTO ASFÁLTICO

4.2 Número de aplicaciones de carga

El crecimiento de la deformación permanente en materiales granulares bajo carga repetida es un proceso gradual durante el cual cada aplicación de carga contribuye a la acumulación de deformación mediante un pequeño incremento. El número de ciclos de carga es, por lo tanto, uno de los factores más importantes para considerar en el análisis del comportamiento a largo plazo de tales materiales. Algunos investigadores (Morgan, 1966; Barksdale, 1972; Sweere, 1990) han reportado continuamente incrementos de la deformación permanente bajo carga repetida. Otros han sugerido que el comportamiento plástico de materiales granulares se estabiliza gradualmente, haciendo posible definir un valor límite para la acumulación de la deformación permanente. Lekarp y Dawson (1988) **argumentan que la estabilización se logra sólo** cuando los esfuerzos aplicados son bajos. Por otra parte, altos valores de esfuerzos, podrían resultar en incrementos continuos de deformación permanente y deterioro gradual.

4.3 Comportamiento a fatiga de suelos estabilizados

4.3.1 Introducción

El agrietamiento en pavimentos debido a fatiga bajo carga repetida ha sido reconocido por muchos años como la forma más común de falla.

La caracterización de las solicitaciones en los pavimentos depende de la magnitud de las cargas, forma geométrica de las solicitaciones, velocidad de los vehículos y estado tensional que producen las cargas.

La magnitud de las cargas está en función de la composición del tránsito que circula sobre las carreteras y el número de repeticiones de cargas que produce el paso de estos vehículos.



Con respecto a la forma geométrica de las solicitaciones, en el diseño de pavimentos flexibles, se asume que cada llanta tiene un área de contacto de forma circular, lo cual no incurre en un error significativo para los análisis propios del diseño.

Los neumáticos de los vehículos se apoyan sobre el pavimento produciendo una huella de forma distinta para cada tipo de neumático, presión de inflado, carga por rueda, velocidad y estado de la superficie. Cuando está en movimiento, además de variar la forma de la huella, aparecen solicitaciones distintas a las verticales, que son las que existen cuando el vehículo está detenido o con movimiento uniforme: aparecen esfuerzos horizontales debido al rozamiento y a los cambios de trayectoria, succiones de agua contenida en la sección estructural y esfuerzos verticales de impacto por efectos del movimiento del vehículo y las irregularidades de la carretera.

El funcionamiento correcto del pavimento depende en gran medida de las propiedades mecánicas de los materiales. Los suelos que conforman la estructura están sujetos a cargas normales repetidas y a esfuerzos cortantes que varían sus magnitudes con el paso de los vehículos.

Los esfuerzos aplicados por una llanta se aproximan a una onda de forma senoidal, cuya duración depende de la velocidad del vehículo y de la profundidad del punto al que se está haciendo referencia.

En vista de que la velocidad del vehículo no es constante, se recomienda (con fines de estandarización), la onda senoidal con tiempo de duración de 0.1 segundos de aplicación de carga y un periodo de reposo de 0.9 segundos.

La carga que transmiten los vehículos es en forma de pulsos, cuya magnitud depende de la presión de inflado de las llantas y de la carga por eje; además, la duración de aplicación del pulso depende de la velocidad y del nivel de tránsito diario.



IV. c. VIGA BENKELMAN

INTRODUCCION

Cuando un pavimento esta por terminar su vida útil necesita rehabilitarse, etapa que requiere de estudios detallados para lograr soluciones adecuadas, que involucren costos de reconstrucción favorables.

Los lineamientos para la evaluación de pavimentos flexibles de carreteras que aquí se señalan, son un auxiliar importante en la toma de decisiones y permiten fijar prioridades de obra.

“La evaluación de un pavimento consiste en la realización de una serie de acciones, cuyo objeto es conocer el estado que guardan la estructura y la superficie de rodamiento con el fin de proponer las obras necesarias para prolongar su vida útil y mejorar su nivel de servicio”.

Los estudios de evaluación son aplicables no solo a tramos carreteros con pavimentos en mal estado, sino también a tramos de condiciones aceptables, ya que permiten determinar cuando resulta conveniente realizar trabajos de conservación en previsión de daños mayores, con lo cual se logra mejor uso de los recursos destinados para mantener su operación.

Como ya se ha mencionado, en la actualidad las mediciones no destructivas utilizadas en evaluaciones, generalmente se realizan con la viga Benkelman y en casos aislados se emplea el Dynaflect, este último es muy difícil de aplicar en forma sistemática, también por razones de poco uso en el país por la mayoría de los organismos evaluadores de pavimentos (S.C.T.).

Las etapas de estudio de evaluación de pavimentos son las siguientes:

- 1.- Zonificación previa de la carretera, con base a la recopilación y análisis de su historia y en los resultados de un recorrido general.
- 2.- Una vez definidos los tramos homogéneos en características físicas, se obtienen datos de la condición superficial, deducida de la Calificación Actual que realiza anualmente la S.C.T. (Unidades Generales de Proyectos, Servicios Técnicos y Concesiones), se elabora un diagnostico preliminar.
- 3.- Realización del levantamiento detallado de los deterioros, mediciones de rebote elástico con Viga Benkelman, ejecución de calas a cada kilómetro para determinar espesores de carpeta y base, con muestreos mínimos para conocer sus espesores y características de calidad.
- 4.- Estimación de transito futuro.
- 5.- Evaluación estructural del pavimento para cada zona homogénea, presentación grafica de la información y elaboración de recomendaciones de reparación o reconstrucción (este último se tocara con mayor detalle en el CAP. V).



RECOPIACION DE DATOS HISTORICOS Y RECORRIDO GENERAL

Antecedentes de construcción: Se obtiene de la dependencia encargada de la conservación del camino de la siguiente información:

- Fecha de construcción y dependencia que lo construyó.
- Características geométricas y estructurales de proyecto.
- Bancos de materiales utilizados
- Características del drenaje y subdrenaje.
- Volumen de tránsito inicial registrado y evolución del mismo.
- Calificación inicial del camino y antecedentes de evaluación.

Historia de la conservación del camino: Se obtiene de la dependencia encargada de conservación del camino la siguiente información:

- Descripción de tramos en cuanto a requerimientos de conservación
- Tipos de fallas más comunes y sus posibles causas.
- Tipos de conservación aplicada (bacheo, calafateo, renivelaciones, sobrecarpetas, etc.).

Para realizar la zonificación preliminar del camino, para determinar las zonas homogéneas en características físicas, se debe realizar un recorrido general tomando en cuenta lo siguiente:

- 1.- Topografía, geología (para conocer el tipo de terreno y sus formaciones rocosas y de suelo).
- 2.- Estado en que se encuentra el drenaje y subdrenaje del camino.
- 3.- Se deberán identificar las características geométricas del camino.
- 4.- Estado actual de la superficie de rodadura y delimitar las zonas que en función de sus deterioros se consideren homogéneas, de acuerdo al estado en el que se encuentren.
- 5.- Se deberá tomarse en cuenta la localización de entronques, poblados, ríos y cualquier otro rasgo que pueda definir tramos homogéneos.

CALIFICACION ACTUAL

La estimación de la condición superficial del pavimento para cada tramo homogéneo se hará mediante la Calificación Real que asignan cada año las Unidades Generales de Proyectos, Servicios Técnicos y Concesiones conjuntamente con las Residencias Generales de Conservación. Dichas calificaciones anuales servirán para definir la curva de comportamiento desde la última reparación o reconstrucción, graficando las calificaciones con respecto al tiempo (como se muestra en las graficas del capítulo VI).

La Calificación Real se obtiene del promedio que asignan cinco observadores individualmente, atendiendo a la siguiente escala de referencia.



CALIFICACION

CALIFICACION		CONDICION SUPERFICIAL
5		Excelente
4 a 5		Muy buena
3 a 4		Buena
2 a 3	Siendo el 2.5 el límite de rechazo.	Regular
1 a 2		Mala
0 a 1		Muy mala

Aun cuando las calificaciones individuales varían ampliamente, el promedio de los cinco observadores es consistente y permite una estimación adecuada del Índice de Servicio Actual o condición superficial real del pavimento.

Uno de los aspectos más importantes en el pavimento es la descripción del tipo de deterioros presentes en la superficie de rodamiento, entendiéndose como deterioro toda aquella condición que signifique una pérdida de las características de servicio para las que fue diseñado, pudiendo ser tanto del tipo estructural como funcional (en el CAPITULO V se presentan los deterioros mas comunes y un posible criterio de reparación).

MEDICIONES DE REBOTE ELASTICO

Primeramente se debe tener claro la diferencia que existe entre **deflexión y rebote elástico**. Se entiende por deflexión la máxima deformación vertical que sufre la superficie de un pavimento bajo la acción de una carga normalizada y se define como rebote elástico la máxima recuperación experimentada por la misma superficie cuando esa carga se retira; teóricamente, el rebote elástico es menor que la deflexión, llamándose deformación permanente a la diferencia.

Como el procedimiento de medición es con la viga Benkelman, se mide la recuperación de la superficie de pavimento, se puede decir que con este dispositivo se efectúan mediciones de rebote elástico y no de deflexiones.

MEDICION DE LAS DEFLEXIONES

VI. c. 1. EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN

Mayormente se apoya en el Índice de Servicio Actual (ISA) y en el levantamiento a pie se programaron las mediciones con la viga Benkelman para conocer las condiciones elásticas de la superficie de rodamiento.

Dentro de los trabajos de medición de las deflexiones se van anotando la temperatura promedio de la carpeta y la temperatura promedio en el ambiente, siendo estos en subtramos de seiscientos metros, con cadenamientos a cada veint metros, por ejemplo en uno de nuestros tramos:

Del km. 0 + 100 al km. 0 + 600 RAMAL OZUMBA

Del km. 0 + 100 al km. 0 + 600 RAMAL A EXCONVENTO DE ACOMAN



Las mediciones de las deflexiones para nuestro caso se llevarán a cabo empleando una VIGA BENKELMAN de marca Soiltest No. HT-350, cuya relación de brazo de palanca es de 2:1, utilizando un micrómetro de aproximación de 0.001 pulgada.

Para encontrar el rebote elástico, se utiliza un camión del tipo C2 regularmente, lastrado con un peso total de 8.2 ton. En el eje trasero, llantas de eje dual en Tandem, medida 1000-20 de 12 capas, con una presión de inflado de 5.8 Kg./cm² (82.4 Lb./pulg.²).

Se realizan 31 lecturas en cada subtramo de 600 mts., alternándolas en la rodada externa e interna. También se toman medidas de temperatura en la carpeta al inicio y al final de cada subtramo, haciendo un pequeño agujero de 3 cm., de profundidad para cada medición en dichos agujeros se introduce el termómetro, previamente humedecido con aceite para excitarlo y poder tomar la lectura correspondiente.

Las lecturas obtenidas se corrigen por temperatura y por brazo de palanca; con los resultados obtenidos se elabora una gráfica, y se calcula la deflexión característica.

A continuación se presenta un esquema de la viga Benkelman (figura 4.1)

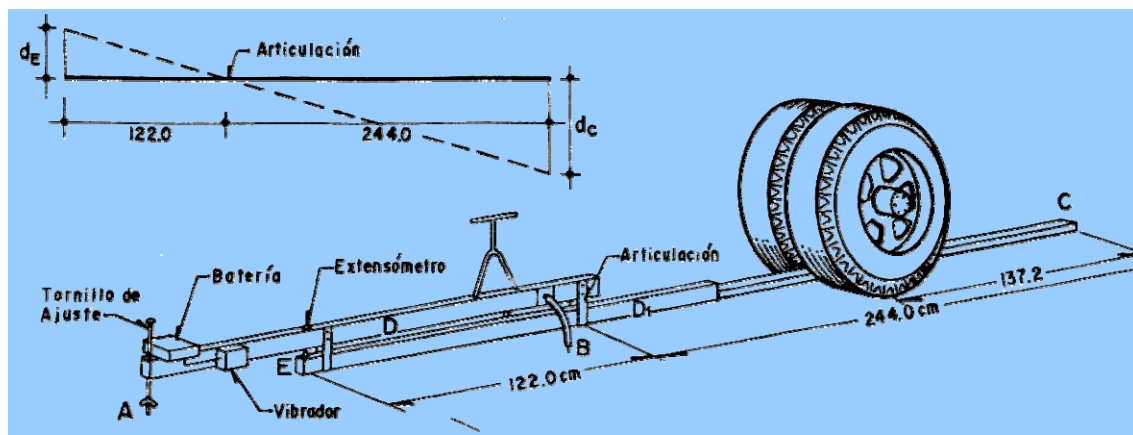


Fig. 4.1

En la figura 4.2 se observa el momento en el que se ensambla la viga Benkelman, de igual forma se observa cuando se toma la lectura superficial de la carpeta con la ayuda de un termómetro.





La metodología recomendada para llevar a cabo las mediciones de rebote elástico con la viga Benkelman es:

1.- Se deberán elaborar larguillos en los cuales se presente n gráficamente aspectos tales como la topografía, la sección geométrica, entronques importantes, condiciones de drenaje, calificación, tipo de daños e índice de deterioros; deberán de superponerse estos conceptos a fin



de que, dentro de toda longitud estudiada, puedan determinarse tramos de similares características respecto a los conceptos mencionados.

2.- A estos tramos así determinados se le llamarán "tramos homogéneos", que tendrán características similares en relación a los conceptos mencionados en el párrafo anterior.

3.- En cada tramo homogéneo de 5 Km. de longitud se tendrá un subtramo de prueba, en el cual se efectuarán mediciones con la viga Benkelman.

4.- Los tramos de prueba se ubican en el campo, señalando con pintura los puntos de toma de lectura; se localizarán de ser posible en tangente, con visibilidad suficiente para el manejo de tránsito mediante bandejeros. A fin de tener una población de lecturas que facilite el manejo estadístico se recomienda tener 30 lecturas por subtramo, lo cual se logra en longitudes de 600 m con lecturas a cada 20 m, o en tramos de 300 m con lecturas a cada 10 m, en caso de que el trazo del camino no permita longitudes mayores. Deberá de tomarse el carril más dañado para las mediciones, alternándolas en la rodada externa 2 por una de la interna; en carreteras de más de dos carriles se tomará

5.- Los resultados obtenidos, se corrigen por temperatura como se señala posteriormente y estos resultados deberán graficarse a escala aritmética, colocando en las ordenadas el rebote elástico medida en las abscisas el kilometraje o cadenamiento de cada estación de lectura, diferenciando las lecturas de la rodada tanto externa como interna y señalando con una línea horizontal el rebote elástico característico para el subtramo.

Cabe mencionar que los subtramos de prueba deben ser representativos de los tramos homogéneos que se tienen, pues de otra manera los resultados no serán confiables.

Para llevar a cabo las mediciones, se utiliza la carga del eje trasero de un camión lastrado de manera que dicho eje pese 8.2 ton. (18000 lbs); el eje debe ser sencillo, con ruedas dobles, llantas en buen estado e infladas a una presión de 80 lb/plg² (5.6 kg/cm²).

En la figura 4.3 se puede observar el momento en el que se lleva a cabo la medición.



Figura 4.3



LAS SIGUIENTES IMÁGENES SE OBSERVAN COMO SE LLEVA ACABO LA MEDICION EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN



Recorrido preliminar



Marcado



Tomando la temperatura del pavimento



Inicio de la medición



Tomando la temperatura



Momento de arranque



La deflexión representativa del rebote.- **“Deflexión Característica”**. Este valor es el promedio de las deflexiones individuales corregidas por temperatura, más dos veces la desviación estándar, que de ser necesario, se ajusta multiplicándolo por un factor de período crítico. El valor resultante equivale aproximadamente al 97 % de las deflexiones medidas.

$$\delta_c = (\underline{X}_m + 2\gamma) \times f_c$$

En Donde:

$\underline{X}$ = Promedio de los valores individuales corregidos por temperatura.

γ = desviación estándar.

C = Factor de ajuste por período crítico.

$$\gamma = \sqrt{(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}) / (n-1)}$$

En Donde:

X = Valores individuales corregidos por temperatura

$\underline{X}$ = Promedio de los valores individuales corregidos.

n = Número de valores individuales.

El factor de ajuste por período crítico “C”, varia de C = 1 cuando el período corresponde a un crítico (mayor pérdida de resistencia por saturación de los materiales) y se estima que en época de estiaje el factor por período crítico podría ser del orden de 1.5, este factor se toma mediante la experiencia del operador.

La corrección por temperatura se realiza con la ayuda de la grafica 4.4, que se presenta a continuación.

Para conocer el factor de ajuste por temperatura promedio de la carpeta en °C, y con espesor de la carpeta (se obtiene a través de los sondeos a cielo abierto), posteriormente se entra horizontalmente con la temperatura, hasta cortar con la curva correspondiente y por ultimo se toma el factor de ajuste por temperatura que corresponda en el eje de las ordenadas.



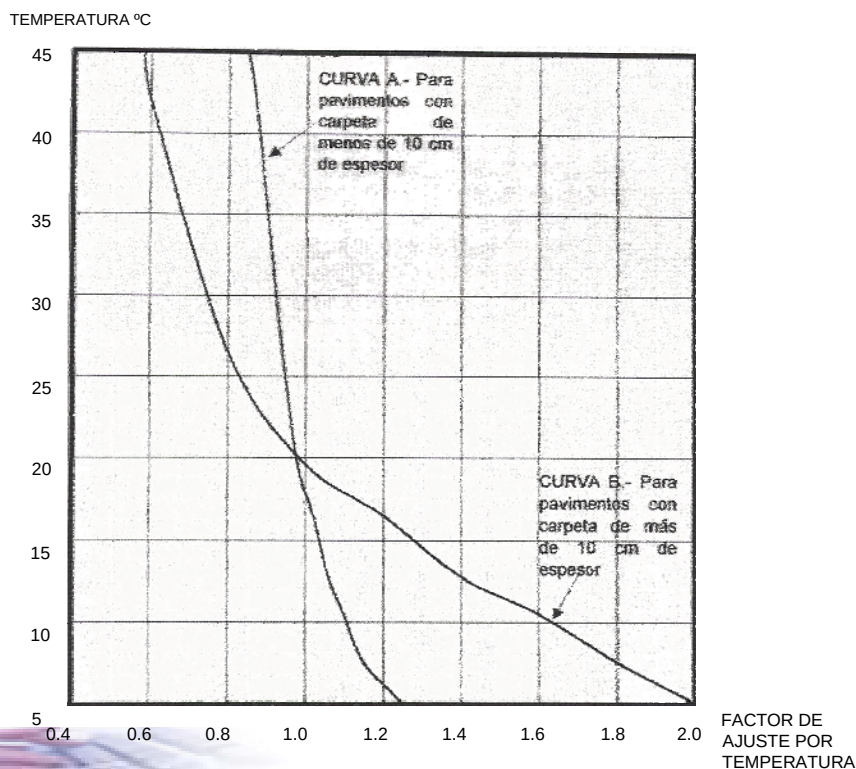
FACTORES DE AJUSTE POR TEMPERATURA PARA DEFLEXIONES CON VIGA
 BENKELMAN
 METODO DEL INSTITUTO NORTEAMERICANO DEL ASFALTO

TEMPERATURA CARPETA	FACTOR DE AJUSTE	
	CURVA "A"	CURVA "B"
10°C	1,100	1,620
11°C	1,080	1,535
12°C	1,065	1,450
13°C	1,050	1,380
14°C	1,035	1,315
15°C	1,025	1,250
16°C	1,020	1,190
17°C	1,015	1,140
18°C	1,050	1,080
19°C	0,995	1,040
20°C	0,985	0,990
21°C	0,980	0,950
22°C	0,975	0,920
23°C	0,970	0,875
24°C	0,960	0,840
25°C	0,955	0,820
26°C	0,950	0,790
27°C	0,945	0,770
28°C	0,940	0,750
29°C	0,930	0,725
30°C	0,925	0,710

TEMPERATURA CARPETA	FACTOR DE AJUSTE	
	CURVA "A"	CURVA "B"
30°C	0,925	0,710
31°C	0,920	0,700
32°C	0,915	0,685
33°C	0,910	0,675
34°C	0,900	0,665
35°C	0,890	0,655
36°C	0,885	0,645
37°C	0,880	0,640
38°C	0,875	0,630
39°C	0,875	0,620
40°C	0,870	0,615
41°C	0,860	0,610
42°C	0,850	0,600
43°C	0,845	0,595
44°C	0,840	0,585
45°C	0,835	0,580
46°C	0,830	0,575
47°C	0,820	0,570
48°C	0,815	0,565
49°C	0,805	0,565
50°C	0,800	0,560

Grafica 4.4

FACTOR DE AJUSTE POR TEMPERATURA



ANÁLISIS DE TRANSITO

A continuación se describen los procedimientos establecidos por el análisis del tránsito de los ejes equivalentes acumulados, a fin de utilizar los resultados en la evaluación estructural de los pavimentos por los métodos del "Instituto de Ingeniería de la UNAM" (diseño inverso) y por deflexiones, con base en la metodología general del "Instituto del Asfalto".

Los datos requeridos para el análisis por cualquiera de los dos procedimientos es el siguiente:

- 1.- Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) del año en estudio.
- 2.- Composición vehicular
- 3.- Coeficiente de distribución para el carril de proyecto.
- 4.- Tasa de crecimiento anual del tránsito.
- 5.- Período de diseño.

ANTECEDENTES DE CONSTRUCCION Y CONSERVACION

Las velocidades se clasificaran de acuerdo con su Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) para el horizonte de proyecto, en la siguiente forma:

a).- Tipo "A"

Tipo "A2" para un (TDPA) de 3,000 a 5,000 vehículos.

Tipo "A4" para un (TDPA) de 5,000 a 20,000 vehículos.

b).- Tipo "B" para un (TDPA) de 1,500 a 3,000 vehículos.

c).- Tipo "C" para un (TDPA) de 500 a 1,500 vehículos.

d).- Tipo "D" para un (TDPA) de 100 a 500 vehículos.

e).- Tipo "E" para un (TDPA) de hasta 100 vehículos.

Procedimiento del Instituto de Ingeniería.- Conocidos los datos de entrada enumerados anteriormente, se proceda a calcular el "Tránsito acumulado en función de los ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton". El procedimiento consiste básicamente en obtener la suma de los productos del número de vehículos en el carril de proyecto por los coeficientes de daño correspondientes a la profundidad de cálculo; la suma de los anteriores productos (Tránsito equivalente inicial) se afectará por un "Coeficiente de acumulación de tránsito". Que dependa de la tasa de crecimiento y del período de diseño considerado.

Procedimiento del Instituto del Asfalto.- En esencia, este procedimiento es semejante al anterior, excepto que los coeficientes de daño o "Factores de carga" son diferentes.

El "Número de aplicaciones de carga de este eje equivalente" se calcula multiplicando el número de vehículos de cada tipo por el apropiado factor de carga y por un "Factor de Crecimiento" que toma en cuenta la tasa de crecimiento anual y el período de diseño, sumando los productos resultantes (CEE).

METODOS PARA DETERMINAR ESPESORES DE REFUERZO DE PAVIMENTOS.

1.- METODO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA UNAM.

Con este método se calcula el espesor necesario de pavimento en grava equivalente (GE), arriba de las terracerías, del terreno natural y de la subrasante.

PROCEDIMIENTO:

A) Datos para el calculo.-

Clasificación del tránsito:

A2 = 33.594%	C2 = 15.870%	T2 – S2 = 1.460%
A'2 = 23.606%	C3 = 4.634%	T3 – S2 = 4.695%
B = 11.88%	T2 – S1 = 0.008%	T3 – S3 = 5.569%

$$(TDPA)_2 = 5396 \text{ VEH/DIA}$$

Tasa de crecimiento anual = 3.2% (se calcula con la información histórica de tránsito en la región, que se obtienen de la publicación de “datos viales” de la SCT).

Número de carriles por sentido = 1

Vida de proyecto del pavimento = 15 años.

Nivel de confianza; $Q_u = 0.9$

Relación del VRS del Terreno Natural; km.273 + 200 VRS = 3.80%

km . 280 + 000 VRS = 6.30%

VRS de la subrasante = 15.20% en los mismos km.

B) Calculo del tránsito acumulado de ejes sencillos de 8.2 toneladas.

Tasa de En el método de Ingeniería de la UNAM, esta variable se determina mediante la siguiente expresión:

$$\Sigma L = (K_c)(C_{at})(TDPA)$$



Donde:

ΣL = Tránsito acumulado en función de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton.

Kc = Coeficiente de daño según el tipo de vehículo y de las diferentes cargas por eje.

Este coeficiente varía con la profundidad, por lo que es la suma de los coeficientes individuales de los ejes, a esa profundidad

C_{at} = Coeficiente de acumulación del tránsito;

$$C_{at} = \left(\frac{(1+m)^n - 1}{m} \right) 365$$

n= años de servicio.

m = Tasa de crecimiento vehicular anual

Este coeficiente representa el número de vehículos que pasan por la carretera al cabo de “n” años de servicio, considerando a m = constante

En la tabla 4.5, se muestra el cálculo de este tránsito acumulado en ejes sencillos, considerando los efectos a diferentes profundidades bajo la superficie de rodamiento.

CARRETERA:	EJEMPLO	TRAMO:	EJEMPLO				SUB-TRAMO:				km 272+900 al km 273+500			
TDA = 5396 veh/día		COMPOSICIÓN:		A2=33.594% C3=4.634%		A'2=23.606% T2-S1=0.008%		B=11.88% T2-S2=1.46%		C2=15.870% T3-S3=5.569%				
TIPO DE VEHICULO	No DE VEHICULOS		COEFICIENTE DE DAÑO				NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES DE 8.20 TONELADAS							
	EN AMBOS SENTIDOS	EN EL CARRIL DE PROYECTO	Z = 0 cm	Z = 15 cm	Z = 30 cm	Z = 60 cm	Z = 0 cm	Z = 15 cm	Z = 30 cm	Z = 60 cm				
A ₂	4386	2193	0,004	0,000	0,000	0,000	3,772	0	0	0				
A' ₂	3082	1541	0,536	0,064	0,023	0,015	325,976	98,624	33,443	23,115				
B ₂	1551	775,5	2,000	1,890	2,457	2,939	1551	1463,695	1905,4035	2279,1945				
C ₂	2072	1036	2,000	1,890	2,457	2,939	2072	1958,04	2545,492	3044,504				
C ₃	605	302,5	3,000	2,817	2,457	2,940	907,5	852,1425	743,2425	892,35				
T ₂ - S ₁	1	0,5	3,000	3,431	4,747	5,759	1,5	1,7155	2,3735	2,8795				
T ₂ - S ₂	19	9,5	4,000	4,358	4,747	5,760	76	81,401	88,065	104,32				
T ₃ - S ₂	613	306,5	5,000	5,285	4,747	5,761	1532,5	1619,825	1454,955	1760,7465				
T ₃ - S ₃	727	363,5	6,000	5,239	4,746	5,758	2181	1904,3763	1725,171	2093,033				
TOTAL=		6526	T1, T2, T3, T4 = Tránsito equivalente inicial =				9118,248	7941,847	8457,1375	10152,843				
8 de carriles en ambas direcciones		coeficiente de distribución para el carril de proyecto		Años de servicio n=15				Tasa de crecimiento anual T = 3,20%						
2		50%		Coeficiente de acumulación del tránsito C=(365/0((1+0) ⁿ -1))				C =		6689				
4		40-50%		Tránsito acumulado suma L _{n1} = CT ₁				62615610,472						
6 o más		30-40%		suma L _{n2} = CT ₂				54711383,283						
				suma L _{n3} = CT ₃				58261220,238						
				suma L _{n4} = CT ₄				63942931,283						

TABLA 4.5

TABLA 4.5

C) Revisión estructural.

Datos considerados:

*Relación del VRS del terreno natural para calcular el VRS crítico:

Km. 273 + 200 VRS = 3.80%

Km. 280 + 000 VRS = 6.30%

Valor medio = 5.05%

Desviación estándar = 1.77%

Coeficiente de variación = 0.35

*VRS crítico = 5.05 (1-(1.282x0.35))

VRS crítico del terreno natural = 2.80%

*Tránsito acumulado; $\Sigma L = 69,942,931.983 = 6.99 \times 10^7$ para Z = 60 cm.

Entrando con los datos anteriores a la gráfica III.4.2, de Instituto de Ingeniería de la UNAM, para un nivel de confianza de 0.9, obtenemos que el espesor requerido arriba del terreno natural o terracerías (Z4), es de 115 cm. de grava equivalente (GE).

Asimismo considerando el VRS de la capa subrasante (15.2) y el tránsito para Z= 60cm, obtenemos que el espesor requerido arriba de la subrasante (Z3), es de 45 cm. de grava equivalente (GE).

Por otra parte se obtienen los siguientes factores de equivalencia (F.E), respecto a los espesores de grava equivalente (GE).

Carpeta asfáltica actual	= 1.4
Carpeta de concreto asfáltico nuevo	= 2.0
Base hidráulica	= 1.0
Base hidráulica nueva	= 1.5
Base hidráulica formada con carpeta existente	= 1.2
Sub-base	= 1.0

Con base a lo anterior, impera la siguiente estructura.



ESTRUCTURA CRITICA EXISTENTE	(F. E.)	Grava Equivalente (GE)
Carpeta asfáltica = 10.00 cm.	1.40	14.00 cm.
Base Hidráulica = 25.00 cm.	1.00	25.00 cm.
Sub-base = 10.00 cm.	1.00	10.00 cm.
Subrasante = 35.00 cm.	1.00	35.00 cm.
Suma = 75.00cm		84.00 cm.

La suma de los espesores en GE arriba del terreno natural es de 84.00 cm.

Entonces el espesor faltante es de $115.00 \text{ cm.} - 84 \text{ cm.} = 31 \text{ cm.}$



METODO DEL INSTITUTO NORTEAMERICANO DEL ASFALTO.

Este método está basado en el establecimiento de un límite de deflexión a la estructura del pavimento, el cual es en función del número e intensidad de aplicaciones de carga a que carga a que esta sujeta el pavimento estudiado.

Como primer paso para la aplicación de este método, se debe determinar el número de tránsito para diseño, como se menciona anteriormente en este mismo capítulo. La siguiente etapa es obtener las deflexiones del pavimento que se valúan por medio de la viga Benkelman o cualquier método equivalente; se especifica que el número de puntos estudiados no debe ser menor de 15 por km. o 10 en una sección de prueba, entendiéndose por ésta a un tramo del camino al que se le asignan características de deterioro más o menos uniformes (zonas mencionadas anteriormente). Los puntos estudiados deben distribuirse sobre el tramo escogido y debe calcularse la media aritmética de todos los valores obtenidos, así desviación estándar del conjunto de valores correspondientes a un tramo o una sección en estudio. La deflexión se obtiene bajo una carga de 8.2 ton que ejerce un sistema dual de llantas.

Se define el concepto de deflexión característica, esta deflexión deberá corregirse por temperatura, como se calcula en el ejemplo ilustrativo presentado anteriormente.

La deflexión característica y el número de tránsito para diseño son los datos con los que debe entrarse a la gráfica 4.6, en la que puede calcularse el espesor del concreto asfáltico que el pavimento necesita como refuerzo. Cabe mencionar que en ocasiones se utilizan capas de otra naturaleza aplicándoles un coeficiente de equivalencia, pero debe hacerse notar que esto no lo propone originalmente el método.



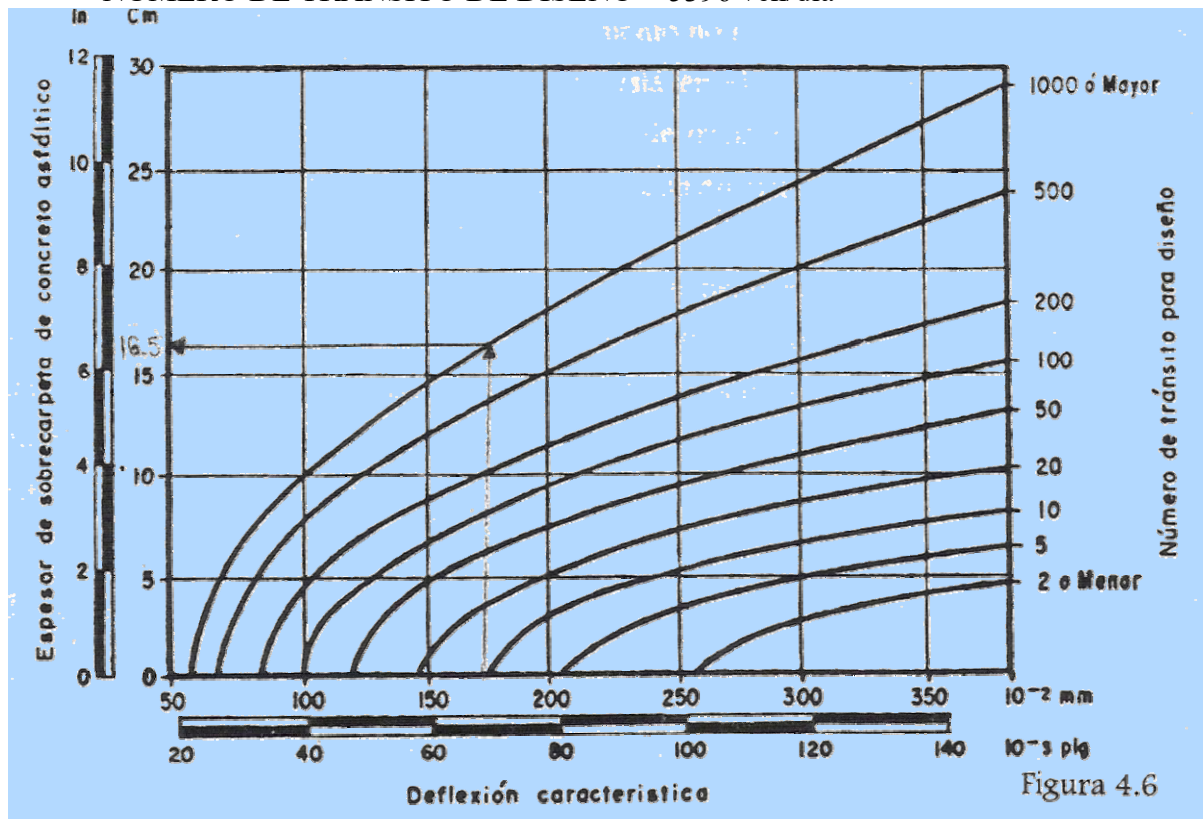
El Instituto Norteamericano del Asfalto proporciona con base en estudios de valuación un criterio que puede tener mucho interés práctico, siguiéndolo será posible estimar el tiempo en el cual un pavimento en buen estado para llegar a necesitar un refuerzo, de acuerdo con la deflexión característica actual y la tasa de crecimiento anual del tránsito en el camino considerado.

Como se explico anteriorm ente conociendo la deflexión característica y el número de transito para diseño se puede estimar el espesor de sobrecarpeta de concreto asfáltico.

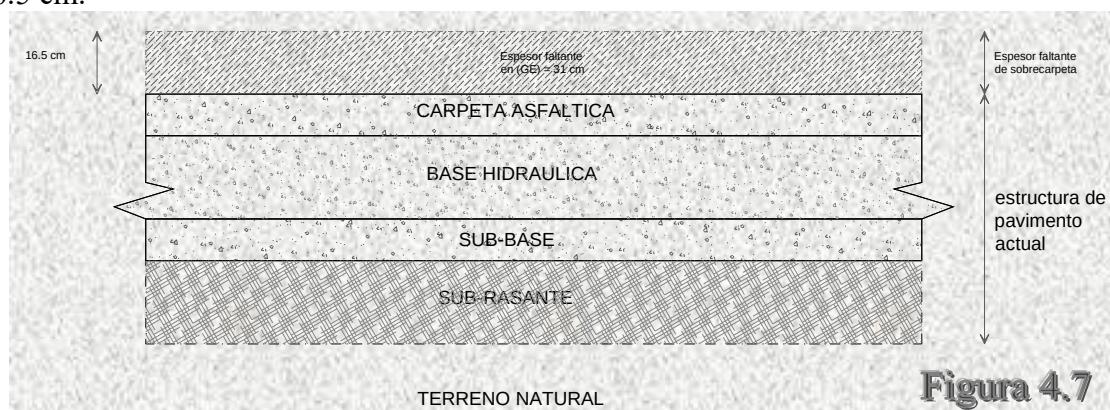
Para el ejemplo ilustrativo se obtuvieron los siguientes valores

DEFLEXION CARARCTERISTICA = 1.75 mm.

NUMERO DE TRANSITO DE DISEÑO = 5396 veh/día



Se observa en la grafica anterior el espesor de sobrecarpeta de concreto asfáltico, que es de 16.5 cm.



En la Fig. 4.7, entrando en la deflexión característica que corresponda a un cierto camino en la actualidad, puede obtenerse el número de tránsito para diseño más alto que puede tener el camino si no requiere reparación. Este número deberá compararse con el número de tránsito para diseño que realmente tenga el camino en cuestión; si este último es menor que el calculado con la grafica, el pavimento no requerirá refuerzo en la actualidad; si ambos numeros de transito son iguales se esta en el momento en que es necesario el refuerzo, pero si el pavimento tiene un número de tránsito mayor que el calculado con la grafica, el refuerzo ya debió, de hecho, realizarse con anterioridad.

Si en número de transito para diseño que tiene el pavimento es menor que el calculado con la grafica de la figura 4.7, será posible conociendo la tasa de crecimiento anual del tránsito, estimar el tiempo que habrá de transcurrir hasta que el pavimento llegue a tener un número de tránsito igual al calculado en la grafica, teniéndose así una estimación del momento en que el pavimento he de ser reparado.

La tabla 4.8 puede servir para realizar los cálculos necesarios

Periodos de diseño		Tasa de crecimiento anual del tránsito				
Años	0	2	4	6	8	10
1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
2	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
4	0.20	0.21	0.21	0.22	0.22	0.23
6	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37	0.39
8	0.40	0.43	0.46	0.50	0.53	0.57
10	0.50	0.55	0.60	0.66	0.72	0.80
12	0.60	0.67	0.75	0.84	0.95	1.07
14	0.70	0.80	0.92	1.05	1.21	1.40
16	0.80	0.93	1.09	1.28	1.52	1.80
18	0.90	1.07	1.28	1.55	1.87	2.28
20	1.00	1.21	1.49	1.84	2.29	2.86
25	1.25	1.60	2.08	2.74	3.66	4.92
30	1.50	2.03	2.80	3.95	5.66	8.22
35	1.75	2.50	3.68	5.57	8.62	13.55

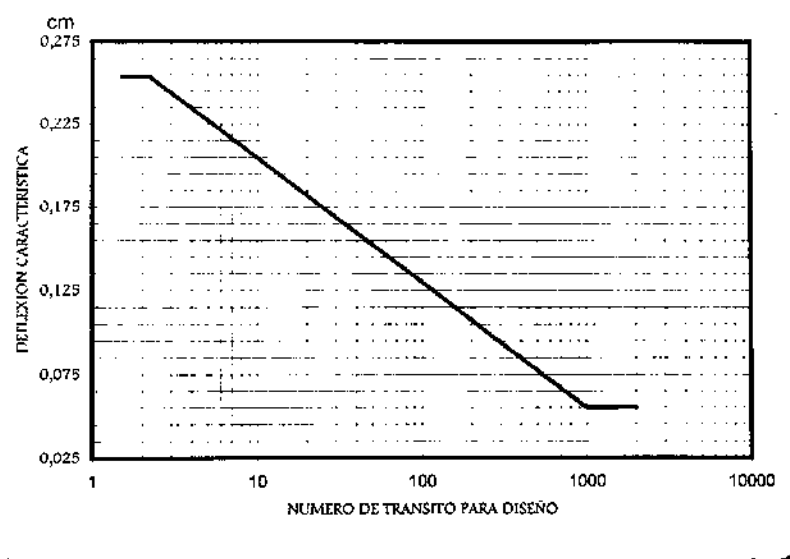


Figura 4.7



CAPITULO V

CRITERIOS DE REPARACION DE FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES



CAPITULO V

CRITERIOS DE REPARACION DE FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

INTRODUCCION

Como se menciona en el capítulo III, un pavimento puede definirse como la capa o capas de materiales apropiados, comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento, cuyas funciones principales son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a las terracerías los refuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito.

Las grandes incertidumbres en las prácticas ligadas a la durabilidad de un pavimento flexible son grandes y difíciles de tratar, aun al nivel más general. Será difícil definir cuál es la durabilidad deseable que haya de lograrse en un caso dado. Como consecuencia de lo anterior, en los métodos de diseño no se puede tomar en cuenta los requisitos de durabilidad de un modo cuantitativo, racional e independiente del sentimiento particular.

La mayor parte de la tecnología que el Ingeniero de pavimentos ha sido desarrollado tiene por objeto evitar la aparición de todo un conjunto de defectos y fallas que se han ido tipificando y describiendo con el mayor detalle. Se ha logrado ir estableciendo una relación causa-efecto, que permite desarrollar todo un conjunto de normas de criterios de proyecto y conservación.

La descripción y discusión de las fallas de los pavimentos no es una tarea sencilla, su variedad y diferencia de matices bastaría para que no lo fuera. Se tienen muchos problemas por falta de una nomenclatura de uso universal o por el hecho de que la descripción de una falla tiene mucho de personal y puede variar de un lugar a otro, de un país vecino o de una organización a otra.

Un pavimento puede presentar dos diferentes tipos de fallas

- Fallas Estructurales
- Fallas infraestructurales

FALLAS ESTRUCTURALES

Las fallas estructurales tienen un comportamiento mecánico definido, y están referidas exactamente al pavimento propiamente dicho. Siendo este, desde el terreno natural, terracerías, capa subrasante, sub-base, base hidráulica y carpeta asfáltica.

El laboratorio desempeña un papel muy importante en determinar el origen de la falla, asimismo la inspección minuciosa por personal de amplia experiencia para poder clasificar la falla del pavimento.

Dentro de este tipo de falla se pueden presentar otros dos subtipos de fallas:



Fallas funcionales: Corresponden a un defecto que se refleja en la superficie de rodamiento del pavimento y que afectan al cómodo movimiento de los vehículos, sin imposibilitar su uso.

La determinación de este tipo de fallas ha demostrado que una "Calificación Actual" (lo cual se trato en el CAPITULO IV inciso 3), comprendida entre 1.5 y 2.5 corresponde a las condiciones de "Falla Funcional".

Fallas por fatiga: Que se refiere a los pavimentos que originalmente tuvieron quizá condiciones apropiadas, por continua repetición de las cargas de tránsito sufrieron efectos de fatiga, degradación estructural y, en general la pérdida de resistencia y deformaciones acumuladas.

CLASIFICACION DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE FALLAS QUE SE PRESENTAN EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.

HAY CUATRO REPRESENTATIVAS QUE SON:

- 1.- DESPRENDIMIENTOS**
- 2.- DEFORMACIONES**
- 3.- AGRIETAMIENTOS**
- 4.- DEFECTOS VARIOS**

1.- DESPRENDIMIENTOS

BACHES.- Son oquedades de varios tamaños en la capa de rodamiento por desprendimiento o desintegración inicial. Desprendimiento inicial de los agregados que al paso de los vehículos van formando.

LEVANTAMIENTO POR CONGELACION.- Desplazamiento diferencial hacia arriba que produce desintegración parcial o total de capas del pavimento.

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

PULIDO DE SUPERFICIE.- Desgaste acelerado en la superficie de la capa de rodamiento produciendo áreas lisas.

DESINTEGRACION.- Deterioro de la carpeta asfáltica en pequeños fragmentos con pérdida progresiva de materiales que lo componen.

2.- DEFORMACIONES

BURBUJA.- Ampolla de tamaño variable localizada en la superficie de rodamiento.

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



ONDULACIONES TRANSVERSALES.- ondulaciones de la carpeta asfáltica en el sentido perpendicular al eje del camino que contienen en forma regular crestas y valles alterados, regularmente con separación menor a 60 cm. entre ellas.

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

ASENTAMIENTOS LONGITUDINALES.- Áreas de pavimento localizadas en elevaciones más bajas que las áreas adyacentes o elevaciones de diseño en el sentido longitudinal al eje del camino, en especial en los extremos laterales de la superficie de rodamiento.

CRESTAS LONGITUDINALES MASIVAS.- Montículos o crestas en el sentido paralelo al eje del camino, presentándose dos y hasta cuatro crestas a todo lo largo de ciertos tramos.

3.- AGRIETAMIENTOS

GRIETAS DE REFLEXION.- Grietas longitudinales y transversales que reflejan exactamente el patrón de agrietamiento de juntas de un pavimento existente, cuando es reencarpetado con concreto asfáltico.

GRIETAS DE REFLEXION TIPO 2.- Agrietamiento de la carpeta asfáltica siguiendo o no, un patrón determinado.

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

GRIETA ERRATICA O EN ZIG-ZAG.- Agrietamiento en desorden de la carpeta asfáltica, siguiendo patrones en la dirección del tránsito.

GRIETAS FINAS.- Pequeñas fisuras superficiales muy próximas la una con la otra, ya que no conforman un patrón regular y se extienden a cierta profundidad, pero no al espesor total de la carpeta.

PIEL DE COCODRILO.- Fisuras en la superficie de la carpeta asfáltica, formando un patrón regular con polígonos hasta de 20 cm. grietas interconectadas formando polígonos que asemejen la piel de un cocodrilo.

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

GRIETA TRANSVERSAL.- Agrietamiento de la carpeta que sigue un patrón transversal o perpendicular al eje del camino.

GRIETA LONGITUDINAL.- Fisura o grieta paralela al eje del camino o en muchos casos sobre el eje del camino.

AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL EN HOMBRO DEL TERRAPLEN.- Líneas de rotura producida en los bordes de la carretera paralelas al eje de la misma.

4.- DEFECTOS VARIOS

LLORADO DE ASFALTO.- Flujo de liberación del asfalto hacia la superficie de una carpeta asfáltica, formando una película o capa pegajosa y/o ascenso de asfalto a través de grietas.

AFLORAMIENTO DE HUMEDAD.- Aparición de zonas húmedas en la superficie, con o sin encharcamiento.

MARCADO DE HUELLA.- Impresión en relieve localizada en la superficie de rodamiento.

EXPULSION DE FINOS.- Material fino sobre la superficie de rodamiento, acumulado en zonas adyacentes a las grietas.

CRECIMIENTO DE HIERBA A TRAVES DE LA CARPETA.- Producto de agrietamiento en acotamientos y en los hombros de la carretera; la hierba silvestre crece aflorando por las grietas y avanzando con la humedad hasta prácticamente erosionar o destruir parte de la carpeta.

PARAMETROS DE DEGRADACION (LEVANTAMIENTO DE DAÑOS)

El levantamiento de daños se lleva a cabo haciendo un recorrido a pie, a lo largo del tramo en estudio, describiendo cada uno de ellos y agrupándolos según sus características en los siguientes tipos (ya mencionados anteriormente):

- 1.- DESPRENDIMIENTOS (Baches abiertos, calavereos, desgranamientos, etc.)
- 2.- DEFORMACIONES (Roderas, ondulaciones, etc.)
- 3.- AGRIETAMIENTOS (longitudinales y transversales, mapeo, piel de cocodrilo, etc.)
- 4.- DEFECTOS VARIOS (Exudaciones, ascenso de finos, etc.)
- 5.- MANTENIMIENTO (Baches mal o bien reparados)

Los deterioros encontrados se califican anotando en porcentaje de daño, acompañado de su severidad misma que se califica con la siguiente escala:

Ninguno ----- 0
Menor ----- 1
Moderado ---- 2
Mayor -----3
Severo -----4

CRITERIOS DE REPARACION DE FALLAS ESTRUCTURALES.

En los pavimentos las fallas estructurales como las infraestructurales, se manifiestan de muy diversas maneras pero pueden clasificarse en tres grupos.

1.- Distorsiones



2.- Agrietamientos

3.- Desintegración.

Lo anterior se explica con mayor detalle en el cuadro No. 1

FALLAS INFRAESTRUCTURALES

Las fallas infraestructurales tienen también un comportamiento definido y están referidas a todas las fallas fuera de la estructura del pavimento propiamente dicho, siendo por ejemplo; el terreno de cimentación, las terracerías, obras de drenaje, sub-drenaje y estabilidad de taludes.

Las fallas anteriormente clasificadas, pueden ser debidas a una serie de factores tales como:

Fallas por diseño inadecuado

Fallas por construcción inadecuada.

Fallas por una deficiencia conservación.

Algunos ejemplos de fallas infraestructurales son: Diseño inadecuado, por efecto de un drenaje mal proyectado, terracería de mala calidad o baja compactación, terreno de cimentación inestable, el efecto extremo del clima o también una falta de conservación eficaz y oportuna.

CRITERIOS DE REPARACION DE FALLAS INFRAESTRUCTURALES

Este criterio de reparación de fallas en pavimentos flexibles se resume en identificar el tipo y la causa que lo haya producido.

En algunos casos puede requerirse llevar a cabo un reconocimiento completo de la zona fallada, que abarca las distintas partes fundamentales que forman la estructura de la obra y hace una serie de estudios y sondeos, recabar antecedentes de la construcción, etc. Para estar en condiciones de definir el origen de los deterioros y corregirlos oportunamente. La falla que se presente deberá corregirse de raíz, para que no vuelva presentarse en el mismo sitio; pues es común que se efectúen solamente arreglos provisionales y se dejen sin resolver definitivamente el problema, resultando dicho desperfecto más costoso al final.

Para dejar mas clara la explicación anterior, se presenta las tablas 1 y 2.

GRUPO EN QUE SE CLASIFICA LA FALLA O DEFECTO	IDENTIFICACION DE LA FALLA		CRITERIO PROBABLE DE REPARACION
	DESCRIPCION	POSIBLES CAUSAS	
		Baja compactación de las	Cajear rectangularmente el área fallada, eliminando los materiales de mala calidad o que presenten humedad excesiva. Rellenar con materiales de características adecuadas, reponiendo la

DISTORSIONES	BACHES (Deformaciones locales en que se ha destruido parcial o totalmente el pavimento. Se asocian con agrietamientos y con altos contenidos de agua en los materiales)	capas inferiores del pavimento. Penetración del agua a la parte inferior del pavimento por acumulaciones de la misma en zonas con defecto de acabado de acabado, o deformadas. Contaminación de la sub-base y/o base con el material de las terracerías. Pavimento subdiseñado para las cargas que por el transitan.	estructura del pavimento mediante capas debidamente compactadas. Las paredes de las cajas deben hacerse verticales y dos de sus lados serán normales a la dirección del tránsito. La caja debe abarcar cuando menos 30 cms dentro de la zona aparentemente sana, adyacente al área fallada. Se procurará, mediante una regla que el nivel superior del relleno quede bien perfilado respecto al resto de la sección transversal. Si los baches se manifiestan en zonas de cortes, es conveniente revisar y corregir previamente las deficiencias del drenaje.
	ASENTAMIENTOS. (Descensos en el nivel original de la superficie).	Compactación o reacomodo local de una o varias capas del pavimento, o de las terracerías, que produce un descenso pequeño y más o menos uniforme a la superficie. Movimientos o deslizamientos locales de los terraplenes, que dan lugar a desniveles relativamente fuertes de la superficie del pavimento.	Renivelar con mezcla asfáltica, limpiando previamente la superficie y dando un riego de liga. Reparar debidamente la zona de asentamiento, re construyendo por capas la sección original. Es necesario revisar y corregir deficiencias en el anclaje de los terraplenes (falta de escalones de liga) y/o en el drenaje del área afectada.
	ONDULACIONES. (Levantamiento de la superficie en forma de ondas más o menos pronunciadas, transversalmente al sentido de la circulación).	Movimientos plásticos de la carpeta en lugares donde se presentan fuertes esfuerzos de arranque y frenaje, como en el caso de las zonas cercanas al cruce de carreteras con vías de ferrocarril, o cerca de los topes.	Escarificar y eliminar la carpeta. Recompactar la base. Construir una nueva carpeta de espesores y resistencia adecuados.
		Carpeta con baja estabilidad, por exceso de asfalto o de solventes en la mezcla, exceso de finos en el material pétreo, o por ser este de naturaleza redondeada; también puede deberse a la baja estabilidad de la mezcla, al empleo de un asfalto demasiado blando.	Levantar la carpeta y corregir la mezcla, si esto es posible, para aprovecharla nuevamente. La corrección puede consistir en orearla para hacer que pierda solventes, para agregarle material pétreo adicional de mejores características, etc. Si no es posible aprovechar la carpeta, será necesario eliminarla y construir una nueva de la calidad y espesores adecuados.
	DESPRENDIMIENTOS O CORRIMIENTOS DE LA CARPETA. (Principalmente en las orillas).	Baja estabilidad de la mezcla. Tránsito pesado antes de compactar debidamente la mezcla. Exceso de asfalto en el riego de liga.	Eliminar la carpeta desplazada, cajeando rectangularmente la zona afectada. Reponer la carpeta en forma afectada y sellar la nueva capa
	SURCOS O RODADAS MARCADAS.	Efecto de tránsito pesado en zonas subdiseñadas o deficientemente construidas del pavimento. Paso del tránsito de vehículos o del equipo de construcción sobre la carpeta recién tendida o sin la debida compactación.	Renivelar con mezcla asfáltica de características adecuadas; previamente, delimitar el área, limpiarla de materias extrañas y dar un riego de liga.

	DEPRESIONES EN ZANJAS NO BIEN RELLENADAS.	Falta de acomodo adecuado o de compactación en los materiales del relleno o insuficiencia en el volumen del material.	Renivelar adecuadamente con mezcla asfáltica, previa limpieza de la superficie y aplicación de asfalto de liga.
AGRIETAMIENTOS	GRIETAS LONGITUDINALES EN LAS ORILLAS.	Cambios volumétricos de los materiales de terracerías con altos contenidos de arcilla, por efecto de humedecimiento y secado. Ampliación del camino, no bien ligada a la sección antigua. Ligeros movimientos o asentamientos de los terraplenes por su peso propio o de temblores.	Si las grietas son muy finas (de aberturas muy pequeñas), es bastante difícil rellenarlas y a veces solo hay que limitarse a tenerlas en observación para ver la forma como progresan. Cuando es factible, se sellan con emulsión asfáltica. Si las grietas tienen una abertura del orden de 30 mm o más, se pueden calafatear, con un mortero asfáltico y arena, o bien con un cemento asfáltico. Existen también en el mercado productos especiales a base de asfalto, para el rellenado de grietas. La zona de las grietas por sellar debe barrerse con una escoba manual y de ser posible, conviene utilizar aire comprimido para limpiar mejor las aberturas por donde entrará el material sellante. El mortero asfáltico, se aplicará manualmente y debe tener la fluidez adecuada para penetrar en las grietas. Puede ser necesario que sobre la superficie del sellante recién aplicado se riegue arena seca, para que el tránsito no se levante.
	GRIETAS LONGITUDINALES EN EL CENTRO.	Defectos de tendido de la mezcla asfáltica, principalmente. Por reflexión de grietas en la capa subyacente, tratándose de una sobrecarpeta.	Calafatear debidamente las grietas, de acuerdo con lo descrito en el caso anterior
	GRIETAS TRANSVERSALES	Reflexión de defectos existentes en la capa subyacente. Contracción de la sub-base o base estabilizada con cemento Portland.	Se procede en forma similar a lo descrito en el caso del arreglo de grietas longitudinales. Puede ser conveniente aplicar un riego de sello abarcando toda el área agrietada.
	GRIETAS EN FORMA DE MAPA O DE PIEL DE COCODRILO	Deflexiones excesivas o deformaciones en la carpeta por acción del tránsito pesado. Capa subrasante, sub-base y/o bases inestables, generalmente por los altos contenidos de agua. Espesor insuficiente del espesor del pavimento, para las cargas que soporta, etc.	Si el agrietamiento no ha originado movimientos en los fragmentos de carpeta y el área no está muy deformada, podría procederse a un calafateo o tratamiento de las grietas, en la forma descrita anteriormente para el caso de las veces esto constituye sólo un arreglo temporal, incluso cuando se aplica mortero asfáltico o emulsión asfáltica y arena a toda el área agrietada. Por lo general, es necesaria cajea, eliminar la carpeta agrietada y los materiales de mala calidad o con exceso de humedad de las capas inferiores y reponer los materiales extraídos con otros adecuadamente colocados, en forma similar a lo descrito en el caso del arreglo de baches. Si

			este tipo de fallas tienden a abarcar áreas regularmente grandes, y es necesario analizar el diseño y la construcción del pavimento y el drenaje.
	GRIETAS POR CORRIMIENTO DE LA CARPETA	Baja estabilidad de la mezcla a los esfuerzos laterales originados por el tránsito. Exceso de asfalto en el riego de liga. Tránsito demasiado pronto sobre la carpeta recién tendida.	Si el agrietamiento se ha detenido y no se presentan desplazamientos notables o corrugaciones en la carpeta, puede ser suficiente calafatear o tratar las grietas en la forma descrita en las "Normas y Procedimientos de Conservación y Reconstrucción de Carreteras" publicado por la SCOP. Si la carpeta, además de agrietada, está desplazada, corrida y/o deformada, tendrá que levantarse reponerse en forma adecuada.
	GRIETAS PARABOLICAS	Corrimiento de la carpeta en zonas desaceleración. Corrimientos de la carpeta por escaso o nulo asfalto de liga.	Se procede en forma similar al caso anterior.
DESINTEGRACIONES	DESPRENDIMIENTO DEL MATERIAL PETREO DE LA CARPETA O DEL RIEGO DE SELLO	Escasa cantidad de asfalto en la mezcla o en el riego de sello. Falta de afinidad del material pétreo con el asfalto. Falta de compactación de la mezcla o de planchado de los materiales pétreos, según sea el caso.	Previo barrido de la superficie, aplicar un riego de liga ligero, bien distribuido y correctamente dosificado, de emulsión asfáltica, para evitar que el material continúe desprendiéndose. Si el desprendimiento es atribuible a la poca afinidad del material pétreo con el material asfalto, se procurará que el material asfáltico que se empleé satisfaga esta solicitud, bien sea mediante el uso de algún aditivo adecuado. Si el desprendimiento del material es muy pronunciado, puede requerirse la aplicación de un nuevo riego de sello o de una sobrecarpeta y riego de sello, de características adecuadas.
	DESPRENDIMIENTO DE LA PELICULA DE ASFALTO DEL MATERIAL PETREO (MEZCLA ASFÁLTICA)	Escasa o nula afinidad del material pétreo con el asfalto utilizado en la mezcla.	Dar un riego, en proporción adecuada, con un producto asfáltico, que tenga buena afinidad con el material pétreo, bien sea sólo o mediante el uso de algún aditivo. Puede ser necesaria la aplicación de un riego de sello o de un mortero asfáltico, según el caso.
	ROMPIMIENTO DE LAS PARTICULAS DEL MATERIAL PETREO QUE PROPICIAN SU DESPRENDIMIENTO.	Material suave, que no resiste la acción del tránsito.	Se procede como en el caso citado anteriormente de "Desprendimientos del material pétreo de la carpeta o del riego de sello".
	DESPRENDIMIENTO DE LA CARPETA COMO CAPA.	Esfuerzos elevados en la interfase entre la carpeta y la base. Riego de liga insuficiente o anclaje deficiente de la carpeta con	Cajear rectangularmente los límites de la zona en que se ha desprendido la carpeta y reponer ésta con una mezcla asfáltica adecuada, previa limpieza de la superficie y aplicación de asfalto de liga. Puede ser necesario renivelar, reponiendo la carpeta

		la base.	en las zonas en que se ha levantado y construir una sobrecarpeta.
DEFECTOS VARIOS	SUPERFICIE LISA O DERRAPANTE	Materiales que se pulen fácilmente.	Dar un nuevo riego de sello con materiales adecuados.
		Afloramiento de asfalto.	Si la carpeta no presenta inestabilidad puede ser suficiente con calentarla superficialmente con quemadores y regar una cantidad adecuada de material pétreo de sello, fijándola inmediatamente mediante planchado. Puede dar resultado también en vez de calentar superficialmente, agregar o regar el pétreo caliente y fijarlo mediante planchado. Si la carpeta es inestable, puede ser necesario levantarla para trabajarla y mejorarla para después sellarla de lo contrario, desecharla y reponerla por una nueva, a la que se le aplicará un riego de sello.
DEFECTOS VARIOS	ZONAS CON ASFALTO DESCUBIERTO EN CARPETAS DE RIEGO DE SELLO.	Desprendimiento del material pétreo. Defectos de construcción (cantidad insuficiente de asfalto regado, aplicación incorrecta o extemporánea de los pétreos, fallas de la petrolizadora, etc.).	Dar nuevo tratamiento, que pueda ser manual si el área es pequeña o difícil de corregir con maquinaria, consistente con nueva aplicación de asfalto y pétreos, a efecto de restaurar las condiciones originales propuestas.

CAUSAS QUE ORIGINAN FALLAS EN PAVIMENTOS POR EFECTO DE UNA INFRAESTRUCTURA DEFICIENTE O INADECUADA

CONCEPTO	DESCRIPCION	POSIBLES CAUSAS	CRITERIO PROBABLE DE REPARACION
TERRENO DE CIMENTACION	Parte de la corteza terrestre en que se apoya la estructura y parte de la infraestructura de una obra vial y que es afectada por la misma. Distorsiones, agrietamientos longitudinales, agrietamientos típicos de trayectoria circular.	Mala calidad del material (suelos orgánicos, suelos expansivos, etc.) asociada a variaciones en el contenido de agua, que producen cambios volumétricos perjudiciales. Baja capacidad de carga o falta de compactación de un suelo. También puede ser efecto de la consolidación.	Una vez construida la obra vial es difícil desde el punto de vista económico, la corrección de fallas originadas por el terreno de cimentación, sin embargo, cuando se detecta que es el agua la que origina el fenómeno de boyancia y el de tubificación no queda más que romper el flujo del agua por medio de subdrenes o también darle un tratamiento previo de estabilización al terreno de cimentación y así mejorar la calidad de éste para soportar las cargas.
		Inestabilidad de los taludes que producen deslizamientos o	La corrección de este tipo de falla está fuertemente

TERRACERIAS	Baches en la corona del camino.	derrumbes sobre el pavimento (por mala calidad del material, cambios volumétricos perjudiciales con las variaciones de humedad). Materiales erosionables, presencia de estratos de suelos o mantos de roca con inclinación desfavorable, taludes no bien afinados a con poco inclinación para las condiciones del material, etc. Espesores insuficientes de la capa subrasante, mala calidad del material de esta y/o baja compactación.	limitada a la extracción de derrumbes. Podríamos evitarlos construyendo contracunetas zampeadas o sin zampear, según el caso. También corrigiendo la inclinación del talud mediante un análisis de éste. Es conveniente en estos casos hacer un análisis del flujo del agua para proyectar el subdrenaje que generalmente es el resuelve el problema de fallas.
	Terraplenes	Mala calidad de los materiales del cuerpo de terraplén y/o de la capa subrasante, acomodo inadecuado de los materiales ó falta de compactación, materiales erosionables en los taludes, sin la adecuada protección, exceso en el contenido de agua de los materiales y/o cambios volumétricos perjudiciales con las variaciones de humedad. Falta de escalones de liga, cuando estos son necesarios.	Cuando se presenta una falla por licuación, es práctica común una reconstrucción de la zona fallada por capas y para evitar las distorsiones, se utiliza un material apropiado para cada capa dañada del mismo. Cabe mencionar que deberán ser compactadas debidamente.
OBRAS DE DRENAJE (ALCANTARILLAS)	Cedencias, distorsiones de la estructura metálica y tubificación.	Insuficiencia de alcantarillas y/o puentes en cuanto a su capacidad ó número, ubicación incorrecta ó inadecuada de las obras, uso de materiales de mala calidad ó inadecuados en la construcción de estas obras. Defectos de construcción de estas obras, falta de protección (recubrimiento), de cunetas y/o contracunetas ó falta se estas obras. Falta de conservación de limpieza de las obras.	Para evitar las distorsiones el relleno lateral deberá colocarse por capas alternativamente de masa, que vaya creciendo simultáneamente en los lados. No se debe permitir circular sobre la obra, equipo pesado de compactación antes de que se halle alcanzado un espesor de recubrimiento protector suficiente. Cuando existan cedencias o asentamientos considerables se debe proceder a retirar el relleno suelto mal compactado y sustituirlo por otro bien compactado.
	Asentamientos	Falta de subdrenes ó mal funcionamiento de los existentes	Es recomendable cajea y reconstruir la parte dañada y colocar el subdren necesario.



CAPITULO VI

VI.- ESTRATEGIAS PARA LA CONSERVACION O RECONSTRUCCION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES



CAPITULO VI

VI.- ESTRATEGIAS PARA LA CONSERVACION O RECONSTRUCCION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

6.1.- GENERALIDADES

En la actualidad en México se ha implementado un sistema para administrar los pavimentos, el cual se puede definir como el conjunto de actividades relacionadas con los procesos de organización, coordinación y control que afecten la funcionalidad, economía y vida útil de los pavimentos que permitan una utilización adecuada de los recursos humanos y presupuestales disponibles. Se considera al SIMAP (Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos) en su fase I específicamente, con la herramienta actual necesaria para efectuar los trabajos de conservación correctos a las necesidades existentes en el lugar y el momento precisos.

El Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos está compuesta básicamente por siete subsistemas: el DATOGEN que registra y archiva datos generales de ubicación y de tránsito; ISA que procesa los Índices de Servicios Actuales de las Carreteras en estudio; el CAPES que procesa deflexiones obtenidas en el campo para obtener refuerzos necesarios; el INVEDET que maneja los inventarios de fallas o deterioros de los tramos evaluados; el HISTOREP que lleva el registro de archivo de reparaciones de mantenimiento menor/mayor efectuadas; el CARGEOT que se encarga de procesar las características geotécnicas de las estructuras del pavimento y sus alrededores y por último, el REFIN que se encarga de procesar la interacción de resultados de los seis primeros subsistemas para llevar a resultados y recomendaciones finales de acciones a seguir, a continuación se presenta un esquema donde se puede observar gráficamente como está integrado el SIMAP (fig. 6.1).

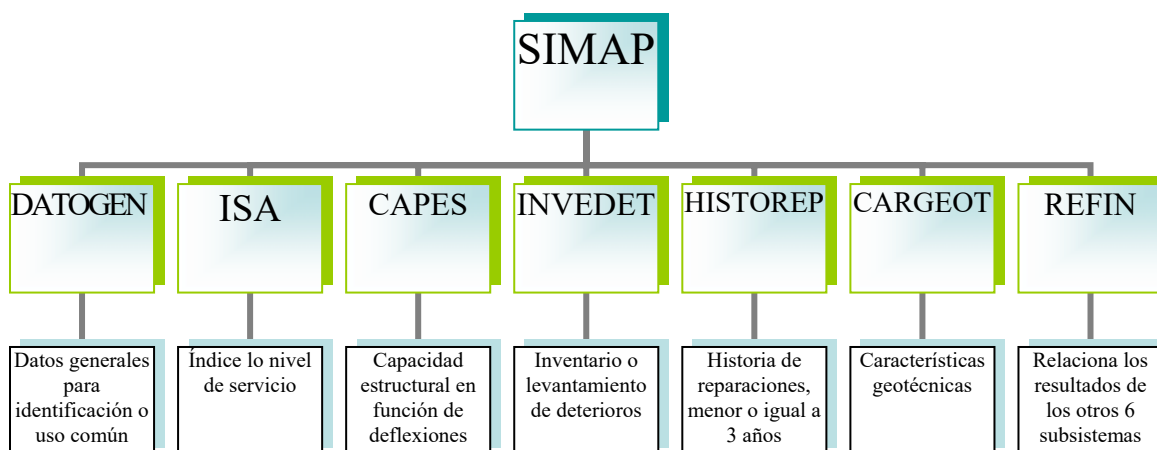


Fig.

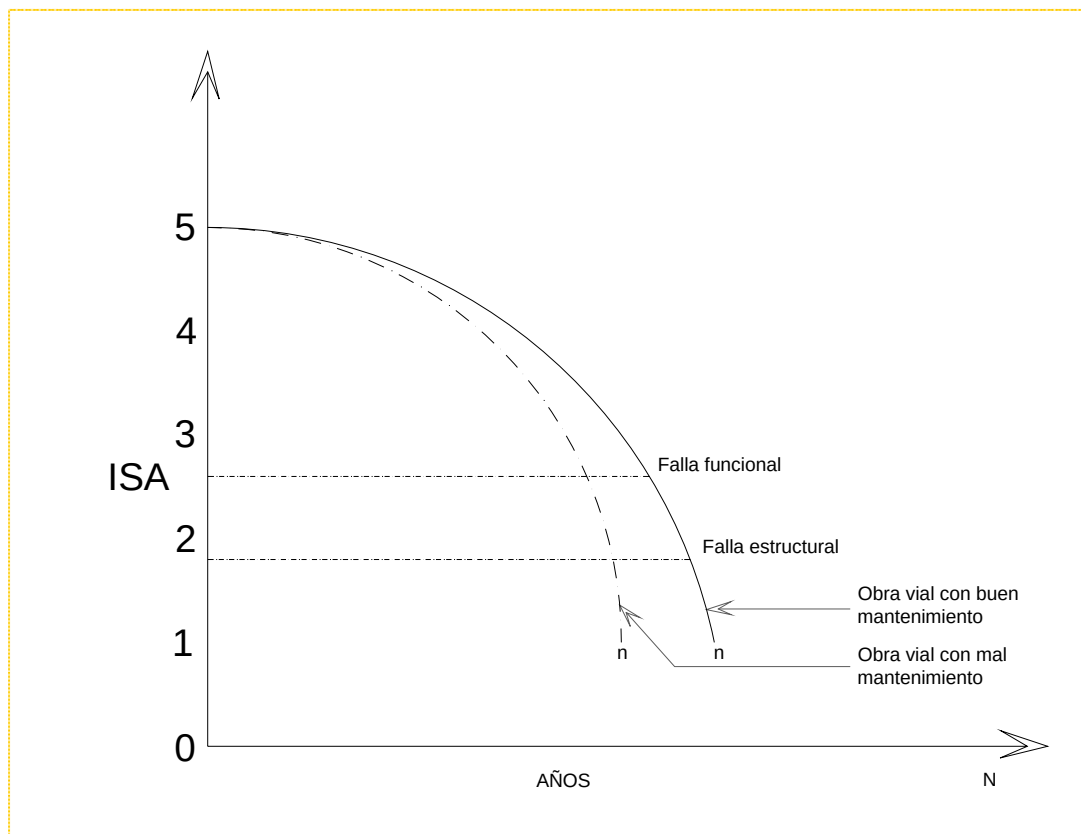
6.1

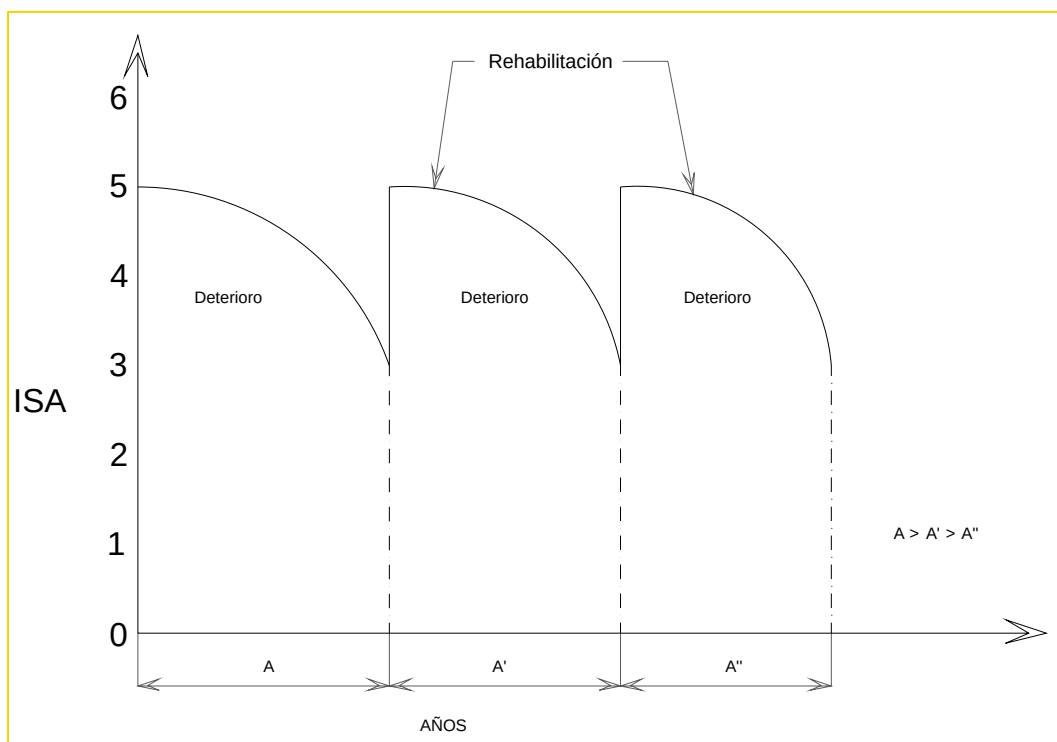


Las vías terrestres se proyectan y construyen para que estén en servicio por un determinado número de años (como mínimo), llamado horizonte de proyecto o vida útil de la obra. Al concluir este tiempo, los caminos se abandonan, se rescatan o se reconstruyen con objeto de aumentar su nivel de servicio por más tiempo, que es en general lo que sucede.

Al estar en operación, una obra se deteriora poco a poco y presenta diferentes condiciones de servicio a través de los años. Los deterioros pueden ser pequeños en principio; pero más adelante probablemente sean más serios y aceleran la falla de la vía; por esto, una obra requiere mantenimiento o conservación, para cuando mejor asegurar su vida de proyecto y proporcionar un servicio adecuado.

El deterioro se observa y se califica con un valor de 1 al 5, llamado índice de servicio, como ya se menciono en el capítulo VI, cuando una obra comienza a funcionar recién construida, debe tener una calificación de 4.0 a 4.5, la cual se disminuye conforme pasa el tiempo, como se muestra a continuación y puede recuperar con una rehabilitación, como se muestra en la siguiente figura.





Cuando un camino de primer orden o autopista llega a un valor de 2.5, el tránsito tiene bastantes problemas y la “comodidad” del viaje llega a un punto mínimo. En este momento, la obra alcanza su falla funcional. Si el camino sigue en servicio, puede lograr la falla estructural y prácticamente ya no se puede realizar el tránsito.

Para que una obra deteriorada con el tiempo no llegue a la falla estructural, es necesario rehabilitar la vía cuando alcance la falla funcional y su calificación sea de 2 para los caminos secundarios o de 2.5 para los de primer orden y especiales, o un poco antes de preferencia (quizá medio punto antes).

6.2.- MANTENIMIENTO NORMAL O PREVENTIVO

El mantenimiento normal se proporciona en los tramos que no presentan deformaciones ni agrietamientos fuertes; se lleva a cabo por medio de riegos de sello, los cuales en promedio deben durar tres años, si se utilizan materiales pétreos adecuados.

Si la superficie de rodamiento está lista, sobre todo esta lista a una capa de asfalto considerable (2 ó 3 mm.), se debe raspar con motoconformadora y, si es posible, que la superficie se caliente con anticipación con la ayuda de sopletes acoplados a un camión especial.

Dentro de este tipo de conservación normal o rutinaria, se encuentran todos los trabajos de bacheo y renivelaciones ligeras, que se requieren en un tramo que no ha contado con trabajos de mayor envergadura por algún motivo.

Otro trabajo que cae dentro de este tipo de conservación es el de señalamiento, sobre todo el de las rayas que se pintan en la superficie de rodamiento, para marcar los carriles e indicar las zonas donde se permite el rebase de vehículos.



6.3.- RECONSTRUCCIONES AISLADAS

Las reconstrucciones aisladas se realizan en los tramos dañados, pero que están relativamente distantes unos de otros; es decir, no hay una falla generalizada del camino. Estos tramos pueden tener longitudes de 50 a 300 m. y se pueden reconstruir mediante renivelaciones o mezcla asfáltica, sobre carpetamientos, trabajos en las capas de terracerías u otras labores en las capas superiores. Los estudios o procedimientos de construcción son los mismos que se indican en el siguiente tipo de mantenimiento.

6.4.- REHABILITACION O RECONSTRUCCION

Cuando en un tramo importante de 5, 10, o más kilómetros hay fallas generalizadas donde predominan graves deformaciones y agrietamientos, se requiere rehabilitar el camino. Para hacerlo, conviene realizar los siguientes trabajos:

1.- Calificar los tramos para conocer el índice de servicio el que se encuentra; para ello, es muy conveniente contar con la opinión de los usuarios. Con este índice de servicio se clasifican los tramos, y si se requiere rehabilitarlos por tener calificaciones entre 3 y 2.5 (para autopista y otros caminos), se ordena un estudio de los materiales localizados en la estructura de la obra. Se realizan sondeos a cielo abierto en todos los estratos, si es posible hasta las terracerías, tomando en muestras en forma estratificada; es decir, se toma una muestra de los materiales que forman las capas y se obtienen previamente los datos necesarios para calcular la humedad y la compactación de cada capa. Los espesores son datos indispensables.

En el laboratorio se realizan las siguientes pruebas:

CARPETA.

Contenido de agua, asfalto y granulometría del material pétreo.

BASES Y SUB-BASES.

Humedad, paso volumétrico máximo, grado de compactación, granulometría, límites de Atterberg, contracción lineal, valor cementante y Porter estándar (V.R.S. y expansión)

TERRACERÍAS.

(En la capa subrasante 30 cm. abajo, en forma separada) humedad, peso volumétrico máximo, grado de compactación, granulometría simplificada, límites de Atterberg, Porter estándar (V.R.S. y expansión) y Porter modificada (padrón), con la combinación de pesos volumétricos secos (P.V.S.) y las humedades que requiera el proyectista.

Los resultados de estas pruebas anteriores se estudian a la perfección para restaurar la sección transversal de la obra. En general, se debe retirar la carpeta asfáltica que se puede incorporar al material de base al disgregarla de modo conveniente una vez escarificada. Esta capa se compacta y queda como sub-base; y sobre ella se coloca una base hidráulica, una base negra o una base rigidizada, según se requiera; a continuación, se coloca la nueva carpeta asfáltica. Los espesores y otras características de las capas se calculan con alguno de los métodos que se mencionan en el "CAPITULO VI"; los espesores de las capas que no se rehabiliten, se tomarán con un factor de 0.66 en la nueva estructura.



Cuando el camino esta en muy malas condiciones y el tránsito ha aumentado de un modo considerable, es conveniente reconstruir la vía, que a menudo requiere un retrazo topográfico para corregir el proyecto geométrico y adecuarlo a las nuevas condiciones. En terrenos planos, el camino actual pasa a formar parte de la mediana o camellón central de un camino de 4 a 6 carriles ó, sino, se rehabilita lo necesario para utilizarse como uno de los cuerpos con que contara la nueva vía y cuyo tránsito será de un solo sentido. Los estudios acerca del cuerpo antiguo se harán como se indicó antes o serán los que correspondan un camino nuevo.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En muchos países se presenta con frecuencia la necesidad de analizar el estado de un pavimento construido anteriormente, a fin de decidir sobre la necesidad de repararlo y sobre el monto de la reparación.

Aunque presente en todas partes, éste es un problema muy común en las redes de transporte de los países en vías de desarrollo, pues en ellos se dan las condiciones de rápida expansión del tránsito, insuficiencia presupuestal en el momento de la construcción y falta la adecuada conservación que contribuyen a generarlo.

Los problemas de rehabilitación de pavimentos pueden ser inmensamente variados y van desde la colocación de riegos de "rejuvenecimiento" (riego de sello) o construcción de sobrecarpetas, hasta rehabilitaciones integrales; también han de considerarse los problemas emanantes de las ampliaciones de sección.

En términos generales las rehabilitaciones por incremento normal de tránsito suelen resolverse con el empleo de sobrecarpetas, en tanto que las rehabilitaciones más profundas serán necesarias en pavimentos que muestren indicios de falla, consistentes en la aparición de deformaciones excesivas o en niveles muy elevados de deflexión, detectada con los instrumentos con que hoy se dispone.

El planteamiento de un criterio de rehabilitación es en rigor un enlistado de las circunstancias que hacen insatisfactorio el servicio de un pavimento dado; desde luego, es algo mucho más complicado que la simple aparición de grietas superficiales. En lo anterior, insatisfactorio no implica, desde luego, la necesidad de una falla catastrófica; puede requerir rehabilitación un pavimento que *esté soportando adecuadamente muy altos volúmenes de tránsito*, pero en el que se gaste más de lo convenido en conservación normal.

La conservación de la red carretera es muy importante dado que una buena conservación optimiza el transporte de carga en el país y desde luego EFICIENCIA en la comunicación y esto genera la reactivación de la economía, pues en esto logran menores costos de operación, así como menor tiempo de recorrido.

*La red carretera nacional acusa problemas muy importantes en el nivel de servicio como se mostró en el CAPITULO II. Estos problemas son los siguientes.

La edad avanzada de la mayor parte de la red, la falta de aplicación de algunos sistemas de conservación, el incremento de las cargas legales y bajo el nivel de gasto asignado a la conservación durante las últimas décadas.

Para prevenir fallas en un camino el proyectista en vías terrestres debe tener libertad bastante amplia sobre una serie de circunstancias que condicionan, en buena parte la aparición de futuras fallas, por ello es conveniente mencionar, aunque sea de una forma breve, algunas circunstancias que se deberán considerar, en su momento.

En primer lugar, las fallas podrán prevenirse mejor a base de un diseño más realista, tomando en cuenta las condiciones del terreno de cimentación, las cuales se obtienen a base de un buen estudio geotécnico.



Actualmente no se permiten diseños muy afinados, únicamente en los casos de terrenos que se sospechen peligrosos.

Muchos de los factores geotécnicos que definen el riesgo de falla son muy difíciles de detectar con exploraciones convencionales. Esto ocurre con grietas, fisuras, superficies de fallas previamente formadas, etc. Todo lo que se pueda hacer para prevenir fallas está ligado a estrazo geométrico de las propias vías, como puede ser en el alineamiento horizontal y vertical.

La descripción precisa de los daños que existen en un pavimento o una sección de pavimento es sin duda, uno de los factores que deben intervenir en la formulación de un diagnóstico, basado en la necesidad de un esfuerzo, en el proyecto y en la elección de la técnica para dicho refuerzo.

Si bien es cierto que algunas características de las fallas existentes pueden establecerse por medio de ensayos y muestreos, no deja de ser cierto también que la inspección visual, efectuado por un observador experimentado, sigue siendo indispensable.

Por último cabe señalar que es preferible, realizar un mantenimiento normal o preventivo que una rehabilitación o reconstrucción, ya que esto último implica costos más elevados y por ello es más difícil de realizar.

La temperatura y la humedad son dos condiciones climáticas que afectan la magnitud de las deflexiones. En los pavimentos asfálticos, las altas temperaturas producen el reblandecimiento de la carpeta asfáltica e incrementan las deflexiones.

- La conservación de carreteras ocupa un lugar muy importante entre las preocupaciones de los responsables de la infraestructura carretera. Los usuarios ya no se conforman actualmente con disponer de vías de comunicación, sino que demandan que éstas les permitan desplazamientos rápidos, cómodos, económicos y seguros. El buen estado de la infraestructura carretera resulta vital para la eficiencia del transporte, el cual tiene una influencia preponderante en el estado general de la economía del país.

- La rugosidad de un camino se ha convertido en uno de los factores que influyen de manera directa en los costos de operación de los vehículos, por ello fue necesario contar con una escala que permitiera correlacionar los valores dados por los diversos equipos existentes en el mundo para medición de rugosidad, por lo que se estableció el Índice Internacional de Rugosidad.

- En nuestro país es necesario implementar el Índice Internacional de Rugosidad para una mejor evaluación del estado superficial de los pavimentos. Conviene dejar de evaluar subjetivamente las carreteras con el Índice de Servicio Actual para ello en nuestro país se cuenta con el equipo automatizado necesario para empezar a obtener el Índice Internacional de Rugosidad en la red nacional de carreteras.

- Es importante evaluar la condición superficial mediante el monitoreo periódico y permanente de la red nacional de carreteras. Se recomienda que sea de manera anual.

- Los equipos de evaluación de la rugosidad del tipo respuesta se calibran periódicamente de acuerdo a las características de cada equipo y al uso del mismo.



- Los sistemas de gestión de pavimentos son una herramienta importante para realizar una adecuada estrategia de conservación, para lo cual es necesario implementar un modelo conceptual del mantenimiento carretero que permita racionalizar y sistematizar las acciones con la óptima aplicación de los recursos.
- Se requieren fijar niveles de aceptación en la escala del Índice Internacional de Rugosidad para tramos nuevos, con el objeto de contar con un parámetro para el control de calidad de las obras.
- Para tramos ya existentes es necesario contar con umbrales de alerta para identificar tramos que requieren un mantenimiento urgente y los que se encuentran en ese momento en condiciones adecuadas de servicio.



Bibliografía

- 1.- Arriaga P. M.; Garnica A. P. (1998). "Diagnóstico de las Características Superficiales de Los Pavimentos". Publicación Técnica No. 111. Instituto Mexicano del Transporte. Sanfandila, Qro.
- 2.- Gutiérrez J. L.; Mendoza A. (2001). "Estudio Estadístico de Campo del Autotransporte Nacional. Análisis Estadístico de la Información Recopilada en las Estaciones Instaladas en 1998, 1999 y 2000". Documento Técnico No. 24. Instituto Mexicano del Transporte. Sanfandila, Qro.
- 3.- Juárez B. E.; Rico R. A. (1992). "Mecánica de Suelos". Tomo I. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Tercera edición. Editorial Limusa. México.
- 4.- Juárez B. E.; Rico R. A. (1992). "Mecánica de Suelos". Tomo II. Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos. Segunda edición. Editorial Limusa. México.
- 5.- Pérez G. N. (1999). "Caracterización del Comportamiento Esfuerzo – Deformación de Suelos Compactados en Ensayes Cíclicos". Universidad Autónoma de Querétaro, Maestría en Mecánica de Suelos.
- 6.- Rico R. A.; Del Castillo H. (1994). "La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres". Volumen 1. Editorial LIMUSA. México.
- 7.- Rico R. A.; Del Castillo H. (1992). "La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres". Volumen 2. Editorial LIMUSA. México.
- 8.- Rico, R. A., et al. (1998). "Pavimentos Flexibles. Problemática, Metodologías de Diseño y Tendencias". Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica No. 104. Querétaro.
- 9.- Paul Garnica Anguas, José Antonio Gómez López, Jesús Armando Sesma Martínez, "MECÁNICA DE MATERIALES PARA PAVIMENTOS" Publicación Técnica No. 197 Sanfandila, Qro, 2002
- 10.- Tesis profesional "Evaluación de la estructura de pavimentos de la carretera: Morelia–Celaya, tramo: Salvatierra-Celaya, del KM 94+000 al KM 123+000. Ing. Damián Sánchez Samano Morelia, Mich 2003
- 11.- Normas y procedimientos de conservación S. C. T. México, D. F. 1984
- 12.- SIMAP (Primera fase del Sistema Mexicano para la Administración de los Pavimentos) 1ra. Fase Conservación I.M.T. Y S.C.T
- 13.- Vías de Comunicación (Ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puestos) Ing. Carlos Crespo Villalaz LIMUSA S.A. DE C.V. 1996
- 14.- Estructura de Vías Terrestres M. en I. Fernando Olivera Bustamante CECSA 1996 Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V.
- 15.- Introducción a la Ingeniería de Caminos Ing. José Alfonso Mier Suárez U.M.S.N.H. 1987



16.- Ingeniería de Suelos en Vías Terrestres, Volumen I Y II
M. en I. Alfonso Rico Rodríguez e Ing. Hermilo Castillo
LIMUSA (Noriega Editores) 1996

17.- Tesis profesional “Evaluación estructural no destructiva de pavimentos”.
Ing. Luís Carlos López Estrada.
Chihuahua, Chihuahua, 1997.

18. - AASHTO (1986). “Standard Method of Test for Resilient Modulus of Subgrade Soils”.
AASHTO Designation T 274–82 (1986).

19. - AASHTO (1992). “Resilient Modulus of Unbound Granular Base / Sub-base Materials and
Subgrade Soils-SHRP Protocol P46”. AASHTO Designation: T294–92 I, Interim
Specification 1992.

20. - Alonso E. E. (1998). “Succión y Humedad en Bases y Explanadas de Carreteras”.
Simposio Internacional sobre Drenaje Interno de Firmes y Explanadas”. Asociación
Técnica de Carreteras. Granada, España, pp. 3-56.

Web http

<http://www.imt.mx>

www.construaprende.com

www.aepo.es

<http://www.zietlow.com/docs/CRM-2002.pdf>

<http://www.imt.mx/Espanol/Publicaciones/doctec/dt3.pdf>

<http://www.imt.mx/Espanol/Publicaciones/pubtec/pt253.pdf>

http://fic.uni.edu.pe/archivos_titulacion/PV-Proy

<http://www.imt.mx/Espanol/Publicaciones/pubtec/pt245.pdf>

<http://www.imt.mx/Espanol/Publicaciones/pubtec/pt252.pdf>

www.imcyc.com/revista/1998/nov/evaluaci.htm

<http://www.carreteros.org/normativa/otros/nlt/nlt.htm>

<http://www.camineros.com/docs/cam030.pdf>

<http://www.inextecenter.com/files/revista.pdf>

http://fing.javeriana.edu.co/ingenieria/dep_ing_civil/profesores/jaortiz/documentos/Rehabilitacion%20pavimentos/11%20diagnostico%20estructural%202.pdf



ESTUDIO DE REBOTE ELASTICO CON VIGA BENKELMAN

CARRETERA	MEXICO - CUAUTLA	CARACTERÍSTICAS DE LA VIGA	
TRAMO	RAMAL OZUMBA	RELACIÓN DEL BRAZO (R)	2.0
SUBTRAMO	0+000 AL 3+000	APROX. DEL MICROMETRO	0.001 plg.
ORIGEN	E.C. MEX - CUAUTLA - OZUMBA	CARATULA DE	100 unidades
CUERPO	UNICO	PESO EN EL EJE TRASERO	8.20 tons.
CARRIL	DERECHO		
FECHA	Octubre 15, 2005		

KM	RODADA		TEMPERATURA (°C)		LECTURAS (1X10-3 plg)			DEFLEXION CALCULADA	DEFLEXION CORREGIDA		FACTOR POR °T
	INTERIOR	EXTERIOR	AMBIENTE	CARPETA	ENTRADA	SALIDA	DIFERENCIA		(1 X 10 ⁻³ plg)	(mm)	
0+100		X	12	14	68	54	14	28	29.68	0.75	1.06
0+120		X	12	14	58	42	16	32	33.92	0.86	1.06
0+140	X		12	14	57	40	17	34	36.04	0.92	1.06
0+160		X	12	14	58	51	7	14	14.84	0.38	1.06
0+180		X	12	14	57	46	11	22	23.32	0.59	1.06
0+200	X		12	14	53	40	13	26	27.56	0.70	1.06
0+220		X	12	14	60	51	9	18	19.08	0.48	1.06
0+240		X	12	14	54	49	5	10	10.6	0.27	1.06
0+260	X		12	14	65	61	4	8	8.48	0.22	1.06
0+280		X	12	14	56	51	5	10	10.6	0.27	1.06
0+300		X	12	14	66	62	4	8	8.48	0.22	1.06
0+320	X		12	14	67	61	6	12	12.72	0.32	1.06
0+340		X	12	14	40	33	7	14	14.84	0.38	1.06
0+360		X	16	15	54	51	3	6	6.12	0.16	1.02
0+380	X		16	15	60	57	3	6	6.12	0.16	1.02
0+400		X	16	15	71	54	17	34	34.68	0.88	1.02
0+420		X	16	15	60	44	16	32	32.64	0.83	1.02
0+440	X		16	15	67	63	4	8	8.16	0.21	1.02
0+460		X	16	15	42	38	4	8	8.16	0.21	1.02
0+480		X	16	15	62	54	8	16	16.32	0.41	1.02
0+500	X		16	15	65	61	4	8	8.16	0.21	1.02
0+520		X	16	15	67	63	4	8	8.16	0.21	1.02
0+540		X	16	15	60	56	4	8	8.16	0.21	1.02
0+560	X		16	15	87	81	6	12	12.24	0.31	1.02
0+580		X	16	15	76	71	5	10	10.2	0.26	1.02
0+600		X	16	19	76	72	4	8	8.16	0.21	1.02

ESPESOR CARPETA : 10.0 cms.	n =	26			DEFLEXION CARACTERISTICA		
OBSERVACIONES :	X =	16.06			1X10 ⁻³ PLG	(mm)	C = 1 para epocas de lluvias
	σ =	10.06	δ max =	36.04			C = 1.50 para epocas de estiaje
			δ min =	6.12	36.17	0.92	
			C =	1.0			

Método del I.A.A. = $\delta c = (x+2\sigma) C$

OPERADOR	CALCULO	Vo. Bo.
P.I.C. JESUS FRANCO M.	ING. ALEJANDRO PERALTA A.	ING. MANUEL CALDERON G.

ESTUDIO DE REBOTE ELASTICO CON VIGA BENKELMAN

CARRETERA	MEXICO - TULANCINGO	CARACTERÍSTICAS DE LA VIGA	
TRAMO	RAMAL A EXCONVENTO DE ACOLMAN	RELACIÓN DEL BRAZO (R)	2.0
SUBTRAMO	0+000 AL 0+650	APROX. DEL MICROMETRO	0.001 plg.
ORIGEN	E.C. MEX - CUAUTLA - TULANCINGO	CARATULA DE	100 unidades
CUERPO	UNICO	PESO EN EL EJE TRASERO	8.20 tons.
CARRIL	DERECHO		
FECHA	Octubre 15, 2005		

KM	RODADA		TEMPERATURA (°C)		LECTURAS (1X10-3 plg)			DEFLEXION CALCULADA	DEFLEXION CORREGIDA		FACTOR POR °T
	INTERIOR	EXTERIOR	AMBIENTE	CARPETA	ENTRADA	SALIDA	DIFERENCIA		(1 X 10 ⁻³ plg)	(mm)	
0+100		X	12	14	65	55	10	20	21.2	0.54	1.06
0+120		X	12	14	55	43	12	24	25.44	0.65	1.06
0+140	X		12	14	50	39	11	22	23.32	0.59	1.06
0+160		X	12	14	55	42	13	26	27.56	0.70	1.06
0+180		X	12	14	52	48	4	8	8.48	0.22	1.06
0+200	X		12	14	45	40	5	10	10.6	0.27	1.06
0+220		X	12	14	65	53	12	24	25.44	0.65	1.06
0+240		X	12	14	55	50	5	10	10.6	0.27	1.06
0+260	X		12	14	60	49	11	22	23.32	0.59	1.06
0+280		X	12	14	58	51	7	14	14.84	0.38	1.06
0+300		X	12	14	63	55	8	16	16.96	0.43	1.06
0+320	X		12	14	65	57	8	16	16.96	0.43	1.06
0+340		X	12	14	42	36	6	12	12.72	0.32	1.06
0+360		X	16	15	56	51	5	10	10.2	0.26	1.02
0+380	X		16	15	63	57	6	12	12.24	0.31	1.02
0+400		X	16	15	70	59	11	22	22.44	0.57	1.02
0+420		X	16	15	63	54	9	18	18.36	0.47	1.02
0+440	X		16	15	65	59	6	12	12.24	0.31	1.02
0+460		X	16	15	41	38	3	6	6.12	0.16	1.02
0+480		X	16	15	63	55	8	16	16.32	0.41	1.02
0+500	X		16	15	66	57	9	18	18.36	0.47	1.02
0+520		X	16	15	65	63	2	4	4.08	0.10	1.02
0+540		X	16	15	58	56	2	4	4.08	0.10	1.02
0+560	X		16	15	74	61	13	26	26.52	0.67	1.02
0+580		X	16	15	78	71	7	14	14.28	0.36	1.02
0+600		X	16	19	78	72	6	12	12.24	0.31	1.02

ESPESOR CARPETA : 10.0 cms.	n =	26			DEFLEXION CARACTERISTICA		
OBSERVACIONES :	X =	15.96					C = 1 para epocas de lluvias
	σ =	6.93	δ max =	27.56	1X10 ⁻³ PLG	(mm)	C = 1.50 para epocas de estiaje
			δ min =	4.08	29.81	0.76	
			C =	1.0			

Método del I.A.A. = $\delta c = (x + 2\sigma) C$

OPERADOR	CALCULO	Vo. Bo.
P.I.C. JESUS FRANCO M.	ING. ALEJANDRO PERALTA A.	ING. MANUEL CALDERON G.

ESTUDIO DE REBOTE ELASTICO CON VIGA BENKELMAN			
CARRETERA	MEXICO - CUAUTLA	CARACTERÍSTICAS DE LA VIGA	
TRAMO	RAMAL TLAMACAS	RELACIÓN DEL BRAZO (R)	2.0
SUBTRAMO	13+000 AL 13+520	APROX. DEL MICROMETRO	0.001 plg.
ORIGEN	E.C. MEX - CUAUTLA - TLAMACAS	CARATULA DE	100 unidades
CUERPO	UNICO	PESO EN EL EJE TRASERO	8.20 tons.
CARRIL	DERECHO		
FECHA	Octubre 15, 2005		

KM	RODADA		TEMPERATURA (°C)		LECTURAS (1X10-3 plg)			DEFLEXION CALCULADA	DEFLEXION CORREGIDA		FACTOR POR °T
	INTERIOR	EXTERIOR	AMBIENTE	CARPETA	ENTRADA	SALIDA	DIFERENCIA		(1 X 10 ⁻³ plg)	(mm)	
13+000		X	7	11	75	44	31	62	73.16	1.86	1.18
13+020		X	7	11	68	60	8	16	18.88	0.48	1.18
13+040	X		7	11	74	64	10	20	23.6	0.60	1.18
13+060		X	7	11	56	45	11	22	25.96	0.66	1.18
13+080		X	7	11	58	52	6	12	14.16	0.36	1.18
13+100	X		7	11	58	47	11	22	25.96	0.66	1.18
13+120		X	7	11	84	69	15	30	35.4	0.90	1.18
13+140		X	7	11	74	44	30	60	70.8	1.80	1.18
13+160	X		7	11	52	35	17	34	40.12	1.02	1.18
13+180		X	7	11	52	36	16	32	37.76	0.96	1.18
13+200		X	7	11	63	42	21	42	49.56	1.26	1.18
13+220	X		7	11	66	59	7	14	16.52	0.42	1.18
13+240		X	7	11	78	44	34	68	80.24	2.04	1.18
13+260		X	7	11	94	89	5	10	11.8	0.30	1.18
13+280	X		18	24	83	65	18	36	36	0.91	1.0
13+300		X	18	24	64	25	39	78	78	1.98	1.0
13+320		X	18	24	66	36	30	60	60	1.52	1.0
13+340	X		18	24	69	36	33	66	66	1.68	1.0
13+360		X	18	24	92	65	27	54	54	1.37	1.0
13+380		X	18	24	74	49	25	50	50	1.27	1.0
13+400	X		18	24	75	48	27	54	54	1.37	1.0
13+420		X	18	24	61	33	28	56	56	1.42	1.0
13+440		X	18	24	74	50	24	48	48	1.22	1.0
13+460	X		18	24	78	49	29	58	58	1.47	1.0
13+480		X	18	24	62	35	27	54	54	1.37	1.0
13+500		X	17	24	89	70	19	38	38.38	0.97	1.01

ESPESOR CARPETA : 2.0 cms.	n =	26			DEFLEXION		
OBSERVACIONES :	X =	45.24			CARACTERISTICA		
	σ =	20.06	δ max =	80.24	1X10 ⁻³ PLG	(mm)	C = 1 para epocas de lluvias
			δ min =	11.8	85.37	2.17	C = 1.50 para epocas de estiaje
			C =	1.0			
				Método del I.A.A. = $\delta c = (x+2\sigma) C$			

OPERADOR	CALCULO	Vo. Bo.
P.I.C. JESUS FRANCO M.	ING. ALEJANDRO PERALTA A.	ING. MANUEL CALDERON G.

ESTUDIO DE REBOTE ELASTICO CON VIGA BENKELMAN

CARRETERA	TLALMANALCO - SAN RAFAEL	CARACTERÍSTICAS DE LA VIGA	
TRAMO	TLALMANALCO - SAN RAFAEL	RELACIÓN DEL BRAZO (R)	2.0
SUBTRAMO	4+100 AL 4+520	APROX. DEL MICROMETRO	0.001 plg.
ORIGEN	TLALMANALCO	CARATULA DE	100 unidades
CUERPO	UNICO	PESO EN EL EJE TRASERO	8.20 tons.
CARRIL	DERECHO		
FECHA	Octubre 16, 2005		

KM	RODADA		TEMPERATURA (°C)		LECTURAS (1X10-3 plg)			DEFLEXION CALCULADA	DEFLEXION CORREGIDA		FACTOR POR °T
	INTERIOR	EXTERIOR	AMBIENTE	CARPETA	ENTRADA	SALIDA	DIFERENCIA		(1 X 10 ⁻³ plg)	(mm)	
4+100		X	20	26	59	39	20	40	39.2	1.00	0.98
4+120		X	20	26	48	35	13	26	25.48	0.65	0.98
4+140	X		20	26	89	80	9	18	17.64	0.45	0.98
4+160		X	20	26	49	29	20	40	39.2	1.00	0.98
4+180		X	20	26	78	60	18	36	35.28	0.90	0.98
4+200	X		20	26	65	49	16	32	31.36	0.80	0.98
4+220		X	20	26	48	38	10	20	19.6	0.50	0.98
4+240		X	20	26	57	39	18	36	35.28	0.90	0.98
4+260	X		20	26	58	44	14	28	27.44	0.70	0.98
4+280		X	19	20	54	38	16	32	31.68	0.80	0.99
4+300		X	19	20	71	59	12	24	23.76	0.60	0.99
4+320	X		19	20	57	47	10	20	19.8	0.50	0.99
4+340		X	19	20	42	29	13	26	25.74	0.65	0.99
4+360		X	19	20	58	46	12	24	23.76	0.60	0.99
4+380	X		19	20	51	38	13	26	25.74	0.65	0.99
4+400		X	19	20	63	35	28	56	55.44	1.41	0.99
4+420		X	19	20	66	52	14	28	27.72	0.70	0.99
4+440	X		19	20	54	42	12	24	23.76	0.60	0.99
4+460		X	19	20	54	46	8	16	15.84	0.40	0.99
4+480		X	19	20	61	46	15	30	29.7	0.75	0.99
4+500	X		19	20	63	53	10	20	19.8	0.50	0.99
4+520		X	23	27	61	43	18	36	34.92	0.89	0.97

ESPESOR CARPETA : 5.0 cms.	n =	22			DEFLEXION CARACTERISTICA		
OBSERVACIONES :	X =	28.55			1X10 ⁻³ PLG	(mm)	C = 1 para epocas de lluvias
	σ =	9.02	δ max =	55.44	46.60	1.18	C = 1.50 para epocas de estiaje
			δ min =	15.84			
			C =	1.0			

Método del I.A.A. = $\delta c = (x+2\sigma) C$

OPERADOR	CALCULO		Vo. Bo.
P.I.C. JESUS FRANCO M.	ING. ALEJANDRO PERALTA A.	ING. MANUEL CALDERON G.	

ESTUDIO DE REBOTE ELASTICO CON VIGA BENKELMAN

CARRETERA	RAMAL COATLINCHAN	CARACTERÍSTICAS DE LA VIGA	
TRAMO	RAMAL COATLINCHAN	RELACIÓN DEL BRAZO (R)	2.0
SUBTRAMO	2+080 AL 2+500	APROX. DEL MICROMETRO	0.001 plg.
ORIGEN		CARATULA DE	100 unidades
CUERPO	UNICO	PESO EN EL EJE TRASERO	8.20 tons.
CARRIL	IZQUIERDO		
FECHA	Octubre 17, 2005		

KM	RODADA		TEMPERATURA (°C)		LECTURAS (1X10-3 plg)			DEFLEXION CALCULADA	DEFLEXION CORREGIDA		FACTOR POR °T
	INTERIOR	EXTERIOR	AMBIENTE	CARPETA	ENTRADA	SALIDA	DIFERENCIA		(1 X 10 ⁻³ plg)	(mm)	
2+500		X	17	20	71	64	7	14	14.14	0.36	1.01
2+480		X	17	20	66	59	7	14	14.14	0.36	1.01
2+460	X		17	20	71	60	11	22	22.22	0.56	1.01
2+440		X	17	20	65	58	7	14	14.14	0.36	1.01
2+420		X	17	20	67	42	25	50	50.5	1.28	1.01
2+400	X		17	20	62	56	6	12	12.12	0.31	1.01
2+380		X	17	20	59	58	1	2	2.02	0.05	1.01
2+360		X	17	20	72	50	22	44	44.44	1.13	1.01
2+340	X		20	23	66	40	26	52	50.96	1.29	0.98
2+320		X	20	23	66	45	21	42	41.16	1.05	0.98
2+300		X	20	23	70	52	18	36	35.28	0.90	0.98
2+280	X		20	23	65	43	22	44	43.12	1.10	0.98
2+260		X	20	23	66	60	6	12	11.76	0.30	0.98
2+240		X	20	23	62	58	4	8	7.84	0.20	0.98
2+220	X		20	23	71	60	11	22	21.56	0.55	0.98
2+200		X	20	23	66	58	8	16	15.68	0.40	0.98
2+180		X	20	23	73	65	8	16	15.68	0.40	0.98
2+160	X		20	23	58	55	3	6	5.88	0.15	0.98
2+140		X	20	23	65	43	22	44	43.12	1.10	0.98
2+120		X	20	23	62	56	6	12	11.76	0.30	0.98
2+100	X		20	23	81	74	7	14	13.72	0.35	0.98
2+080		X	19	23	85	78	7	14	13.86	0.35	0.99

ESPESES CARPETA : 7.0 cms.	n =	22			DEFLEXION CARACTERISTICA		
OBSERVACIONES :	X =	22.96			1X10 ⁻³ PLG	(mm)	C = 1 para epocas de lluvias
	σ =	15.64	δ max =	50.96	54.24	1.38	C = 1.50 para epocas de estiaje
			δ min =	2.02			
			C =	1.0			
Método del I.A.A. = $\delta c = (x + 2\sigma) C$							

OPERADOR	CALCULO		Vo. Bo.
P.I.C. JESUS FRANCO M.	ING. ALEJANDRO PERALTA A.	ING. MANUEL CALDERON G.	

ESTUDIO DE REBOTE ELASTICO CON VIGA BENKELMAN

CARRETERA	RAMAL NORTE DE TEXCOCO	CARACTERÍSTICAS DE LA VIGA	
TRAMO	E.C. TEXCOCO - CHINCOCOAC	RELACIÓN DEL BRAZO (R)	2.0
SUBTRAMO	0+000 AL 3+000	APROX. DEL MICROMETRO	0.001 plg.
ORIGEN	E.C. TEXCOCO - CHINCOCOAC	CARATULA DE	100 unidades
CUERPO	UNICO	PESO EN EL EJE TRASERO	8.20 tons.
CARRIL	DERECHO		
FECHA	Octubre 17, 2005		

KM	RODADA		TEMPERATURA (°C)		LECTURAS (1X10-3 plg)			DEFLEXION CALCULADA	DEFLEXION CORREGIDA		FACTOR POR °T
	INTERIOR	EXTERIOR	AMBIENTE	CARPETA	ENTRADA	SALIDA	DIFERENCIA		(1 X 10 ⁻³ plg)	(mm)	
2+500		X	17	20	72	65	7	14	14.14	0.36	1.01
2+480		X	17	20	67	60	7	14	14.14	0.36	1.01
2+460	X		17	20	72	61	11	22	22.22	0.56	1.01
2+440		X	17	20	66	60	6	12	12.12	0.31	1.01
2+420		X	17	20	68	42	26	52	52.52	1.33	1.01
2+400	X		17	20	63	57	6	12	12.12	0.31	1.01
2+380		X	17	20	60	52	8	16	16.16	0.41	1.01
2+360		X	17	20	73	52	21	42	42.42	1.08	1.01
2+340	X		20	23	67	40	27	54	52.92	1.34	0.98
2+320		X	20	23	67	46	21	42	41.16	1.05	0.98
2+300		X	20	23	71	51	20	40	39.2	1.00	0.98
2+280	X		20	23	66	45	21	42	41.16	1.05	0.98
2+260		X	20	23	65	58	7	14	13.72	0.35	0.98
2+240		X	20	23	63	56	7	14	13.72	0.35	0.98
2+220	X		20	23	72	61	11	22	21.56	0.55	0.98
2+200		X	20	23	67	59	8	16	15.68	0.40	0.98
2+180		X	20	23	74	66	8	16	15.68	0.40	0.98
2+160	X		20	23	60	52	8	16	15.68	0.40	0.98
2+140		X	20	23	66	53	13	26	25.48	0.65	0.98
2+120		X	20	23	63	56	7	14	13.72	0.35	0.98
2+100	X		20	23	80	74	6	12	11.76	0.30	0.98
2+080		X	19	23	86	78	8	16	15.84	0.40	0.99

ESPESOR CARPETA : 7.0 cms.	n =	22			DEFLEXION		
OBSERVACIONES :	X =	23.78			CARACTERISTICA		
	σ =	13.97	δ max =	52.92	1X10 ⁻³ PLG	(mm)	C = 1 para epocas de lluvias
			δ min =	11.76	51.72	1.31	C = 1.50 para epocas de estiaje
			C =	1.0			

Método del I.A.A. = $\delta c = (x+2\sigma) C$

OPERADOR	CALCULO	Vo. Bo.
P.I.C. JESUS FRANCO M.	ING. ALEJANDRO PERALTA A.	ING. MANUEL CALDERON G.

ESTUDIO DE REBOTE ELASTICO CON VIGA BENKELMAN

CARRETERA	VENTA DE CARPIO - LIMS. EDOS.	CARACTERÍSTICAS DE LA VIGA	
TRAMO		RELACIÓN DEL BRAZO (R)	2.0
SUBTRAMO	38+000 AL 49+300	APROX. DEL MICROMETRO	0.001 plg.
ORIGEN	VENTA DE CARPIO	CARATULA DE	100 unidades
CUERPO	"A"	PESO EN EL EJE TRASERO	8.20 tons.
CARRIL	DERECHO		
FECHA	Octubre 17, 2005		

KM	RODADA		TEMPERATURA (°C)		LECTURAS (1X10-3 plg)			DEFLEXION CALCULADA	DEFLEXION CORREGIDA		FACTOR POR °T
	INTERIOR	EXTERIOR	AMBIENTE	CARPETA	ENTRADA	SALIDA	DIFERENCIA		(1 X 10 ⁻³ plg)	(mm)	
40+000		X	23	25	59	57	2	4	3.52	0.09	0.88
40+020		X	23	25	58	52	6	12	10.56	0.27	0.88
40+040	X		23	25	69	64	5	10	8.8	0.22	0.88
40+060		X	23	25	68	50	18	36	31.68	0.80	0.88
40+080		X	23	25	57	42	15	30	26.4	0.67	0.88
40+100	X		23	25	60	57	3	6	5.28	0.13	0.88
40+120		X	23	25	60	52	8	16	14.08	0.36	0.88
40+140		X	23	25	60	56	4	8	7.04	0.18	0.88
40+160	X		23	25	48	46	2	4	3.52	0.09	0.88
40+180		X	23	25	64	59	5	10	8.8	0.22	0.88
40+200		X	23	37	58	51	7	14	12.32	0.31	0.88
40+220	X		20	37	58	56	2	4	3.92	0.10	0.98
40+240		X	20	37	61	59	2	4	3.92	0.10	0.98
40+260		X	20	37	56	51	5	10	9.8	0.25	0.98
40+280	X		20	37	57	56	1	2	1.96	0.05	0.98
40+300		X	20	37	66	65	1	2	1.96	0.05	0.98
40+320		X	20	37	65	64	1	2	1.96	0.05	0.98
40+340	X		20	37	65	62	3	6	5.88	0.15	0.98
40+360		X	20	37	59	56	3	6	5.88	0.15	0.98
40+380		X	20	37	67	61	6	12	11.76	0.30	0.98
40+400	X		20	37	56	51	5	10	9.8	0.25	0.98
40+420		X	25	40	70	64	6	12	9.84	0.25	0.82

ESPESOR CARPETA :	16.0 cms.	n =	22			DEFLEXION CARACTERISTICA		
OBSERVACIONES :	GRIETAS	X =	9.03			1X10 ⁻³ PLG	(mm)	C = 1 para epocas de lluvias
PIEL DE COCODRILO, LONGITUDINALES Y DE REFLEXION		σ =	7.44	δ max =	31.68	23.92	0.61	C = 1.50 para epocas de estiaje
				δ min =	1.96			
				C =	1.0			

Método del I.A.A. = $\delta c = (x+2\sigma) C$

OPERADOR	CALCULO	Vo. Bo.
P.I.C. JESUS FRANCO M.	ING. ALEJANDRO PERALTA A.	ING. MANUEL CALDERON G.

ESTUDIO DE REBOTE ELASTICO CON VIGA BENKELMAN

CARRETERA	VENTA DE CARPIO - LIMS. EDOS.	CARACTERÍSTICAS DE LA VIGA	
TRAMO		RELACIÓN DEL BRAZO (R)	2.0
SUBTRAMO	38+000 AL 49+300	APROX. DEL MICROMETRO	0.001 plg.
ORIGEN	VENTA DE CARPIO	CARATULA DE	100 unidades
CUERPO	"B"	PESO EN EL EJE TRASERO	8.20 tons.
CARRIL	IZQUIERDO		
FECHA	Octubre 17, 2005		

KM	RODADA		TEMPERATURA (°C)		LECTURAS (1X10-3 plg)			DEFLEXION CALCULADA	DEFLEXION CORREGIDA		FACTOR POR °T
	INTERIOR	EXTERIOR	AMBIENTE	CARPETA	ENTRADA	SALIDA	DIFERENCIA		(1 X 10 ⁻³ plg)	(mm)	
44+700		X	24	40	160	30	130	260	221	5.61	0.85
44+680		X	24	40	65	50	15	30	25.5	0.65	0.85
44+660	X		24	40	150	98	52	104	88.4	2.25	0.85
44+640		X	24	40	62	20	42	84	71.4	1.81	0.85
44+620		X	24	40	50	15	35	70	59.5	1.51	0.85
44+600	X		24	40	62	31	31	62	52.7	1.34	0.85
44+580		X	24	40	56	10	46	92	78.2	1.99	0.85
44+560		X	24	40	140	90	50	100	85	2.16	0.85
44+540	X		24	40	95	43	52	104	88.4	2.25	0.85
44+520		X	24	39	55	5	50	100	85	2.16	0.85
44+500		X	24	39	54	1	53	106	90.1	2.29	0.85
44+480	X		24	39	65	40	25	50	42.5	1.08	0.85
44+460		X	24	39	53	22	31	62	52.7	1.34	0.85
44+440		X	24	39	58	26	32	64	54.4	1.38	0.85
44+420	X		24	39	56	13	43	86	73.1	1.86	0.85
44+400		X	24	39	65	33	32	64	54.4	1.38	0.85
44+380		X	24	39	111	85	26	52	44.2	1.12	0.85
44+360	X		24	39	50	18	32	64	54.4	1.38	0.85
44+340		X	24	39	63	24	39	78	66.3	1.68	0.85
44+320		X	24	39	53	23	30	60	51	1.30	0.85
44+300	X		24	39	94	48	46	92	78.2	1.99	0.85
44+280		X	25	41	62	31	31	62	50.84	1.29	0.82

ESPESOR CARPETA : 20.0 cms.	n =	22			DEFLEXION CARACTERISTICA		
OBSERVACIONES :	X =	71.24			1X10 ⁻³ PLG	(mm)	C = 1 para epocas de lluvias
	σ =	37.81	δ max =	221			C = 1.50 para epocas de estiaje
			δ min =	25.5			
			C =	1.0			

Método del I.A.A. = $\delta c = (x+2\sigma) C$

OPERADOR	CALCULO		Vo. Bo.
P.I.C. JESUS FRANCO M.	ING. ALEJANDRO PERALTA A.	ING. MANUEL CALDERON G.	

ESTUDIO DE REBOTE ELASTICO CON VIGA BENKELMAN

CARRETERA	LOS REYES - TEXCOCO	CARACTERÍSTICAS DE LA VIGA	
TRAMO	0+000 AL 17+000	RELACIÓN DEL BRAZO (R)	2.0
SUBTRAMO	0+000 AL 17+000	APROX. DEL MICROMETRO	0.001 plg.
ORIGEN	VENTA DE CARPIO	CARATULA DE	100 unidades
CUERPO	"A"	PESO EN EL EJE TRASERO	8.20 tons.
CARRIL	BAJA VELOCIDAD		
FECHA	Octubre 16, 2005		

KM	RODADA		TEMPERATURA (°C)		LECTURAS (1X10-3 plg)			DEFLEXION CALCULADA	DEFLEXION CORREGIDA		FACTOR POR °T
	INTERIOR	EXTERIOR	AMBIENTE	CARPETA	ENTRADA	SALIDA	DIFERENCIA		(1 X 10 ⁻³ plg)	(mm)	
2+500		X	29	41	64	58	6	12	10.92	0.28	0.91
2+520		X	29	41	84	80	4	8	7.28	0.18	0.91
2+540	X		29	41	66	63	3	6	5.46	0.14	0.91
2+560		X	29	41	67	61	6	12	10.92	0.28	0.91
2+580		X	29	41	61	58	3	6	5.46	0.14	0.91
2+600	X		29	41	67	64	3	6	5.46	0.14	0.91
2+620		X	29	41	70	67	3	6	5.46	0.14	0.91
2+640		X	29	41	65	63	2	4	3.64	0.09	0.91
2+660	X		29	41	65	63	2	4	3.64	0.09	0.91
2+680		X	29	41	68	65	3	6	5.46	0.14	0.91
2+700		X	31	40	53	49	4	8	7.2	0.18	0.9
2+720	X		31	40	64	62	2	4	3.6	0.09	0.9
2+740		X	31	40	73	68	5	10	9	0.23	0.9
2+760		X	31	40	69	67	2	4	3.6	0.09	0.9
2+780	X		31	40	68	65	3	6	5.4	0.14	0.9
2+800		X	31	40	65	61	4	8	7.2	0.18	0.9
2+820		X	31	40	59	56	3	6	5.4	0.14	0.9
2+840	X		31	40	57	43	14	28	25.2	0.64	0.9
2+860		X	31	40	45	39	6	12	10.8	0.27	0.9
2+880		X	31	40	67	63	4	8	7.2	0.18	0.9
2+900	X		31	40	70	66	4	8	7.2	0.18	0.9
2+920		X	28	39	70	65	5	10	9.2	0.23	0.92

ESPESOR CARPETA : 7.0 cms.	n =	22			DEFLEXION CARACTERISTICA		
OBSERVACIONES :	X =	7.49			1X10 ⁻³ PLG	(mm)	C = 1 para epocas de lluvias
	σ =	4.59	δ max =	25.2			C = 1.50 para epocas de estiaje
			δ min =	3.6	16.67	0.42	
			C =	1.0			

Método del I.A.A. = $\delta c = (\bar{x} + 2\sigma) C$

OPERADOR	CALCULO	Vo. Bo.
P.I.C. JESUS FRANCO M.	ING. ALEJANDRO PERALTA A.	ING. MANUEL CALDERON G.

ESTUDIO DE REBOTE ELASTICO CON VIGA BENKELMAN

CARRETERA	LOS REYES - TEXCOCO	CARACTERÍSTICAS DE LA VIGA	
TRAMO	0+000 AL 17+000	RELACIÓN DEL BRAZO (R)	2.0
SUBTRAMO	0+000 AL 17+000	APROX. DEL MICROMETRO	0.001 plg.
ORIGEN	VENTA DE CARPIO	CARATULA DE	100 unidades
CUERPO	"B"	PESO EN EL EJE TRASERO	8.20 tons.
CARRIL	BAJA VELOCIDAD		
FECHA	Octubre 16, 2005		

KM	RODADA		TEMPERATURA (°C)		LECTURAS (1X10-3 plg)			DEFLEXION CALCULADA	DEFLEXION CORREGIDA		FACTOR POR °T
	INTERIOR	EXTERIOR	AMBIENTE	CARPETA	ENTRADA	SALIDA	DIFERENCIA		(1 X 10 ⁻³ plg)	(mm)	
7+620		X	28	34	66	63	3	6	4.68	0.12	0.78
7+600		X	28	34	60	57	3	6	4.68	0.12	0.78
7+580	X		28	34	69	67	2	4	3.12	0.08	0.78
7+560		X	28	34	61	58	3	6	4.68	0.12	0.78
7+540		X	28	34	69	65	4	8	6.24	0.16	0.78
7+520	X		28	34	65	62	3	6	4.68	0.12	0.78
7+500		X	28	34	67	64	3	6	4.68	0.12	0.78
7+480		X	28	34	61	58	3	6	4.68	0.12	0.78
7+460	X		28	34	62	59	3	6	4.68	0.12	0.78
7+440		X	28	34	66	64	2	4	3.12	0.08	0.78
7+420		X	26	31	64	60	4	8	6.48	0.16	0.81
7+400	X		26	31	60	55	5	10	8.1	0.21	0.81
7+380		X	26	31	68	65	3	6	4.86	0.12	0.81
7+360		X	26	31	62	58	4	8	6.48	0.16	0.81
7+340	X		26	31	64	58	6	12	9.72	0.25	0.81
7+320		X	26	31	67	62	5	10	8.1	0.21	0.81
7+300		X	26	31	62	58	4	8	6.48	0.16	0.81
7+280	X		26	31	67	64	3	6	4.86	0.12	0.81
7+260		X	26	31	68	65	3	6	4.86	0.12	0.81
7+240		X	26	31	64	61	3	6	4.86	0.12	0.81
7+220	X		26	31	65	62	3	6	4.86	0.12	0.81
7+200		X	25	30	53	50	3	6	4.92	0.12	0.82

ESPESOR CARPETA : 19.0 cms.	n =	22			DEFLEXION CARACTERISTICA		
OBSERVACIONES :	X =	5.45			1X10 ⁻³ PLG	(mm)	C = 1 para epocas de lluvias
	σ =	1.59	δ max =	9.72	8.63	0.22	C = 1.50 para epocas de estiaje
			δ min =	3.12			
			C =	1.0			

Método del I.A.A. = $\delta c = (x+2\sigma) C$

OPERADOR	CALCULO	Vo. Bo.
P.I.C. JESUS FRANCO M.	ING. ALEJANDRO PERALTA A.	ING. MANUEL CALDERON G.

ESTUDIO DE REBOTE ELASTICO CON VIGA BENKELMAN

CARRETERA	LOS REYES - TEXCOCO	CARACTERÍSTICAS DE LA VIGA	
TRAMO	0+000 AL 17+000	RELACIÓN DEL BRAZO (R)	2.0
SUBTRAMO	0+000 AL 17+000	APROX. DEL MICROMETRO	0.001 plg.
ORIGEN	VENTA DE CARPIO	CARATULA DE	100 unidades
CUERPO	"A"	PESO EN EL EJE TRASERO	8.20 tons.
CARRIL	BAJA VELOCIDAD		
FECHA	Octubre 16, 2005		

KM	RODADA		TEMPERATURA (°C)		LECTURAS (1X10-3 plg)			DEFLEXION CALCULADA	DEFLEXION CORREGIDA		FACTOR POR °T
	INTERIOR	EXTERIOR	AMBIENTE	CARPETA	ENTRADA	SALIDA	DIFERENCIA		(1 X 10 ⁻³ plg)	(mm)	
13+180		X	28	38	58	45	13	26	20.28	0.52	0.78
13+200		X	28	38	67	56	11	22	17.16	0.44	0.78
13+220	X		28	38	63	59	4	8	6.24	0.16	0.78
13+240		X	28	38	64	62	2	4	3.12	0.08	0.78
13+260		X	28	38	57	53	4	8	6.24	0.16	0.78
13+280	X		28	38	65	62	3	6	4.68	0.12	0.78
13+300		X	28	38	65	63	2	4	3.12	0.08	0.78
13+320		X	28	38	63	54	9	18	14.04	0.36	0.78
13+340	X		28	38	60	56	4	8	6.24	0.16	0.78
13+360		X	28	38	60	57	3	6	4.68	0.12	0.78
13+380		X	28	33	66	55	11	22	17.16	0.44	0.78
13+400	X		28	33	62	53	9	18	14.04	0.36	0.78
13+420		X	28	33	75	69	6	12	9.36	0.24	0.78
13+440		X	28	33	62	58	4	8	6.24	0.16	0.78
13+460	X		28	33	65	62	3	6	4.68	0.12	0.78
13+480		X	28	33	60	57	3	6	4.68	0.12	0.78
13+500		X	28	33	60	57	3	6	4.68	0.12	0.78
13+520	X		28	33	63	60	3	6	4.68	0.12	0.78
13+540		X	28	33	62	58	4	8	6.24	0.16	0.78
13+560		X	28	33	56	54	2	4	3.12	0.08	0.78
13+580	X		28	33	63	57	6	12	9.36	0.24	0.78
13+600		X	28	34	66	63	3	6	4.68	0.12	0.78

ESPESOR CARPETA : 16.0 cms.	n =	22			DEFLEXION CARACTERISTICA		
OBSERVACIONES :	X =	7.94			1X10 ⁻³ PLG	(mm)	C = 1 para epocas de lluvias
	σ =	5.16	δ max =	20.28	18.26	0.46	C = 1.50 para epocas de estiaje
			δ min =	3.12			
			C =	1.0			

Método del I.A.A. = $\delta c = (x+2\sigma) C$

OPERADOR	CALCULO	Vo. Bo.
P.I.C. JESUS FRANCO M.	ING. ALEJANDRO PERALTA A.	ING. MANUEL CALDERON G.

ESTUDIO DE REBOTE ELASTICO CON VIGA BENKELMAN			
---	--	--	--

CARRETERA	LOS REYES - TEXCOCO	CARACTERÍSTICAS DE LA VIGA	
TRAMO	0+000 AL 17+000	RELACIÓN DEL BRAZO (R)	2.0
SUBTRAMO	0+000 AL 17+000	APROX. DEL MICROMETRO	0.001 plg.
ORIGEN	VENTA DE CARPIO	CARATULA DE	100 unidades
CUERPO	"B"	PESO EN EL EJE TRASERO	8.20 tons.
CARRIL	BAJA VELOCIDAD		
FECHA	Octubre 16, 2005		

KM	RODADA		TEMPERATURA (°C)		LECTURAS (1X10-3 plg)			DEFLEXION CALCULADA	DEFLEXION CORREGIDA		FACTOR POR °T
	INTERIOR	EXTERIOR	AMBIENTE	CARPETA	ENTRADA	SALIDA	DIFERENCIA		(1 X 10 ⁻³ plg)	(mm)	
14+500		X	27	30	62	54	8	16	12.64	0.32	0.79
14+480		X	27	30	68	63	5	10	7.9	0.20	0.79
14+460	X		27	30	57	51	6	12	9.48	0.24	0.79
14+440		X	27	30	69	66	3	6	4.74	0.12	0.79
14+420		X	27	30	65	55	10	20	15.8	0.40	0.79
14+400	X		27	30	68	64	4	8	6.32	0.16	0.79
14+380		X	27	30	63	57	6	12	9.48	0.24	0.79
14+360		X	27	30	59	51	8	16	12.64	0.32	0.79
14+340	X		27	30	69	62	7	14	11.06	0.28	0.79
14+320		X	27	30	68	65	3	6	4.74	0.12	0.79
14+300		X	21	23	60	51	9	18	17.1	0.43	0.95
14+280	X		21	23	59	52	7	14	13.3	0.34	0.95
14+260		X	21	23	69	63	6	12	11.4	0.29	0.95
14+240		X	21	23	62	52	10	20	19	0.48	0.95
14+220	X		21	23	70	66	4	8	7.6	0.19	0.95
14+200		X	21	23	64	58	6	12	11.4	0.29	0.95
14+180		X	21	23	68	65	3	6	5.7	0.14	0.95
14+160	X		21	23	62	60	2	4	3.8	0.10	0.95
14+140		X	21	23	70	65	5	10	9.5	0.24	0.95
14+120		X	21	23	62	57	5	10	9.5	0.24	0.95
14+100	X		21	23	55	43	12	24	22.8	0.58	0.95
14+080		X	28	30	69	66	3	6	4.68	0.12	0.78

ESPESOR CARPETA : 20.0 cms.	n =	22			DEFLEXION CARACTERISTICA		
OBSERVACIONES :	X =	10.48					
	σ =	4.97	δ max =	22.8	1X10 ⁻³ PLG	(mm)	C = 1 para epocas de lluvias
			δ min =	3.8	20.42	0.52	C = 1.50 para epocas de estiaje
			C =	1.0			
			Método del I.A.A. = $\delta c = (x+2\sigma) C$				

OPERADOR	CALCULO	Vo. Bo.
P.I.C. JESUS FRANCO M.	ING. ALEJANDRO PERALTA A.	ING. MANUEL CALDERON G.