

66
2 ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

MANTENIMIENTO Y CONSERVACION
DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

JOSE EDUARDO NAVA .GONZALEZ



MEXICO, D. F.

1996

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-002/96

Señor
JOSE EDUARDO NAVA GONZALEZ
Presente.

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

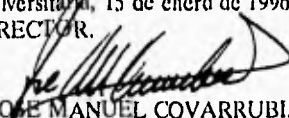
"MANTENIMIENTO Y CONSERVACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES"

- INTRODUCCION**
- I. PAVIMENTOS FLEXIBLES**
- II. ESTUDIO DE PAVIMENTOS EXISTENTES CON FINES DE RECONSTRUCCION O REFUERZO**
- III. OBRAS COMPLEMENTARIAS DE DRENAJE**
- IV. SISTEMAS DE SEGUIMIENTO AL MANTENIMIENTO Y CONSERVACION DE AUTOPISTAS CONCESIONADAS**
- V. CONCLUSIONES**

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitario, 15 de enero de 1996
EL DIRECTOR.


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/GMP*nl

EN AGRADECIMIENTO:

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ser la fuente principal de profesionistas del país y a la facultad de Ingeniería en especial, por ser en ella donde obtuve mi formación técnica y profesional, que pondré, ante todo, al servicio de la patria.

A los profesores y sinodales, por haberme participado sus conocimientos y experiencias, especialmente al Ing. Héctor Sanginés García, director de este trabajo, por haberme brindado su apoyo y confianza.

Al C. Director General de Operadora de Carreteras, S.A. de C.V., C.P. Emilio A. Rodríguez Campos, por su apoyo y confianza.

Al C. Ing. Francisco González Méndez, por su amistad y confianza.

A la Sra. Lilia Campero Zavala, por su gran apoyo en el inicio de preparación de este trabajo.

A la Srita. Araceli Nava Villamar, por su valioso apoyo y dedicación en la elaboración de este trabajo. **Mi reconocimiento.**

A la Srita. Fabiola Casillas Ibarra, por su participación y tiempo dedicado.

A mis padres, por su amor, confianza y apoyo durante el desarrollo de mi preparación Técnica y profesional. En especial a mi madre, por su comprensión y paciencia. Los amo.

A mi esposa, por su amor, comprensión y apoyo durante la elaboración de este trabajo.

A mi hijo Oscar, por su amor y ternura.

A mis hermanos, por su apoyo y comprensión.

INDICE

	Página
INTRODUCCION	1
- Definición de Pavimento	1
- Tipo de Pavimentos	1
I.- PAVIMENTOS FLEXIBLES	3
- Características fundamentales	3
- Estructuración de los pavimentos flexibles	6
- Tipos de fallas en los pavimentos flexibles	10
II.- ESTUDIO DE PAVIMENTOS EXISTENTES CON FINES DE RECONSTRUCCION O REFUERZO	15
- Viga Benkelman	17
- Deflectógrafo Dynaflect	20
- Procedimiento para la determinación de los espesores de refuerzo de pavimentos, a partir de las medidas de deflexión	29
- Método para la obtención del Número de Tránsito para Diseño (NTD)	36
III.- OBRAS COMPLEMENTARIAS DE DRENAJE	39
IV.- SISTEMA DE SEGUIMIENTO AL MANTENIMIENTO Y CONSERVACION DE AUTOPISTAS CONCESIONADAS	48
- Programa de Post- Construcción	51
- Programa de Conservación Rutinara	63
- Programa de Conservación Preventiva y Correctiva	74
- Programa de Administración	77

V.- CONCLUSIONES		79
- Apéndice	1.- VALOR RELATIVO DE SOPORTE	83
- Apéndice	2.- DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES POR EL METODO DEL V.R.S.	92
- Apéndice	3.- GRANULOMETRIA EN SUELOS	101
- Apéndice	4.- CLASIFICACION E IDENTIFICACION DE SUELOS	106
- Apéndice	5.- COMPACTACION DE LOS SUELOS	112
- Apéndice	6.- DEFINICIONES	116

INTRODUCCION

- DEFINICION DE PAVIMENTO :

Es la capa o el conjunto de materiales apropiadamente seleccionados que reciben las cargas del tránsito en forma directa y los transmiten adecuadamente distribuidas a las capas inferiores. Estas capas están comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento.

Las principales funciones que deberá cumplir 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.

En resumen, el pavimento es la superestructura de las obras viales, que hace posible el tránsito fluido de los vehículos con la comodidad, seguridad y economía previstos en el proyecto.

- TIPOS DE PAVIMENTOS :

Los pavimentos se definen y diferencian en términos de los materiales de que son constituidos y en cómo se estructuran esos materiales, clasificándolos con fines prácticos en rígidos y flexibles.

Pavimento rígido se considera a aquél cuyo elemento fundamental sea una losa de concreto hidráulico.

Pavimentos flexibles son todos aquéllos en los que la superficie de rodamiento es una carpeta asfáltica o bien una capa de material pétreo compactado.

En ambos casos la superficie de rodamiento deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- a).- Ser estable ante los agentes del intemperismo
- b).- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito
- c).- Tener textura apropiada al rodamiento
- d).- Ser durable
- e).- Tener condiciones adecuadas en lo referente a la permeabilidad
- f).- Ser económica

Para el caso de los pavimentos rígidos la capa de rodamiento se construye con suficiente espesor y de una calidad tal que se logre que los esfuerzos transmitidos a la terracería sean compatibles con la calidad de esta.

En el caso de los pavimentos flexibles la superficie de rodamiento se logra mediante una carpeta bituminosa relativamente delgada, de alto costo y alta calidad, pero entre ella y las terracerías se interpone un sistema de varias capas de materiales seleccionados cuya calidad va disminuyendo con la profundidad, en congruencia con los niveles de esfuerzos producidos por el tránsito, que siguen una ley en ese mismo sentido decreciente. Por tanto, el espesor del pavimento depende fundamentalmente del material de la terracería que constituirá su apoyo.

En México la mayor parte de su Red Carretera está conformada con pavimentos del tipo flexible, por lo cual, se describirán brevemente las características fundamentales de ellos, su estructuración, los tipos de fallas más comunes y el estudio de pavimentos existentes con fines de reconstrucción ó refuerzo, que es el motivo principal de este trabajo.

Así mismo se desarrollarán los temas Obras Complementarias de Drenaje y Sistemas de Seguimiento al Mantenimiento y Conservación de Autopistas Concesionadas que la Secretaría de Comunicaciones y transportes ha implementado y puesto en operación a partir de 1994.

I.- PAVIMENTOS FLEXIBLES

- CARACTERIASTICAS FUNDAMENTALES

A.- Resistencia Estructural.- El soportar las cargas impuestas por el tránsito dentro del nivel de deterioro y paulatina destrucción previstos por el proyecto, es la primera condición que debe cumplir el pavimento.

Se considera a los esfuerzos cortantes como la principal causa de falla estructural de un pavimento, por lo que la propiedad fundamental que deberán tener los suelos que lo componen y que se hará intervenir en el diseño es la resistencia al esfuerzo cortante.

Además de estos esfuerzos, sobre los pavimentos actúan otros adicionales producidos por la aceleración y frenaje de los vehículos y esfuerzos de tensión desarrollados en los niveles superiores de la estructura y a cierta distancia del área cargada, al deformarse ésta verticalmente hacia abajo.

Los pavimentos están sujetos a cargas móviles y los efectos de éstas son menos conocidos y diferentes que los de las cargas estáticas. Aunado a esto, estas cargas actuantes son repetitivas y afectan a la larga a la resistencia de las capas de relativa rigidez, en este caso, a las carpetas asfálticas y a las bases estabilizadas, donde se pueden presentar los fenómenos de fatiga que son muy difíciles de analizar y cuantificar. La repetición de las cargas es causa de la rotura de granos que modifica la resistencia de la capa, también produce la interpenetración de partículas granulares en las capas de suelo más fino.

Así, la resistencia de los materiales que forman los pavimentos nos deben interesar por:

A.1.- La capacidad de carga que puedan desarrollar las capas que constituyen el pavimento para soportar adecuadamente las cargas del tránsito.

A.2.- La capacidad de carga de la capa subrasante, que constituye el nexo de unión entre el pavimento y la terracería para soportar los esfuerzos transmitidos y transmitir a su vez, esfuerzos a la terracería a niveles convenientes.

B.- La Deformabilidad.- Dada la naturaleza de los materiales que forman las capas del pavimento, la deformabilidad suele crecer mucho hacia abajo. Así, la terracería es muy deformable con respecto a las capas que constituyen el pavimento y la capa inferior de éste, la subrasante se deforma menos que la terracería pero más que las capas superiores, quienes tienen niveles de deformación tolerables, aún para los altos esfuerzos que en ellas actúan.

Las deformaciones excesivas están asociadas a estados de falla y aún cuando éstas no hayan motivado el colapso estructural propiamente dicho, los pavimentos deformados pueden dejar de cumplir las funciones para las cuales fueron construídos.

Las cargas del tránsito producen en los pavimentos deformaciones de varias clases, pero podemos clasificarlas en dos grupos que se definen a continuación.

B.1.- Deformaciones Elásticas.- Son de recuperación instantánea, pero preocupan sobre todo en los materiales con resistencia a la tensión, colocados en la parte superior de la estructura, en los que puede llegar a generarse falla por fatiga si la deformación es importante y los materiales son susceptibles.

B.2.- Deformaciones Plásticas.- Son aquéllas que permanecen en el pavimento después de cesar la causa que la produce. Estas deformaciones tienden a hacerse acumulativas y pueden llegar a alcanzar valores inadmisibles bajo carga móvil y repetida. Este proceso puede ir acompañado de una densificación de los materiales, de tal manera, que el pavimento "fallado" puede ser más resistente que el original.

C.- La Durabilidad.- Para establecer el criterio de diseño, se deberán tomar en cuenta los factores socioeconómicos, ya que en base a éstos se determinará la durabilidad del pavimento.

Los factores que inciden directamente sobre la durabilidad del pavimento, son el clima y el tránsito vehicular, cuyos efectos son difíciles de establecer y por consecuencia su influencia en la vida del pavimento no puede definirse con exactitud.

D.- El Costo.- Los pavimentos rígidos demandan poco gasto de conservación y se deterioran poco, pero su costo de construcción es alto y están circunscritos a la disponibilidad de los materiales necesarios y a un equipo de construcción especializado. Los pavimentos flexibles requieren menor inversión inicial, pero una conservación más costosa.

E.- Los Requerimientos de la Conservación.- Como ya se mencionó, los factores climáticos influyen decisivamente en la vida de los pavimentos, por lo que se deberán tomar en cuenta en el proyecto para su previsión, a fin de dejar a la conservación una tarea razonable. De la intensidad del tránsito nos interesará prever el crecimiento futuro, tanto del número como del tipo de vehículos circulantes.

El comportamiento de las terracerías es otro factor que se deberá tomar en cuenta, ya que debido a sus deformaciones, derrumbes, saturaciones locales, etc., podrá llegarse a graves problemas de conservación y de reconstrucción.

Las condiciones de drenaje y subdrenaje son uno de los puntos más importantes para definir tanto la vida de un pavimento como su necesidad de conservación. El proyecto de estos elementos debe considerarse como parte del diseño del pavimento.

La degradación estructural de los materiales constitutivos por carga repetida es otro aspecto importante a reflejarse en los requerimientos de conservación.

F.- La Comodidad.- Los problemas y métodos del diseño de los pavimentos deben verse afectados por la comodidad que el usuario requiere para transitar a la velocidad de proyecto y dentro de este requisito quedan incluidos otros de los que la seguridad es el más importante, la estética y su efecto en las reacciones psicológicas del conductor merece también consideración.

Las deformaciones longitudinales de un pavimento pueden ir en contra de la comodidad, aún cuando éstas representen poco o nada de deficiencia estructural o riesgo de falla.

- ESTRUCTURACION DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

Generalmente estos pavimentos están estructurados por :

- 1).- Terracerías
- 2).- Subrasante
- 3).- Sub-base
- 4).- Base
- 5).- Carpeta asfáltica

Ordenados en forma creciente de acuerdo a su calidad, siendo la carpeta asfáltica la que queda expuesta al tráfico vehicular y al intemperismo.

Así, las terracerías o material de terreno natural que es mejorado por medios mecánicos (usualmente compactación) es de menor calidad que el material utilizado en la subrasante y éste a su vez de menor calidad que el que comprende la sub-base y así sucesivamente.

Por consiguiente el costo de los materiales utilizados se va haciendo mayor cuanto más cercano esté a la superficie de rodamiento, por ejemplo, el costo del material para la base es mayor que el de la sub-base, pero menor que el de la carpeta asfáltica. Es por esto que se busca siempre balancear el costo de los materiales utilizados en cada capa con el nivel de esfuerzos transmitidos a la capa subyacente, así por ejemplo, se buscará que la carpeta asfáltica sea del mínimo espesor que soporte las cargas impuestas por el tráfico vehicular y los agentes del intemperismo y que además transmita adecuadamente los esfuerzos hacia la capa de base, para la que también se buscará utilizar el material más adecuado para resistir los esfuerzos transmitidos por la carpeta asfáltica y a su vez transmitir bajos esfuerzos hacia la sub-base, y así sucesivamente, tomando en consideración que el material que conformará la subrasante es el de menor costo del pavimento y por lo tanto puede ser el de mayor volumen a utilizar, formando la capa de mayor espesor, a fin de transmitir hacia las terracerías el menor esfuerzo posible, ya que estas son las que tienen menor capacidad de carga y mayor deformabilidad.

Cabe señalar que si la deformabilidad de los materiales de terracería es tomada en consideración para el diseño del pavimento, el costo se incrementará considerablemente por tenerse que diseñar las capas suprayacentes con espesores muy grandes. En caso contrario, si no es tomada en cuenta para el diseño, el pavimento no tendrá un buen comportamiento, aún cuando su conservación sea muy buena.

Otro punto que se debe cuidar para el buen funcionamiento de las terracerías es el de la acción climática, sobre todo en los conceptos de drenaje y subdrenaje.

La subrasante es la capa que queda situada entre las terracerías y la sub-base y deberá ser capaz de absorber esfuerzos relativamente altos provenientes de la superficie y a su vez transmitirlos ya disminuidos hacia las terracerías.

Los materiales de que estará constituida nunca serán de mejor calidad que los de la sub-base, por lo que su contribución a la estructura del pavimento se basa principalmente en su espesor, pero si se logra por medios mecánicos una alta calidad, redundará en un ahorro en los espesores de las capas superiores.

En México se ha establecido que el espesor mínimo de la subrasante será de 30 cm. en general y de 50 cm. en caminos de alto tránsito o donde el material de terracerías no sea nada confiable. Para aeropistas se utiliza sistemáticamente el espesor mínimo de 50 cm.

Asimismo, para carreteras el material de subrasante no deberá tener partículas mayores de 7.6 cm. (3"), nunca serán suelos finos (MH, CH) cuyo límite líquido sea mayor de 100%, ni tampoco suelos orgánicos con límite líquido mayor de 50% (OH). Se especifican grados de compactación de 95% y se exige un Valor Relativo de Soporte mínimo de 5%.

La principal función de la sub-base de un pavimento flexible, es de carácter económico, ya que se trata de formar el espesor requerido del pavimento con el material más barato posible.

La sub-base sirve de transición entre el material de la base, que generalmente es granular grueso y el de la subrasante que tiende a ser más fino. Actúa también, como filtro de la base e impide su incrustación en la subrasante. Se coloca para absorber deformaciones perjudiciales en la subrasante por cambios volumétricos asociados a cambios de humedad. Actúa como dren para desalojar el agua que se infiltre desde arriba e impide la ascensión capilar hacia la base de agua procedente de la terracería.

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

Los espesores de sub-base son variables dependiendo de cada proyecto, pero se considera generalmente una dimensión mínima constructiva de 12 ó 15 cm.

La base tiene una función económica análoga a la descrita para la sub-base, pero fundamentalmente su función 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. También tiene una importante función drenante, debiendo ser capaz de eliminar fácil y rápidamente el agua que llegue a infiltrarse a través de la carpeta, así como de impedir radicalmente la ascensión capilar del agua que provenga de niveles inferiores. Por tanto el material que la constituya deberá ser friccionante y suficientemente provisto de vacíos.

Los materiales utilizados para la formación de las bases son agregados pétreos o fragmentos rocosos sometidos a procesos de fabricación, tal como la trituración, que produce efectos favorables en la resistencia y deformabilidad, pues da lugar a partículas de aristas vivas entre las que es importante el efecto de acomodo estructural, que es una de las fuentes de resistencia. El cribado de estos materiales es otro proceso de fabricación y a través del cual se logra satisfacer un requisito granulométrico que permita alcanzar una mayor compacidad mediante la compactación, beneficiando su resistencia.

Los suelos finos son siempre indeseables en una base, ya que afectan desfavorablemente la resistencia, aumentan la deformabilidad y perjudican notablemente su función drenante, por tal motivo en muchas ocasiones se especifica en los proyectos el proceso de lavado de los materiales provenientes de bancos con los que se construirá la base.

El tamaño máximo del agregado pétreo a utilizar para la conformación de esta capa será de 51 mm. (2") en materiales naturales que no requieran tratamiento y de 38 mm. (1 1/2") en aquellos que han de cribarse o triturarse, la relación del porcentaje, en peso, que pase la malla No. 200 al que pase la malla No. 40 no deberá ser mayor de 0.65, el límite líquido no será mayor a 30%, el equivalente de arena como mínimo será de 50 en carreteras con un tránsito más intenso al de 1000 vehículos pesados por día, el Valor Relativo de Soporte se fija en 100% para este tipo de carreteras y por último el grado de compactación será de 95%, aunque normalmente se lleva la compactación hasta el 100%.

El espesor de la base también es muy variable, de acuerdo al proyecto de que se trate, pero se considera que conviene construirse un espesor mínimo de 12 ó 15 cm

La carpeta debe proporcionar en el pavimento flexible una superficie de rodamiento estable, capaz de resistir la aplicación directa de las cargas, la fricción de las llantas, los esfuerzos de frenaje, los producidos por las fuerzas centrifugas, los impactos, etc., debe tener la textura necesaria para permitir un rodamiento seguro y cómodo y un frenaje apropiado. También deberá resistir los agentes del intemperismo y será de un color que evite reflejos del sol durante el día y de luces artificiales durante la noche.

La exposición directa a las cargas del tránsito y la indeformabilidad necesaria para el buen servicio implican que la carpeta esté formada con material que ofrezca suficiente resistencia bajo condiciones de presión normal exterior nula, que priva en la frontera superior del pavimento; en otras palabras, se requiere ahora un material que posea cohesión, siendo el producto asfáltico que liga los agregados pétreos el que la proporcione, en el caso de las carpetas bituminosas.

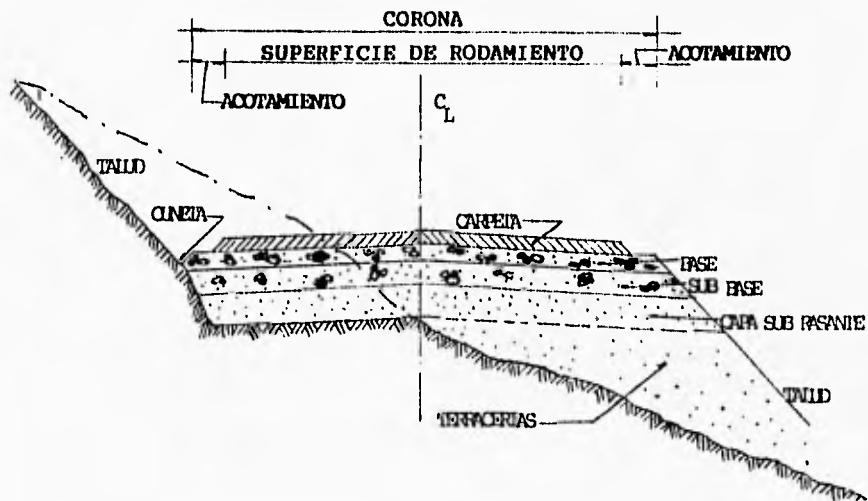


Fig. 1.- Sección Típica de un pavimento flexible en una sección en balcón.

- TIPOS DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

Es preciso iniciar este capítulo haciendo notar la ambigüedad en el uso de la palabra FALLA, que en Pavimentos, es común se utilice tanto para identificar colapsos o desastres locales, como para describir deterioros simples de posible evolución futura desfavorable.

Las fallas de los pavimentos se pueden dividir en tres grupos fundamentales, de acuerdo a su origen perfectamente diferenciado :

- 1).- Fallas por insuficiencia estructural.- Se presentan en pavimentos construidos con materiales inapropiados en cuanto a resistencia o con materiales de buena calidad, pero en espesor insuficiente. Se produce cuando las combinaciones de la resistencia al esfuerzo cortante de cada capa y los respectivos espesores no son los adecuados para que se establezca un mecanismo de resistencia apropiado.
- 2).- Fallas por defectos constructivos.- Se presentan en pavimentos bien proporcionados y formados por materiales suficientemente resistentes, en cuya construcción se han producido errores o defectos que comprometen el comportamiento conjunto.
- 3).- Fallas por fatiga.- Se presentan en pavimentos que de origen están en condiciones apropiadas, pero que por la continuada repetición de las cargas del tránsito van sufriendo efectos de fatiga, degradación estructural y pérdida de resistencia y deformación acumulada. Estas fallas resultan influidas por el tiempo de servicio y son típicas de aquellos que durante mucho tiempo trabajaron sin problemas.

Ahora bien, las fallas en los pavimentos flexibles se pueden agrupar por el modo en que suceden y se manifiestan, clasificándose de la siguiente manera, donde se tabulan su manifestación y sus causas :

TIPO	MANIFESTACION	CAUSAS
FRACTURAMIENTO	Agrietamiento	Exceso de carga (insuficiencia estructural) Repetición de carga (fatiga) cambios de temperatura Cambios de humedad (defecto constructivo) Ondulamiento por fuerzas horizontales (deficiencia estructural o defecto constructivo) Contracción
	Dstrucción por agrietamiento	Exceso de carga (insuficiencia estructural) Repetición de carga (fatiga) Cambios de temperatura Cambios de humedad
DEFORMACION	Deformación permanente	Exceso de carga (Insuficiencia estructural) Proceso de deformación viscosa (fatiga, insuficiencia estructural y defecto constructivo) Aumento de compacidad (defecto constructivo, Rotura de granos) Consolidación Expansión
	Falla	Exceso de carga (insuficiencia estructural) Aumento de compacidad (defecto constructivo, Rotura de granos) Consolidación Expansión
DESINTEGRACION (falta de carpeta)	Remoción	Pérdida de adherencia en la carpeta Reactividad química Abrasión del Tránsito
	Desprendimiento	Pérdida de adherencia en la carpeta Reactividad química Abrasión por efecto del tránsito Degradación de los agregados

Tabla 1

El efecto del tránsito, las características y estructuración del pavimento y la naturaleza del apoyo que proporciona la terracería, están relacionadas con las causas últimas para los tres tipos de falla principales, sin embargo las variables específicas que más influyen en cada uno de ellos sí pueden ser algo diferentes.

A continuación se tabularán qué características de las tres causas finales influyen más en cada uno de los tres tipos principales de fallas.

TIPO DE FALLA	CAUSA ULTIMA		
	TRANSITO	PAVIMENTO	CIMENTACION (apoyo)
FRACTURAMIENTO	Carga por rueda (magnitud) Repeticiones Area de influencia de la carga Velocidad Arreglo y disposición de ruedas y ejes.	Rigidez de las diversas capas Flexibilidad (adaptabilidad a la fatiga) Durabilidad Deformación plástica Deformación elástica	Rigidez en base y sub-base Deformación plástica Deformación elástica
DEFORMACION	carga por rueda (magnitud) Repeticiones Area de influencia de la carga Velocidad Arreglo y disposición de ruedas y ejes	Espesor Resistencia Compresibilidad Susceptibilidad a cambio de volumen Deformación plástica Deformación elástica	Susceptibilidad a los cambios de volumen Deformación plástica Deformación elástica
DESINTEGRACION (fallas de carpetas)	Presión de la llanta Repeticiones Velocidad	Características del asfalto Características del agregado (porosidad, falta de adherencia con el asfalto)	Resiliencia en las capas de pavimento Infiltración de agua Cambios de temperatura

En esta tabla se puede observar y concluir que las fallas por insuficiencia estructural, defecto constructivo o fatiga, pueden ser de cualquiera de los tres tipos fundamentales (fracturamiento, deformación o desintegración) y el que una determinada deficiencia dé origen a uno u otro tipo de falla dependerá de como se conjuguen todas las variables que genéricamente se agrupan bajo los encabezados "efecto del tránsito", "características mecánicas y estructuración de los materiales en el pavimento" y "apoyo de capas inferiores de la terracería o, en última instancia, del terreno de cimentación".

A continuación, se describen brevemente algunas de las fallas más comunes en los pavimentos flexibles :

a.- Agrietamiento en "piel de cocodrilo".- Agrietamiento que se extiende sobre toda la superficie de rodamiento o sobre una parte substancial de élla. Condición indicativa de movimiento excesivo de una o más de las capas del pavimento o de fatiga, muchas veces en la propia carpeta.

Este tipo de falla es común en pavimentos flexibles construidos sobre terracerías resilientes o dentro de los cuales la subrasante muestra resiliencia. También es típico de bases débiles e insuficientemente compactadas.

Este fenómeno puede ser o no progresivo; cuando lo es, termina en destrucciones locales del pavimento, que comienzan por desprendimientos de la carpeta en lugares localizados y en rápida remoción de los materiales granulares expuestos. También puede ser indicativo de lugares en que se requiere subdrenaje.

Las evoluciones de este fenómeno asociados a deficiencias estructurales o a exceso de agua son muy rápidas, no así cuando lo son al envejecimiento y fatiga de la carpeta que progresan muy lentamente.

b.- Surcos (Deformaciones permanentes en la superficie del pavimento).- Está asociada a aumento de compacidad en las capas granulares de base o sub-base, debida, a su vez, a carga excesiva, carga repetida (aumento de compacidad por vibración) o a rotura de granos; también puede deberse a consolidación en la subrasante o aún en el cuerpo de la terracería.

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

Debe distinguirse del surco que se produce por simple desplazamiento lateral de una carpeta defectuosa, donde el material se eleva a los dos lados del surco. En un surco de origen profundo no se producen estas ondulaciones.

c.- Fallas por cortante.- Están asociadas a falta de resistencia al esfuerzo cortante en la base o sub-base y raramente en la subrasante. Consisten en surcos profundos, nitidos y bien marcados, cuyo ancho no excede mucho del de la llanta. Suele haber elevación del material de carpeta a ambos lados del surco, pero la falla se distingue fácilmente de un simple desplazamiento de carpeta por la mayor profundidad afectada.

d.- Agrietamiento longitudinal.- Aparición de grietas longitudinales de no gran abertura (0.5 cm.) en toda el área que corresponde a la de circulación de las cargas más pesadas.

Son debidas a movimientos de las capas de pavimento que tienen lugar predominantemente en dirección horizontal y pueden ocurrir en la base, en la sub-base o con cierta frecuencia en la subrasante.

Son indicativos de cambios volumétricos por variación del contenido de agua, sobre todo en la subrasante.

e.- Consolidación del terreno de cimentación.- Al producirse ésta en terrenos blandos, puede provocar destrucción del pavimento, independientemente de los espesores o de la condición estructural del mismo.

Las deformaciones de la sección transversal pueden producir agrietamientos longitudinales. En terraplenes se producen agrietamientos con trayectoria circular, marcando lo que podrá llegar a ser la cabeza de la falla eventual.

II.- ESTUDIO DE PAVIMENTOS EXISTENTES CON FINES DE RECONSTRUCCION O REFUERZO.

En los países en vías de desarrollo, se ve que uno de los problemas más comunes en las redes de transporte, es aquel en que se presenta la necesidad de reparar los pavimentos, construidos con anterioridad. Para lo cual es necesario realizar un análisis del estado actual del pavimento, con el fin de efectuar la reparación y saber el monto de ésta.

Este problema se origina, debido a que en dichos países se presentan las siguientes condiciones.

Expansión del tránsito.

Insuficiencia presupuestal en el momento de la construcción.

Falta de la adecuada conservación.

En estos países se sigue una política de inversión escalonada por lo que se hace frecuente la necesidad de ampliación y reconstrucción. Esta política se basa en que originalmente los pavimentos se construyen para condiciones diferentes de las actuales y con corta vida útil, esperando a que el desarrollo futuro cree las condiciones que hagan posible efectuar nuevas inversiones.

Esta política de inversión escalonada, permite una mayor disponibilidad de recursos y atención a un mayor número de obras, pero también produce frecuentemente la necesidad de ampliación.

La rehabilitación de los pavimentos, varía desde la colocación de riegos de "rejuvenecimiento" o construcción de sobre-carpetas, hasta reconstrucciones integrales.

Las rehabilitaciones de los pavimentos, por incremento normal del tránsito, comúnmente se resuelven empleando sobre-carpetas, mientras que las reconstrucciones serán necesarias en los pavimentos que muestren indicios de falla, como aquéllos que presenten aparición de deformaciones excesivas o en niveles muy elevados de deflexión, detectadas con los instrumentos adecuados y de los que se dispone actualmente, como son, la viga Benkelman y el deflectógrafo Dynaflect.

El criterio seguido para la rehabilitación de los pavimentos, es un listado de las circunstancias que hacen insatisfactorio su servicio, implicando no únicamente la aparición de grietas superficiales o la falla catastrófica, sino que también el alto gasto de conservación.

Por lo anterior, a continuación se enlistan las principales normas de criterio que se consideran para definir la necesidad de rehabilitación de un pavimento.

- a).- Nivel de servicio.- Varía con el tipo de la vía terrestre.
- b).- Condición estructural.- Capacidad del pavimento para soportar las cargas del tránsito en la actualidad y seguirlo haciendo en el futuro próximo.
- c).- Condiciones de la superficie.- Apariencia del pavimento, que se refleja en grietas, deformaciones, etc. que no necesariamente está ligada a la capacidad estructural. Si bien es cierto, la falta de capacidad estructural se reflejará rápidamente en la apariencia del pavimento.
- d).- Seguridad.- Valuado generalmente en base a estadísticas de accidentes.
- e).- Costo.- Referido al costo de la rehabilitación y a los costos de conservación y operación.

De acuerdo a la opinión de un grupo de usuarios, que recorren el camino en condiciones normales, se llega a establecer un índice de servicio, y considerando las condiciones de la superficie de rodamiento en lo que se refiere a agrietamientos, deformaciones permanentes y cualquier otro deterioro de la misma, se realiza el estudio pertinente para su rehabilitación. En principio, se realizará un levantamiento tan detallado como sea posible de los deterioros que presente la superficie y su posible relación con las condiciones de drenaje y subdrenaje, topografía de la zona y en sí, cualquier aspecto que influya en el comportamiento general del pavimento.

Para fines de valuación de los pavimentos, la capacidad estructural se relaciona con la medición de las deflexiones sufridas. Estas, pueden ser determinadas bajo carga estática, con equipos tales como la viga Benkelman o un curvimetro Dehlen y bajo cargas dinámicas con un deflectógrafo como el Dynaflect. o el KUAB 2m. FWD.

A continuación se describen los equipos viga Benkelman y deflectógrafo Dynaflect y su procedimiento de utilización.

- VIGA BENKELMAN

Es un instrumento que funciona conforme al principio básico de las palancas (Fig. 2) compuesto por: un brazo D fijo, que se sitúa nivelado sobre el pavimento, apoyado en tres puntos (un punto A y dos puntos B) y un brazo móvil D1 que está acoplado al brazo fijo por una articulación rotatoria. Para medir la deflexión se utiliza un camión cargado, con un arreglo dual de llantas. La viga se coloca, de tal manera que el extremo del brazo móvil (punto C) quede centrado entre el arreglo dual de llantas. Este punto bajará una cierta cantidad, debido a la deformación provocada en el pavimento por el peso de las llantas. De esta manera el brazo móvil D1, girará en torno a la articulación, con respecto al brazo fijo D, que fue nivelado con anterioridad. Las dimensiones de la viga son tales que el peso de las llantas no afectará la posición del brazo fijo D. Así el extensómetro indicado, hará una lectura; a continuación se retiran las llantas cargadas, haciendo que el punto C se recupere, en lo que a deformación elástica se refiere, por lo cual, el extensómetro hará otra lectura, por el mismo mecanismo anterior.

Con estas dos lecturas del extensómetro, será posible saber cuánto es lo que se movió el punto E, mediante esta operación, y de acuerdo a la geometría de la viga, será posible obtener la recuperación elástica del punto C al quitar las llantas cargadas, (tal como se ilustra en el croquis operativo en la misma fig. 2). En realidad, lo que se ha medido es la recuperación del punto C al remover la carga y no la deformación al colocar ésta.

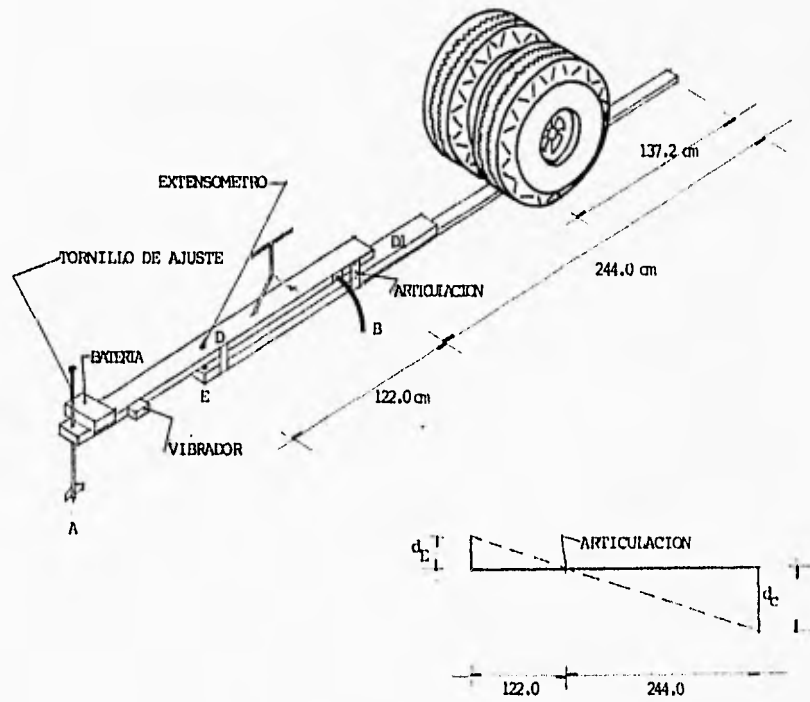


Fig. 2.- Viga Benkelman

FALTA PAGINA

No. 19

- DEFLECTOGRAFO DYNAFLECT

Este dispositivo consiste en un sistema electromecánico, que mide las deflexiones dinámicas de una superficie o estructura, causadas por una fuerza oscilatoria (senoidal). Las mediciones son independientes de una superficie fija de referencia.

Este dispositivo está compuesto por un generador de fuerzas dinámicas; un conjunto de sismógrafos alineados (geófonos) montados en un pequeño remolque y un sistema de medición portátil, el cual es normalmente llevado en el vehículo de tracción. (Fig. 3).

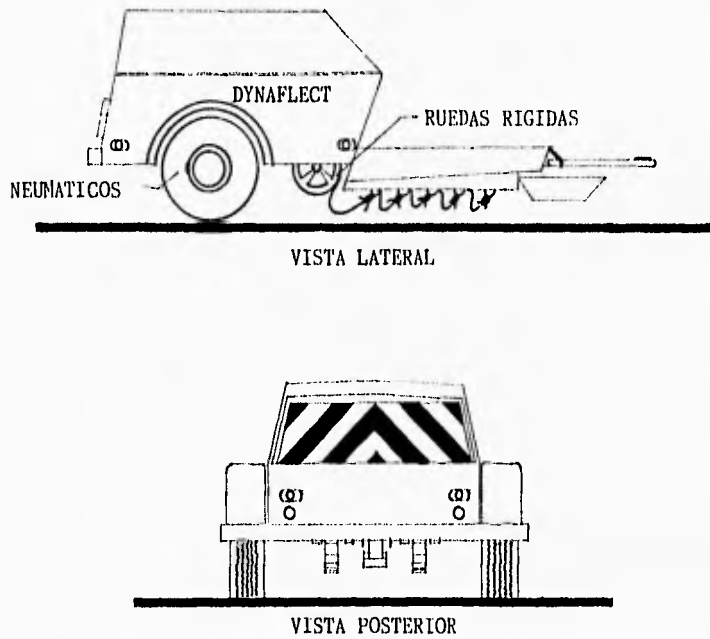


Fig. 3.- Deflectógrafo Dynaflect

El generador produce una fuerza vertical, que varía senoidalmente a razón de 8 ciclos/seg. Así, la fuerza total aplicada a la superficie bajo el trailer será el peso estático del aparato 1,600 lbs. (733.76 kg) más la fuerza dinámica producida por unos volantes que se suman alternativamente al peso, siendo el rango de ésta de 1,000 lbs(453.6 kg) y se aplica al terreno por medio del par de ruedas rígidas mostradas en la figura 3.

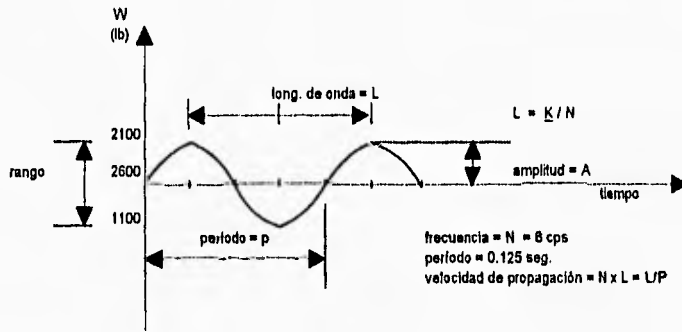


Fig. 4 Movimiento ondulatorio transversal

La superficie sobre la que descansan las ruedas rígidas, presentará deflexiones hacia abajo y hacia arriba, sincronizadas con la fuerza repetitiva de 1,000 lbs (453.6 kg). Los geófonos medirán la amplitud de dicho movimiento, ya que estarán en contacto con el terreno (Fig. 5).

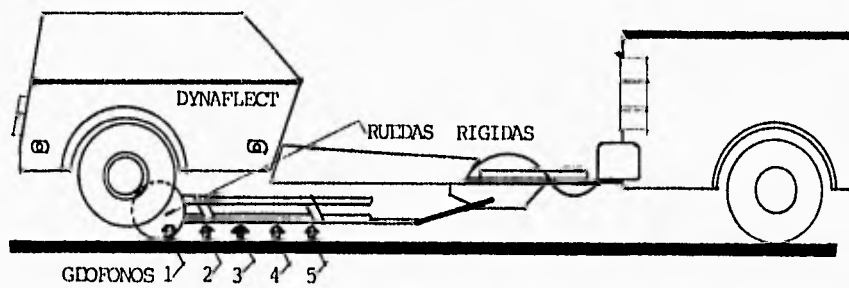


Fig. 5.- Posición del Dynaflect tomando lecturas

Para la determinación de la amplitud del movimiento, no se requiere un sistema de referencia fijo, ya que este es cíclico, por lo cuál este sistema de medición está libre de errores que afectan a los demás métodos porque requieren puntos de referencia locales para sus mediciones, mientras que este sistema requiere una referencia inercial, que puede considerarse como localizada en el centro de gravedad de la tierra.

La magnitud de las deflexiones serán leídas en un medidor de la unidad de control, que estará localizado a un lado del conductor del vehículo o del operador del equipo. Tiene seis escalas diferentes, de tal manera que podrán leerse deflexiones tan grandes como 30 milésimas de pulgada (0.762 mm.) o tan pequeñas como 0.01×10^{-3} pulgadas (0.000254 mm.).

La unidad de control proporciona un control remoto del sistema (Fig. 6). Al operar el switch general, quedará energizado el sistema, encendiéndose en el tablero los focos piloto verde y azul, que son controlados por los switches de sensores y fuerza respectivamente. Para iniciar la operación de toma de lectura, deberá estar el switch de trabajo en la posición de operación.

Para subir o bajar las ruedas rígidas, el switch de fuerza deberá moverse hacia abajo, haciendo funcionar una bomba hidráulica, que se encuentra accesible por la parte superior del remolque. La unidad elevadora incluye un motor eléctrico de 12 volts de corriente directa, una bomba hidráulica de válvulas interiores y de un depósito. Este sistema hidráulico sirve para activar dos gatos hidráulicos montados entre la estructura del remolque y las ruedas rígidas. Al término de la carrera de los gatos, las ruedas rígidas hacen contacto con la superficie, quedando en posición vertical los volantes de inercia (Fig. 7), a continuación se acciona el switch limitador para detener el movimiento de la bomba hidráulica, apagándose el foco piloto azul y encendiéndose el amarillo. En esta operación también se energiza el motor de fuerza, que hace que los volantes de inercia giren hasta un valor cercano a 8 c.p.s., debiéndose calibrar hasta este valor, por medio del botón de control de frecuencia, localizado arriba del switch de trabajo.

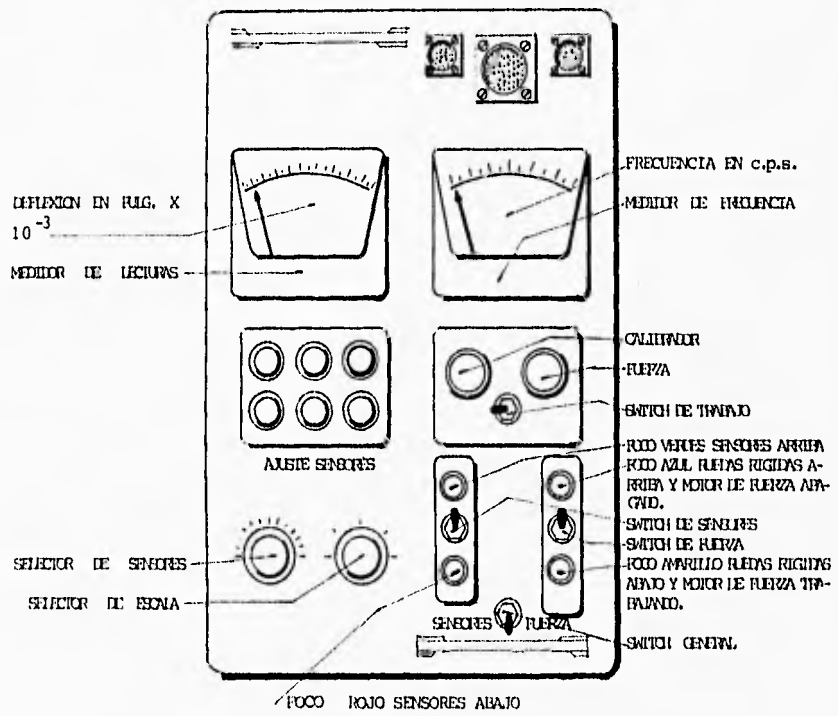


Fig. 6.- Caja de Control

El switch de sensores accionado hacia abajo, hace funcionar un motor que baja los sensores (geófonos), desconectándose automáticamente por medio de un switch limitador que funciona con el movimiento de un excéntrico, acoplado a la flecha del motor, quedando los sensores en contacto con la superficie. Esta operación queda verificada al apagarse el foco piloto verde y al encender el rojo de la caja de control. La distancia entre sensores está ilustrada en la gráfica de la figura 8.

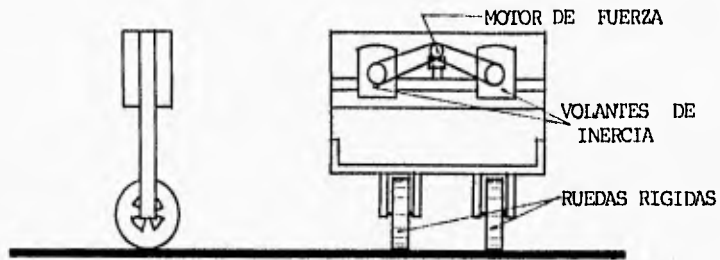


Fig. 7.- Sistema de Carga Vibratoria

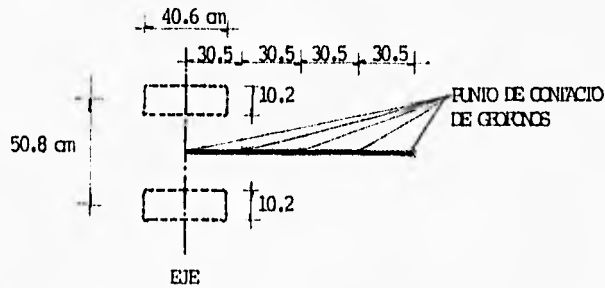


Fig. 8.- Ubicación de Geófonos

Al término de estos procesos, quedará el equipo listo para la toma de lecturas.

Al girar el selector de sensores al número 1, se registrará un valor en milésimas de pulgada, afectados por una constante de escala, seleccionada adecuadamente. Este valor de la deflexión corresponderá al movimiento registrado por el geófono número 1, girando el selector de sensores al número 2 se obtendrá el valor de la deflexión registrado en el geófono número 2 y así sucesivamente con los siguientes geófonos, completándose de esta manera una estación de registro.

Para regresar el remolque a su posición de traslado, deberá siempre levantarse primero el sistema de geófonos, verificándose con el encendido del foco piloto verde y enseguida regresar el switch de fuerza para elevar las ruedas rígidas y tener el remolque apoyado sobre las ruedas neumáticas.

En tramos donde las lecturas se deben realizar cerca una de la otra (estaciones a cada 10 ó 20 m.), podrá trasladarse el remolque apoyado en las ruedas rígidas, pero a velocidades muy bajas (10 a 20 km./hr.).

La unidad de calibración de geófonos es un aparato que está compuesto de: motor, vuela excéntrica, tacómetro, plataforma de montaje de los geófonos y de un barra vibradora, como se indican en la figura 9.

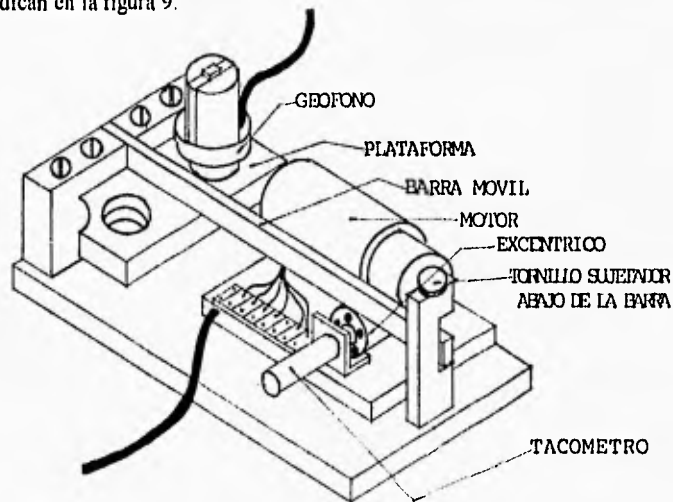


Fig. 9.- Calibrador de Geófonos

La manera de operar este aparato es: colocar sobre la plataforma de montaje los geófonos que se deseen calibrar comenzando por el geófono número uno, que se encuentra localizado precisamente bajo el eje de las ruedas rígidas. En la plataforma se pueden colocar dos geófonos al mismo tiempo, para proceder a su calibración. La barra vibradora deberá dejarse suelta, aflojando el tornillo que la sujeta, quedando en disponibilidad de oscilar libremente.

Esta unidad de calibración se conecta en la caja de control, pasando el switch de trabajo a la posición de calibración OFF y el selector de escala en el factor 1.0. Para proceder con la calibración, deberá trabajarse en la caja de control de la siguiente manera: Se opera el switch general, encendiéndose los focos piloto verde y azul, energizándose la unidad de calibración, haciendo oscilar a la barra vibradora que proporciona una amplitud de movimiento de 5 milésimos de pulgada en los centros de las capas de la plataforma donde se colocan los geófonos. Este movimiento de la barra deberá tener una frecuencia de 8 c.p.s., que se ajustará por medio del botón de control de frecuencia para la calibración, localizado arriba del switch de trabajo. Se energizan los geófonos por medio del switch de sensores, quedando esta operación verificada por el encendido del foco piloto rojo. Al girar el selector de sensores a la posición número uno, se registrará en el medidor de lecturas un valor cercano a 5 milésimos de pulgada, que deberá ajustarse a este valor, por medio del botón correspondiente de ajuste de sensores, para esto deberá aflojarse la arandela que rodea al botón, girar el botón hasta llevar la aguja del medidor de lecturas hasta el valor 5 y volver a fijar la arandela, para asegurar que el botón número uno permanezca en esta posición.

Para calibrar el geófono dos, se girará el botón selector de sensores al número dos y se procederá de la misma manera que el anterior. Al término de estas calibraciones, deberá regresarse el botón selector de sensores a su posición OFF, colocando la siguiente pareja de geófonos en la plataforma, siguiendo los mismos pasos anteriores para su calibración.

Cuando se valúa la capacidad estructural de un pavimento, se debe considerar también el análisis de la resistencia de los materiales que constituyen las capas de base, sub-base y en algunos casos las de subrasante y terracería. Así, con los criterios de deflexión y resistencia se llega a una valuación final, que es la que se toma en cuenta para el diseño de la rehabilitación requerida.

La mayor limitación que tiene el método de las deflexiones, es que toma en cuenta únicamente el valor total de éstas, y no su distribución con la profundidad, que es su característica más importante.

En el momento en que se hayan valuado los conceptos de nivel de servicio, condiciones superficiales y capacidad estructural del pavimento, se podrá pasar a la siguiente etapa, que es la más importante, ya que se deberá decidir sobre el tipo de rehabilitación más adecuado, tomando en cuenta también los factores de :

- Incremento esperado del volumen e intensidad de las cargas del tránsito que circulará por el pavimento.
- Costo de los trabajos de rehabilitación y su relación con la disponibilidad de fondos para su ejecución.
- Vida útil que debe considerarse a la rehabilitación.
- Costo del mantenimiento que requerirá.
- Tiempo de interrupción o retraso de movimiento de bienes de consumo necesario.
- Repercusión de esta interrupción en los costos de transporte para los usuarios.

- PROCEDIMIENTOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS ESPESORES DE REFUERZO DE PAVIMENTOS, A PARTIR DE LAS MEDIDAS DE DEFLEXIÓN.

Habiéndose realizado el análisis de todos los factores mencionados anteriormente y determinado que el refuerzo del pavimento es la medida de rehabilitación más adecuada, se requiere cuantificar ahora la magnitud de dicho refuerzo, establecer las normas y especificaciones a que deberá sujetarse su construcción y señalar la necesidad, si existe, de obras de drenaje y/o subdrenaje y todas aquéllas que aseguren al máximo el comportamiento satisfactorio del pavimento.

Existen procedimientos de diseño de refuerzo para pavimentos flexibles, aunque estos estén estructurados con capas estabilizadas con materiales, tales como, asfalto, cemento, cal, etc. proporcionándose los espesores de refuerzo por medio de "sobrecarpetas" de concreto asfáltico o una combinación de ésta y capas de material granular que podrá ser estabilizado o tratado con los materiales antes señalados.

Estos procedimientos o métodos de diseño utilizan las deflexiones medidas en la superficie del pavimento, usando la viga de Benkelman bajo acción de la carga correspondiente a un eje simple con arreglo de llantas en dual, pero si las deflexiones son obtenidas con otro equipo, tal como el deflectógrafo dinámico Dynaflect, existen correlaciones (fig. 10) que permiten transformarlas a deflexiones del tipo de la viga Benkelman.

Estas correlaciones deberán manejarse con cierta reserva, ya que varían las condiciones locales con que han sido desarrolladas. En esta figura aparece la correlación proporcionada por el fabricante del Dynaflect (Dresser Atlas Co.), para pruebas de viga Benkelman para eje cargado con 6.8 ton. (15,000 lbs); esta puede considerarse la correlación experimental original. Aparece también la correlación para la viga Benkelman cargada con eje de 8.2 ton. (18,000 lbs.); esta gráfica se obtuvo un tanto teóricamente, estableciendo un coeficiente de correlación entre ambas deflexiones Benkelman y aceptando que la deflexión Dynaflect varía también de un caso a otro en la misma proporción. Finalmente la figura presenta la correlación también experimental a que llegó el Departamento de Carreteras de California, entre eje de 6.8 ton. (15,000 lbs.) sobre la viga Benkelman y Dynaflect, tras varios años de utilización de ambos equipos.

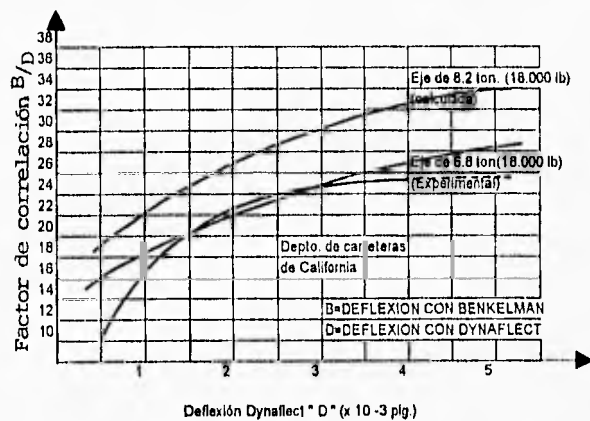


fig. 10.- Correlación operacional entre la viga Benkelman y el Dynaflect

A continuación se describirá brevemente el método proporcionado por el Instituto Norteamericano del Asfalto, que está basado en el establecimiento de un límite máximo de deflexión que pueda permitirse a la estructura del pavimento como medida de su capacidad estructural. Este límite es una función del espesor de la capa asfáltica de rodamiento y del número de aplicaciones de una carga por rueda de 2,270 kg. (5,000 lbs.) que el pavimento ha de soportar.

En primer lugar se deberá determinar el número de tránsito para diseño (NTD) que es el promedio diario de cargas equivalentes de 8.2 ton (18,000 lbs), dispuestas en un eje sencillo, que se esperan durante el período de diseño de la obra, fijado en 20 años por el propio Instituto del Asfalto.

Después, se obtienen las deflexiones por medio de la viga Benkelman o un método equivalente; siendo el número de puntos a estudiar no menor de 15 por km. o de 10 en cada sección de prueba. Entendiéndose por ésta, a un tramo del camino al que se le asignan características de deterioro más o menos uniforme. Los puntos estudiados deben distribuirse aleatoriamente sobre el tramo escogido y debe calcularse la media aritmética de todos los valores obtenidos, así como la desviación estándar del conjunto de valores correspondientes al tramo o a la sección en estudio. La deflexión se obtiene bajo una carga de 4,100 kg. (9,000 lbs) en un sistema dual de llantas (8,200 kg. por eje del vehículo)

La deflexión característica se define como:

$$\delta_c = (x + 2s) f_c$$

siendo : x.- la media aritmética de los valores individuales de la deflexión en el tramo considerado.

s.- La desviación estándar de los mismos valores en el mismo tramo.

f.- Factor de ajuste por temperatura de la carpeta.

c.- Factor de ajuste que varía con el período del año, en el cual se hacen las mediciones (c=1 para el período que represente las condiciones más críticas del pavimento).

En la figura 11 se muestra una gráfica que permite calcular el valor del coeficiente de ajuste por la temperatura de la carpeta.

Con la deflexión característica y el número de tránsito para el diseño se entra a la gráfica de la figura 12 en la cual se puede calcular el espesor de concreto asfáltico que el pavimento necesita como refuerzo.

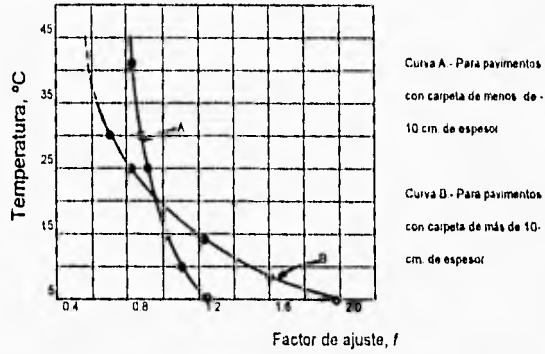


Figura 11. Factores de corrección por temperatura en las deflexiones de viga Benkelman.

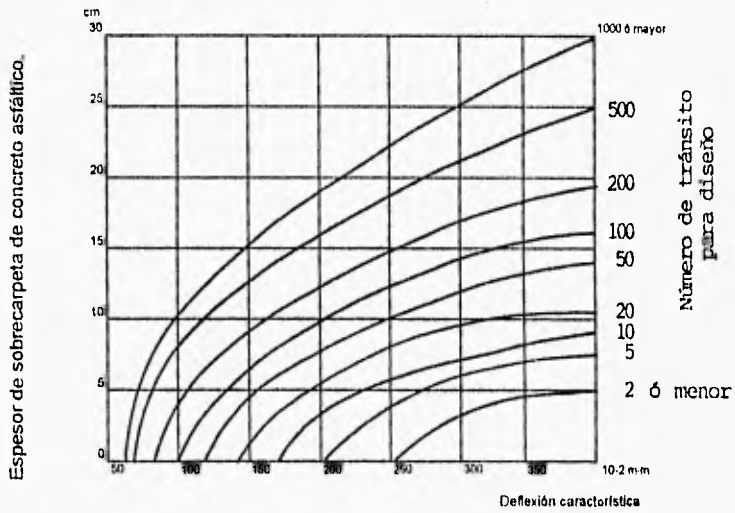


Figura 12. Espesores de sobrecarpeta de refuerzo, en función de la deflexión característica del pavimento.

Utilizando los coeficientes de equivalencia entre espesores de concreto asfáltico y espesores de capas de otra naturaleza, que se muestra en la tabla siguiente, podrán calcularse diversas alternativas de estructuración del refuerzo necesario.

TIPO DE MATERIAL	INDICE DE TRANSITO	FACTOR DE GRAVA EQUIVALENTE
CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO	5	2.5
	6	2.3
	7	2.2
	8	2.0
	9	1.9
	10	1.8
	11	1.7
	12	1.8
	13	1.6
	14	1.5
BASES ESTABILIZADAS CON ASFALTO		1.2
BASES CON CEMENTO	A	1.7
	B	1.5
	C	1.2
BASES GRANULARES DE MATERIAL TRITURADO		1.1
SUB-BASES Y BASES GRANULARES NATURALES		1.0

El Instituto Norteamericano del Asfalto proporciona también un criterio de interés práctico, por medio del cual es posible estimar el tiempo en el que un pavimento en buen estado puede llegar a necesitar un refuerzo, de acuerdo con la deflexión característica actual y la tasa del crecimiento anual del tránsito en el camino considerado.

La figura 13 proporciona una gráfica en la que, entrando con 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 que realmente tenga el camino en cuestión; si este último es menor que el calculado con la gráfica no requerirá refuerzo en la actualidad; si ambos números de tránsito son iguales se está en el momento en que es necesario el refuerzo, pero si el pavimento tiene un número de tránsito mayor que el calculado con la gráfica, el refuerzo ya debió de haberse realizado con anterioridad.

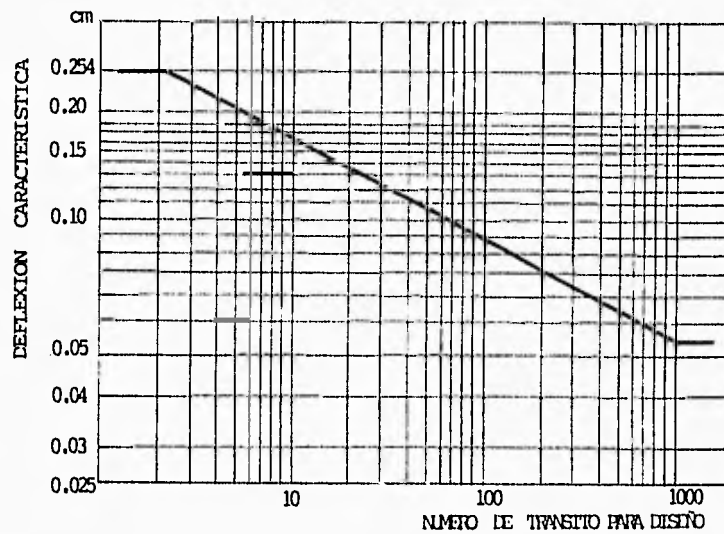


Fig. 13.- Número de tránsito límite, para una deflexión característica dada

Para los casos en que el número de tránsito para diseño que tenga el pavimento sea menor que el calculado con la gráfica de la figura 13, será posible, conociendo la tasa del 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 gráfica, teniéndose así una estimación del momento en que el pavimento ha de ser reparado.

**- METODO PARA LA OBTENCION DEL NUMERO DE TRANSITO
PARA DISEÑO (NTD)**

Primeramente se deberá establecer el tránsito diario inicial (TDI), que es el número diario medio de vehículos que se han de esperar en el camino durante el primer año de su operación. Esto se hará en base a estudios previos de tránsito, económicos, sociales, etc. Con datos de aforos y clasificación de tránsito válido el caso, se determina el porcentaje de vehículos pesados que existirá en ese primer año, llegando incluso a definir cuánto de este porcentaje corresponde al carril de diseño en el caso de dos bandas de circulación

El Instituto Norteamericano del Asfalto proporciona una tabla con la distribución de vehículos pesados que conviene considerar en el carril de diseño para diferentes casos. Esta tabla se presenta a continuación, como ejemplo, pero no podrá utilizarse para condiciones diferentes a las que prevalecen en los Estados Unidos.

**PORCENTAJE DE TRANSITO TOTAL DE VEHICULOS
PESADOS EN DOS DIRECCIONES QUE DEBERA
CONSIDERARSE EN EL CARRIL DE DISEÑO.**

NUMERO TOTAL DE CARRILES EN LA CARRETERA	PORCENTAJE DE CAMIONES A CONSIDERAR EN EL CARRIL DE DISEÑO
2	50
4	45 (OSCILA ENTRE 35 Y 48)
6 Ó MAS	40 (OSCILA ENTRE 25 Y 48)

Con los datos de la tabla anterior o de otra similar para las condiciones locales del caso en estudio se podrá estimar el número promedio diario de vehículos pesados en el carril de diseño (una sola dirección).

El peso promedio de los vehículos pesados y el límite de carga legal por eje sencillo, se podrán conocer con base en los análisis previos.

Con esta información se podrá establecer el número de tránsito inicial (NTI), haciendo uso del nomograma presentado en la figura 14.

El uso de este nomograma consistirá en fijar en la escala D el valor medio de la carga de los camiones, uniendo este punto con el número de camiones pesados en el carril de diseño sobre el eje C. Esta línea se prolonga hasta cortar el eje B. El límite de carga legal para eje sencillo prevaeciente se fijará en el eje E; este punto deberá unirse con el que se encuentra sobre el eje B, prolongándose esta línea hasta el eje A, sobre el que se leerá el NTI.

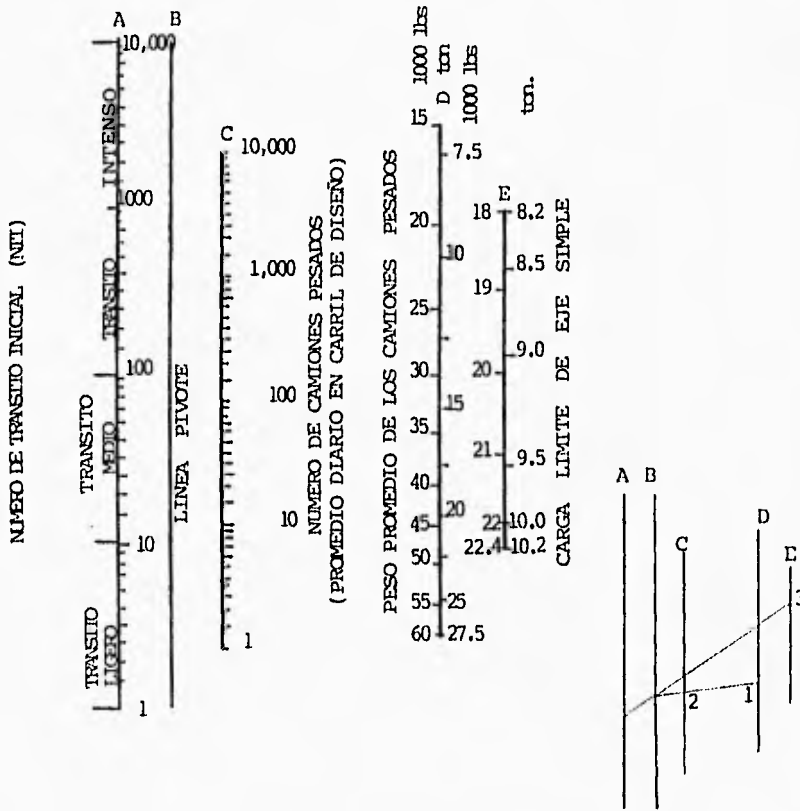


Fig. 14.- Carta de Análisis de Tránsito

La vida del pavimento se considera usualmente de 20 años, para lo cual se deberá estimar la tasa de crecimiento anual del tránsito, a partir de los valores iniciales; para ésto se manejan los correspondientes estudios de planeación y estadística.

Así, con el periodo de diseño y la tasa de crecimiento podrá buscarse en la tabla siguiente, el factor de corrección que deberá aplicarse al número de tránsito inicial para obtener el número de tránsito inicial para diseño (NTD).

FACTORES DE CORRECCION DEL NTI, PARA OBTENER EL NTD

PERIODO DE DISEÑO AÑOS	TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DEL TRÁNSITO					
	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	0.64	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

III.- OBRAS COMPLEMENTARIAS DE DRENAJE

En vías terrestres se emplea el término drenaje a la metodología utilizada para el control de las aguas que llegan a la vía y que la afectan por escurrimiento superficial, independientemente que estas aguas hayan caído sobre o fuera de ella.

Las estructuras de drenaje más espectaculares de una vía terrestre son los puentes y las alcantarillas, que permiten el paso de grandes cantidades de agua, arroyos, etc. a través de la obra, en una dirección prácticamente perpendicular a ella.

Los puentes son obras de drenaje mayor y las alcantarillas de drenaje menor y convencionalmente los primeros serán aquellos que tengan un claro mayor a 6m. y los segundos menores a 6m.

Además de estas obras de drenaje bien conocidas, existen otras que contribuyen a encauzar y a eliminar las aguas superficiales, que de no ser así causarían daños a las vías terrestres y que genéricamente se nombran Obras Complementarias de Drenaje. Mismas que deberán construirse sólo en los lugares en que se requieran, ya que de lo contrario se puede dar el caso de obtener resultados contraproducentes, amén del derroche económico que se haría.

A continuación se enlistan y describen brevemente estas Obras Complementarias :

a).- El bombeo.- Es la pendiente transversal que se da en las carreteras para permitir que el agua que directamente cae sobre ellas escurra hacia sus dos hombros. En secciones en tangente el bombeo se dispondrá con un 2% de pendiente desde el eje del camino hasta el hombro correspondiente y en secciones en curva, el bombeo se superpondrá con la sobreelevación necesaria, de manera que según se entra a la curva, esta última domine rápidamente, de forma que la pendiente transversal ocurrirá sin discontinuidades, desde el hombro más elevado al más bajo.

En carreteras de más de dos bandas de circulación se pueden presentar casos en que el camellón central es relativamente estrecho y otros en que éste es muy ancho. En el primer caso, el bombeo se hará del camellón hacia los dos hombros y en el segundo caso el bombeo será mixto en dos vertientes, con pendiente desde el eje de cada banda hacia el hombro respectivo y hacia el camellón central, donde deberá existir un elemento de canalización.

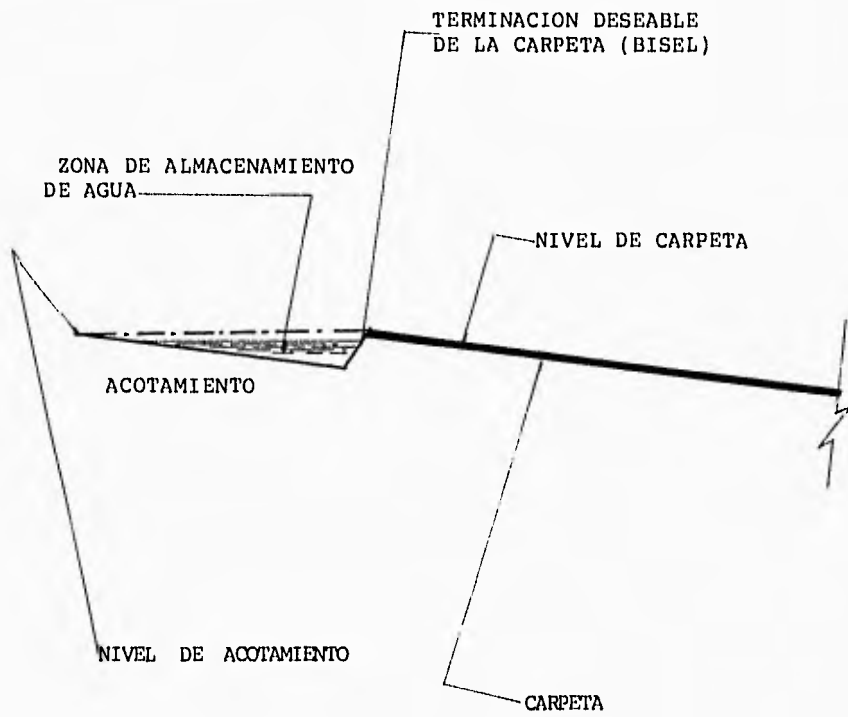


Fig. 15.- Terminación de la carpeta para evitar encharcamiento en zonas interiores de curvas

b - Las guarniciones.- Tienen la función de contener y proteger a las banquetas que se construyen en los puentes, casetas de peaje, pasos a desnivel y camellones que separan las bandas de circulación de las autopistas en entronques e isletas de pasos a nivel.

Las guarniciones canalizan también el agua que escurre en la superficie de rodamiento, guiándola hacia salidas especialmente dispuestas.

Generalmente son construidas a base de concreto simple y cuando abunda el material y mano de obra se hacen de mampostería.

Las guarniciones de concreto en banquetas tienen una sección trapecial de 50 cm. de altura, 20 cm. de base y 15 cm. de corona, sobresaliendo 20 cm. del nivel del pavimento..

En camellones su sección será rectangular desde el desplante hasta el nivel del pavimento, con dimensiones de 20 cm. de ancho y 45 cm. de altura, del nivel del pavimento hasta el nivel del camellón su sección pasa a ser trapecial de 15 cm. de altura, 20 cm. de ancho y 8 cm. de corona.

En ambos casos las aristas serán redondeadas.

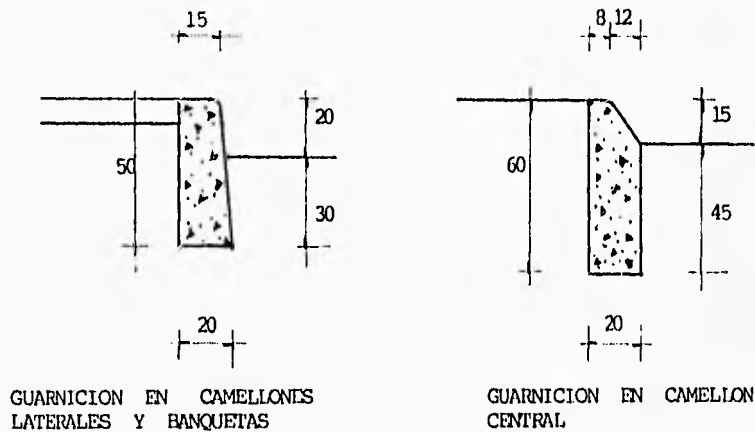
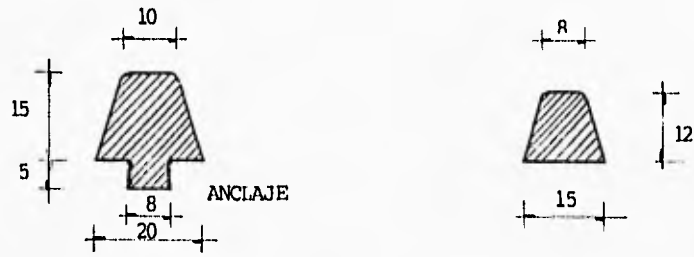


Fig. 16.- Formas Típicas de Guarniciones

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

Generalmente son de sección trapecial, contruidos a base de concreto asfáltico o hidráulico, con dimensiones típicas de 12 cm de altura, 15 cm de base y 8 cm de corona.



BORDILLOS DE CONCRETO ASFALTICO



BORDILLOS DE CONCRETO HIDRAULICO

Fig. 17.- Tipos de bordillos comunes en México

d).- Los lavaderos.- Son canales que se conectan con los bordillos y bajan transversalmente por los taludes, conducen el agua de lluvia que escurre por los acotamientos hasta lugares alejados de los terraplenes. Son estructuras de muy fuerte pendiente, construidos sobre los terraplenes, a las entradas y salidas de terraplenes de cortes en balcón o en los lados interiores de curvas, en secciones también en terraplén.

Estas estructuras se ubican a cada 60 ó 100 m. de separación en tramos en tangente, siendo variable, dependiendo de la pendiente longitudinal del camino y del régimen de precipitación pluvial en la zona.

Son construidos generalmente de mampostería con junteo de lechada de cemento en proporción 1:4, de concreto simple o de media sección de tubo de lámina galvanizada corrugada con juntas atornilladas. Y solo deberán proyectarse y construirse cuando se hagan realmente necesarias, esto es también, cuando se requiera proteger terraplenes formados por materiales susceptibles a la erosión y no suficientemente protegidos por otros métodos, como por ejemplo la vegetación.

e).- Las bajadas.- Son estructuras de función análoga a los lavaderos, pero construidas por un tubo apoyado en la superficie inclinada del terreno y enterrado en él.

La tubería de lámina es la que se ha empleado con más éxito y se proveen de juntas capaces de absorber pequeños movimientos por temperatura y por asentamientos del terraplén y del terreno en que se coloque el tubo. El diámetro mínimo de éstos es de 45 cm. y en lugares donde hay la necesidad de eliminar grandes gastos de agua se utilizan de 60 cm. o mayores.

f).- Las bermas.- Son escalonamientos que cumplen las funciones de control de aguas broncas, de su conducción y de su eliminación. Están construidos generalmente en terraplenes con una relación peralte: huella de 1:1 a 1:1.5; en terreno natural para control de las aguas que bajan por él, amenazando la vía terrestre; de 1:2 a 1:3 y en los cortes que se construyen para interrumpir la bajada de las aguas, esta relación está gobernada por la inclinación general del corte y difícilmente podrá ser mayor de 0.75:1 ó 1:1.

Por tanto, estas obras disminuyen la fuerza erosiva del agua que escurre superficialmente por los taludes de un terraplén y un corte o por el terreno natural, pudiendo incluso encauzarla convenientemente si se les da una pendiente apropiada, hacia lavaderos, bajadas o estructuras análogas.

g).- La vegetación.- Es una de las más efectivas protecciones de los taludes de un corte, de un terraplén o del terreno natural contra la acción erosiva del agua superficial. Las especies vegetales allí plantadas, retardan el escurrimiento, disminuyen mucho la energía del agua y contribuyen a fomentar una condición de equilibrio en los suelos en cuanto a contenido de agua.

h).- Los bordos.- Se construyen generalmente de tierra y en ocasiones de mampostería. Sus funciones principales son las de encauzar las aguas que escurren sobre el terreno natural hacia gargantas, cauces naturales o a la entrada de alcantarillas o puentes, a fin de que el agua cruce apropiadamente por estas estructuras.

Su planteamiento siempre será parte de un estudio hidrológico general.

Los bordos de tierra son construídos con taludes 2:1 ó 3:1, altura de hasta de 2 m. y ancho de corona en el orden de 50 cm.

i).- Las cunetas.- Son canales construídos a los lados de la corona del pavimento y en el lado del corte. En cortes en balcón habrá cuneta de un solo lado y en cortes en cajón, en los dos. Se ubica en el extremo del acotamiento en contacto inmediato con el corte y recibe los escurrimientos de origen pluvial propios del talud y los del área comprendida entre el coronamiento del corte y la contracuneta, si esta existe, o del terreno natural aguas arriba del corte, si no la hay.

También, recibe agua que haya caído sobre la corona de la vía, cuando la pendiente transversal tenga la inclinación apropiada para ello.

La pendiente longitudinal mínima que debe existir en una cuneta es de 0.5% y la velocidad con la que el agua circule sobre ella debe quedar comprendida entre los límites de depósito y erosión. Conviene limitar esta velocidad a 3.00 m/seg. en cunetas zampeadas y a 4.00 m/seg. en las de concreto.

Estas estructuras generalmente se construyen de sección trapecial o triangular, estas últimas las de uso común en México. El talud hacia la vía es 3:1 como mínimo pero preferentemente 4:1 y el del lado del corte sigue sensiblemente la inclinación del mismo.

Las cunetas se revisten usualmente con mampostería o con concreto hidráulico.

En estos elementos se considera siempre una lámina de agua no mayor de 30 cm.

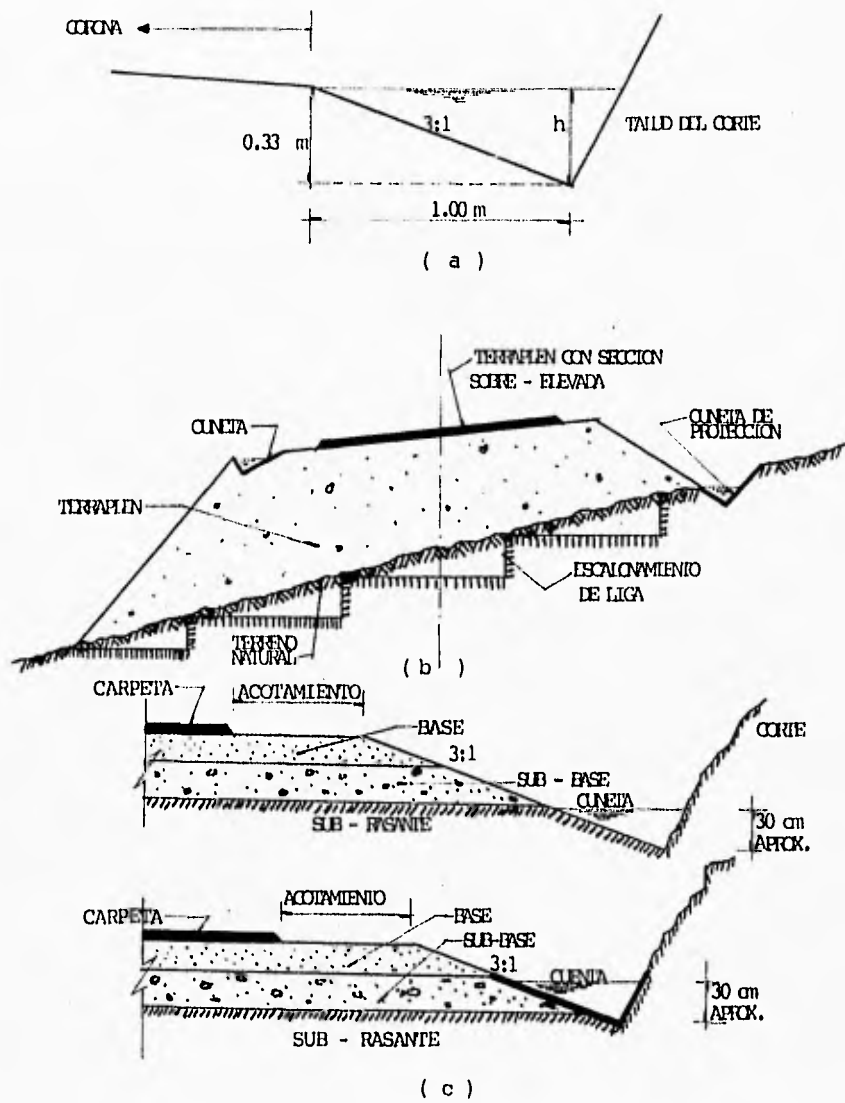


Fig. 18.- a: Sección triangular típica de una cuneta
 b: Cunetas en secciones en terraplén
 c: Disposición más conveniente de cunetas en secciones en corte.

j).- Las contracunetas.- Se definen así a los canales excavados en el terreno natural o formados con pequeños bordes, se localizan aguas arriba de los taludes de los cortes y cerca de éstos, con la finalidad de interceptar el agua superficial que escurre ladera abajo desde mayores alturas, para evitar la erosión del talud y el congestionamiento de las cunetas y la corona de la vía terrestre por el agua y su material de arrastre.

Se construyen a una distancia variable del coronamiento del corte y que depende de la altura de éste; tratando de que entre la contracuneta y el propio corte no quede un 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, trabajos que refuercen y que eventualmente se deban hacer, 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 m. del coronamiento del corte.

El desarrollo de las contracunetas será sensiblemente paralelo al propio corte, desarrollándose así con pendiente longitudinal.

Deberá conducir el agua captada a cañadas o cauces naturales en que existan obras que crucen la vía terrestre y es normal que para evitar excesivo desarrollo del canal los extremos lleguen a tener pendientes muy considerables, funcionando como auténticos lavaderos.

Estas estructuras suelen dimensionarse por proyecto tipo, formando un canal de sección trapecial de 60 a 80 cm. de plantilla y taludes conformados de acuerdo con la naturaleza del terreno; la profundidad de estos canales también está normalmente comprendida entre 40 y 60 cm.

k).- Canales interceptores.- Se construyen para encauzar las aguas superficiales que escurrirán hacia la corona de una vía terrestre, causando en ella erosiones o depósitos inconvenientes.

Se ubican a distancias relativamente grandes de la vía terrestre y no están específicamente ligados a un corte en particular, sino que defienden un tramo más o menos largo de la vía, independientemente de cuál sea la naturaleza de su sección.

Sus dimensiones deberán seleccionarse de acuerdo a un estudio hidráulico.

Estos canales podrán no ser revestidos, no poniendo en riesgo la vía, por lo lejano en que quedan ubicados. En el caso de que se consideren revestidos, estos se podrán hacer con mampostería o concreto en casos más importantes.

l).- Alcantarillas.- Como se mencionó, estas son obras de drenaje menor, pero se describen brevemente a fin de conocer su función. Al igual que los puentes, quedan ubicados en todos los lugares en que el agua de escurrimiento superficial se concentre en un cauce natural, de funcionamiento estacional o permanente para permitir el cruce de las aguas bajo la vía terrestre.

Como se menciona al inicio de este capítulo, las alcantarillas son todas aquellas obras cuyos claros son menores a 6 m.

Según su importancia hidráulica, las alcantarillas pueden resolverse con dos tipos de obras, clasificadas de la siguiente manera:

Obras Rígidas :

- Tubos de concreto
- Estructuras de bóvedas de mampostería, sobre muros del mismo material o de concreto
- Losas de concreto sobre estribos de mampostería o de concreto

Obras Flexibles :

- Metálicas de lámina corrugada de secciones tubular, ovoidal y elíptica. Siendo la tubular la de uso común y las otras dos se utilizan para el manejo de gastos mayores y para formar túneles cortos y pasos a desnivel.

IV- SISTEMA DE SEGUIMIENTO AL MANTENIMIENTO Y CONSERVACION DE AUTOPISTAS CONCESIONADAS.

Las empresas concesionarias al recibir la concesión para construir, explotar, operar y conservar una obra, contrae la obligación y queda bajo su responsabilidad el conservar la carretera y sus partes en condiciones que permitan un tránsito fluido y seguro, así como de evitar su progresivo deterioro durante el tiempo que dure la concesión.

Es importante señalar que una parte integrante del título de concesión es el programa de conservación y mantenimiento.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes, a través de la Dirección General de Servicios Técnicos, ha identificado la necesidad de establecer un sistema que permita disponer de un instrumento para asegurar que las condiciones de servicio de las autopistas son las que merece el público usuario.

Por tanto, considera conveniente preparar, para cada obra concesionada, un programa de conservación y mantenimiento que deberá incluir los siguientes conceptos :

- A.- Programa de Post-Construcción
- B.- Programa de Conservación Rutinaria
- C.- Programa de Conservación Preventiva y Correctiva
- D.- Programa de Administración

A continuación se describe brevemente en qué consiste cada uno de ellos :

A.- Programa de Post-Construcción.- Busca asegurar que la autopista tenga la calidad, los elementos y las condiciones que debieron haber resultado de una impecable construcción y será un conjunto de acciones a realizar una sola vez, después de la entrada en operación de la obra. Comprenderá acciones para eliminar defectos de construcción, construir obras faltantes y complementar elementos que funcionen inadecuadamente.

Este programa estará basado en una cuidadosa inspección y estudio de pavimentos, cortes y terraplenes, señalización, obras de drenaje y otros elementos principales de la autopista.

Se iniciará por la evaluación de las condiciones prevalecientes en la autopista y sus principales elementos, de la cual, se identificarán las acciones correctivas necesarias y se elaborará este programa, mismo que podrá comprender diversas etapas.

El procedimiento de trabajo que establece la Secretaría de Comunicaciones y Transportes para la evaluación es el siguiente :

A.1.- Obtener la calificación de la autopista para definir su Índice de Servicio Actual (I.S.A.) y evaluar el comportamiento de las obras de drenaje y subdrenaje, inspeccionar y detectar los terraplenes y cortes que presenten inestabilidad, movimientos inaceptables o caldos y comprobar las condiciones físicas de las estructuras y la correcta señalización de la autopista.

A.2.- Se realizará el estudio y proyecto ejecutivo que contemple la alternativa de solución a un problema dado, mismo que se pondrá a consideración de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes a través de la Dirección General de Servicios Técnicos.

A.3.- Aprobado el proyecto ejecutivo de la obra por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, se procederá a elaborar el programa de ejecución, el que se deberá acordar con la Dirección General de Carreteras Federales de la citada Secretaría, dando inicio a los trabajos. El concesionario será el responsable de la supervisión y el control de calidad de la obra, con la verificación de la Dirección General de Carreteras Federales y apoyo de las Unidades Generales de la Dirección General de Servicios Técnicos. Previamente a la ejecución de la obra, el concesionario obtendrá la autorización del Comité Técnico del Fideicomiso, con el objeto de asegurar el financiamiento de estas acciones correctivas.

A.4.- Los Centros S.C.T. darán seguimiento al programa de obra y rendirán informes mensuales o cuando surja algún suceso especial a la Dirección General de Servicios Técnicos.

B).- Programa de Conservación Rutinaria.- Este incluirá todas y cada una de las acciones que permanentemente han de ser llevadas a cabo para que la autopista esté siempre en condiciones de tránsito fluido y seguro. Su preparación será una vez al año y servirá como elemento básico para dar seguimiento a las acciones de mantenimiento de rutina. En este programa se incluirán actividades como inspección del derecho de vía, retiro de caídos eventuales, limpieza de cunetas, contracunetas, lavaderos y servicios en general, pintura, jardinería, desazolve, bacheo y renivelaciones aisladas, calafateo de grietas, reparaciones generales, deshierbe de acotamientos y camellones, señalamientos, guarniciones, bordillos, bandas de contención metálicas, barrera central, etc. Siendo estas actividades en su gran mayoría comunes a todas las autopistas en operación.

El Centro S.C.T. que corresponda pondrá énfasis en revisar la capacidad instalada del concesionario para atender estos trabajos. Además, verificará la organización para el mantenimiento y el correcto cumplimiento de los programas de conservación rutinaria, para lo cual personal de ese Centro S.C.T. realizará un mínimo de seis inspecciones al año, tres de ellas antes, durante y después de la temporada de lluvias.

C).- Programa de Conservación Preventiva y Correctiva.- Este programa es de carácter permanente e incluirá todas las actividades tendientes a mantener la autopista en buenas condiciones estructurales, con objeto de prever cualquier labor que deba realizarse antes de algún problema, buscando minimizar los costos del usuario y los propios de las acciones de conservación rutinaria. Las acciones que deberá contemplar este programa serán sellos, reencarpados, reparación de puentes y en los casos extremos, reconstrucciones.

Los sistemas de administración de pavimentos y puentes serán elementos básicos para la formulación de los programas, por lo que será necesario instrumentarlos como parte del seguimiento y la administración de la conservación. Con inspecciones de campo periódicas se alimentarán estos sistemas de administración.

El Instituto Mexicano del Transporte cuenta con una propuesta general para estos efectos, (SIMAP y SIAP) considerándose que pueden servir como puntos de partida para que todos los concesionarios dispongan de las herramientas básicas que se podrán adaptar a sus necesidades e intereses.

Los Centros S.C.T. supervisarán que el concesionario cuente con la organización y el respaldo necesario para efectuar las tareas de la conservación preventiva y correctiva y revisarán y aprobarán los programas elaborados por los mismos concesionarios, de acuerdo a las necesidades que detecte el sistema.

En conjunto los Centros S.C.T. y los concesionarios identificarán y acordarán las acciones que habrán de formar parte del programa del año siguiente, haciéndolo del conocimiento de la Dirección General de Servicios Técnicos.

D).- Programa de administración .- Tiene como objeto proporcionar el respaldo para organizar la ejecución de las tareas pertenecientes a los programas arriba descritos.

Este programa se iniciará con un inventario completo de todas las características de la obra, incluyendo geometría, obras especiales, mobiliario, señalamiento, etc.

El concesionario tendrá bajo su responsabilidad el implantar un sistema de administración de la autopista, que incluya las actividades siguientes:

a.- Levantamiento físico del inventario de la autopista

b.- Captura del inventario en computadora, incluyendo su manejo a nivel operativo, en apoyo a la toma de decisiones.

c.- Presentación de los programas y documentos del programa de conservación con base en el inventario computarizado y establecimiento de un sistema de administración en torno a él.

A continuación se detallarán todas y cada una de las actividades que el concesionario deberá realizar por cada uno de los programas mencionados.

A).- Programa de Post- Construcción

A.1.- Obtención del Índice de Servicio Actual o el IRI de la superficie de rodamiento para delimitar tramos homogéneos. La evaluación del pavimento se hará mediante el siguiente procedimiento :

A.1.1.- Descripción del Tramo.

A.1.1.a.- Localización.- Se indicarán los aspectos más importantes que permitan ubicar la posición geográfica del tramo en estudio, haciendo referencia al nombre de la carretera, tramo, subtramo, kilómetros que se estudian y el origen de cadenamiento. Se anotarán nombres de poblados y ciudades importantes cercanos al tramo, coordenadas geográficas y croquis de localización, destacando el subtramo en estudio con un color que permita distinguirlo de inmediato.

A.1.1.b.- Antecedentes de construcción.- Se anotará la fecha de construcción, indicando si se realizó por etapas. En el caso de ampliaciones posteriores se describirán en qué consistieron y la fecha aproximada de su ejecución.

A.1.1.c.- Trabajos de Conservación.- Se comunicarán, por subtramo los trabajos de conservación normales y especiales, tales como colocación de sobrecarpetas, riegos de sello y rehabilitaciones, indicando las fechas de su realización.

A.1.1.d.- Características Geométricas del camino .- Contendrá por tramos homogéneos la variación de los anchos de corona y acotamientos. Se especificará si es de un solo cuerpo o de dos y si existe o no barrera central, camellón y su ancho, también se indicará si existe desnivel entre los cuerpos.

A.1.2.- Datos Generales

A.1.2.a.- Topografía.- Se describirá por subtramos, clasificándolo en plana, lomerío suave, lomerío fuerte o montañosa. Se indicará el promedio y las variaciones de las alturas de cortes y terraplenes con una aproximación de los taludes que tengan.

A.1.2.b.- Geología.- Se describirá la provincia o provincias fisiográficas donde se ubica el tramo estudiado, indicando los tipos de rocas más comunes y los diferentes tipos de suelos que existan a lo largo del camino.

A.1.2.c.- Clima.- Serán anotados los datos correspondientes al tipo de clima que predomine en el área de estudio, especificando temperatura máxima, mínima y promedio, precipitación pluvial y período de lluvias.

A.1.2.d.- Drenaje y subdrenaje .- Se describirán las condiciones de funcionalidad en que se encuentran las obras de drenaje y subdrenaje, relacionando las que requieran ser reparadas o ampliadas y se anotarán los sitios donde se necesite construir nuevas obras o bien obras complementarias.

A.1.3.- Calificación o Índice de Servicio Actual (ISA).- Este se definirá siguiendo el método subjetivo recomendado por la AASHTO en tramos de un kilómetro y se agruparán posteriormente en zonas homogéneas de su calificación. En caso de que se disponga de rugosímetros en vez de la calificación se obtendrá el IRI. Si el Índice de Servicio Actual es menor de 3 o el IRI es mayor de 5.0, será necesario efectuar la evaluación completa de esos tramos.

A.1.4.- Levantamiento de daños.- Mediante la inspección visual se identificarán, tipificarán y determinarán la extensión y severidad de los deterioros observados. Su localización se llevará a cabo con cinta y el odómetro del vehículo, referenciado al cadenamiento del camino, previamente marcado. Los daños serán identificados conforme al catálogo de fallas del Instituto Mexicano del Transporte.

A.1.5.- Mediciones con Viga Benkelman.- La capacidad estructural del pavimento obtenida mediante la determinación de deflexiones, se analizará aplicando los criterios del Departamento de Carreteras de California y del Instituto Americano del Asfalto, empleando Viga Benkelman en las zonas de prueba elegidas dentro de los tramos homogéneos determinados con el ISA. Las zonas de prueba se seleccionarán en longitudes de 500 m. por cada 5 km. de tramo homogéneo o fracción, con lecturas a cada 20 m. en ambos carriles de tránsito si se trata de un solo cuerpo de carretera con dos sentidos y en los carriles extremos si se tienen dos cuerpos separados. Las mediciones se harán en la rodada externa y se definirá el espesor de deformación en la cubeta de la rodada, presentando los resultados de las lecturas en formatos adecuados y sus correspondientes gráficas con valores de la c (deflexión característica). Si se utiliza otro tipo de equipo, será necesario presentar la correlación de resultados de algunos puntos con la Viga Benkelman.

A.1.6.- Exploración directa y muestreo.- Esta se realizará mediante pozos a cielo abierto, con la profundidad necesaria para muestrear al cuerpo del terraplén y al terreno natural en caso de cortes o terraplenes muy bajos. Los sitios se seleccionarán en tramos homogéneos conforme a los resultados de Viga Benkelman, requiriéndose un mínimo de un sondeo por cada 5 km de longitud. Las muestras obtenidas serán representativas de sub-base, base y carpeta y muestreo inalterado de la capa subrasante. A las capas de sub-base y base se les determinará su peso volumétrico en el lugar y las muestras representativas de cada capa se clasificarán según el SUCS, (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) determinándoseles su contenido de agua, sus límites de consistencia líquido y plástico, granulometría y en su caso porcentaje de finos y equivalente de arena. (Ver apéndices 3, 4 y 6).

A las muestras integrales de sub-base se les determinará su Valor Relativo de Soporte (VRS) estándar y si es necesario se efectuarán estudios de estabilización con cal y/o cemento en los materiales de estas capas para mejorarlas y reutilizarlas en la rehabilitación del pavimento. (Ver apéndice 1).

A la muestra inalterada de la capa subrasante se le determinará su VRS en estado natural y saturado, su peso volumétrico seco en el lugar y características de compactación en prueba tipo AASHTO estándar. (Ver apéndices 1 y 5).

A las muestras de la carpeta asfáltica se les harán ensayos para determinar su peso volumétrico, su contenido de asfalto y su granulometría.

A.1.7.- Resultados de ensayos de laboratorio para obtener calidad de los materiales: Se presentarán en formatos que contengan información detallada de los ensayos. Con los resultados se elaborará un perfil estratigráfico, que se complementará con mediciones por métodos indirectos o semidirectos para conocer la estratigrafía completa del trazo.

A.1.8.- Revisión de diseño del pavimento para estructuras críticas de tramos homogéneos.

A.1.8.a - Datos de Tránsito - Se presentarán los datos del tránsito diario promedio anual en ambos sentidos, composición vehicular, tasa de crecimiento promedio anual, especificando en todos los casos las variaciones en la longitud estudiada. Se efectuará el análisis respectivo para fines de proyección futura y se indicará la fuente de donde fueron tomados los datos.

A.1.8.b - Criterio de deflexiones - Se presentará el análisis elaborado tanto por el personal del Departamento de Carreteras de California como por el del Instituto Americano del Asfalto. Si el equipo de mediciones utilizado para determinar la capacidad estructural fue diferente a la Viga Benkelman o Dynaflect y los análisis realizados en ambos casos se indicará en el estudio.

A.1.8.c - Criterio Estructura - Se efectuará la revisión estructural del pavimento existente aplicando el criterio establecido por el personal de Ingeniería de la UCRV, considerando como subrasante crítica y especificación del subrasante crítico para el estudio. (Ver apéndice 2).

A.1.9.- Problemas Especiales.- Se hará una relación de los problemas geotécnicos especiales y de su ubicación a lo largo del camino, tales como hombros caídos, inestabilidad de taludes de cortes, etc., y se propondrá una solución para resolverlos.

A.1.10.- Conclusiones.- Se indicarán las causas del deterioro del pavimento actual en base a la investigación de campo, los resultados de la evaluación estructural, de los ensayos de laboratorio y de los criterios considerados en el análisis de las propiedades del pavimento.

A.1.11.- Recomendaciones para rehabilitación.- Se proporcionarán tres alternativas para rehabilitar el pavimento, contemplando una vida útil de 15 años. Por lo menos una de ellas deberá contener la opción de base asfáltica. Las tres alternativas deberán darse en función de la utilización de la máquina recuperadora de pavimentos.

Se proporcionarán también, estrategias de espera y de conservación durante la vida de operación.

Se incluirán las secciones estructurales por construir, las normas de calidad, los materiales a utilizar, los procedimientos constructivos y las recomendaciones para su control durante la ejecución de la obra.

A.1.12.- Bancos de materiales por utilizar.- Deberán incluir ubicación y nombre del banco, tipo de material, en caso de ser roca se especificará el grado de intemperismo y fracturamiento, volumen aprovechable, coeficiente de bandeado, clasificación para presupuesto, tratamiento probable, características de calidad obtenidas a partir de granulometría, límites de consistencia líquido y plástico, valor relativo de soporte (VRS), peso volumétrico seco máximo suelto, equivalente de arena y alguna otra que se considere de interés, cumpliendo con las especificaciones sugeridas por el Instituto Mexicano del Transporte.

Los bancos serán localizados mediante reconocimiento geotécnico de áreas aledañas para seleccionar y muestrear sus frentes. De este estudio se determinará si hay necesidad ó no de exploración complementaria a base de sondeos con máquina o a cielo abierto y/o estudios geofísicos.

A.1.13.- Informe fotográfico.- Se incluirán fotografías de los puntos de mayor interés que se determinen en la investigación de campo.

A.2.- Estudio de Drenaje General de Carreteras

A.2.1.- Descripción del tramo

A.2.1.a.- Localización.- Se indicará la posición geográfica de la carretera en estudio, indicando el tramo y subtramo estudiado y el origen del cadenamamiento.

A.2.1.b.- Descripción de las obras de drenaje. Se relacionarán tanto las transversales como las longitudinales que presenten problemas, indicando detalladamente las causas que los originan, como pueden ser obstrucciones por arrastre, atoramientos, insuficiencia hidráulica, socavación en apoyos, falta de dentellones de protección, falta de lavaderos o mala ubicación, etc. Se reportará también, la antigüedad de esas obras, si se efectuaron ampliaciones posteriores, la naturaleza de estas y la fecha de su realización.

En el caso de puentes, se revisarán los estudios topohidráulicos e hidrológicos existentes y de ser necesarios se efectuarán trabajos adicionales tanto de campo como de gabinete para complementarlos.

Para las obras menores de drenaje se determinará el gasto asociado a un período de retorno de 50 años, utilizando métodos que relacionen lluvia - escurrimiento, así como la velocidad y tirantes correspondientes.

En el caso de que existan problemas de cimentación, se revisará la información existente de exploración del subsuelo y de ser necesario se realizarán más sondeos que permitan verificar la información disponible. También se revisará la capacidad de carga del suelo de cimentación y se comparará con las cargas que recibe.

A.2.1.c.- Ilustración de las obras.- A fin de ilustrar sus características y las causas de sus problemas se presentará un informe fotográfico, complementándolo con las figuras y croquis que sean necesarios.

A.2.2.- Conclusión.- Se dará el diagnóstico del funcionamiento de las obras y se justificarán las reparaciones, modificaciones o sustituciones.

A.2.3.- Recomendaciones.- Se proporcionarán las recomendaciones de solución de los problemas, complementándolas con las figuras y croquis necesarios.

A.2.4.- Seguimiento.- Se le dará a las obras producto de las soluciones elegidas en cada caso.

A.-3.- Estudio de Cortes y Terraplenes.

A.3.1.- Descripción de la Falla

A.3.1.a.- Localización.- Se indicarán todos los aspectos más importantes que permitan ubicar la posición geográfica de la zona en estudio, haciendo referencia al nombre de la carretera, tramo, subtramo, kilómetro donde se realiza el estudio y el origen de cadenamiento. Se incluirán los nombres de poblados y ciudades importantes cercanos al sitio de estudio, coordenadas geográficas y una planta de localización donde se indique lo anteriormente descrito, destacando el área en estudio con un color que permita distinguir su posición. Se mencionará si se trata de un terraplén, sección en corte de cajón o balcón, etc.

A.3.1.b.- Antecedentes de construcción y proyecto.- Se anotará la fecha de construcción del camino, si se efectuó por etapas, se mencionarán las fechas de éstas y si se realizaron ampliaciones o modificaciones posteriores al proyecto original, se indicará en qué consistieron y la fecha o fechas aproximadas.

A.3.1.c.- Geometría de la zona con levantamiento topográfico.- Se llevará acabo un levantamiento topográfico del área necesaria para definir el problema de falla. Se incluirán curvas de nivel a cada 1 m., secciones transversales y longitudinales por lo menos a cada 20 m.

La presentación de esta información será a una escala adecuada, que permita obtener datos de detalle para su posterior análisis.

A.3.2.- Condiciones de drenaje y subdrenaje.- Se describirán las condiciones en que se encuentre el drenaje superficial, el subdrenaje y las obras complementarias de drenaje, indicando la influencia que pudiera tener en la inestabilidad del área en estudio.

A.3.3.- Estudio Geológico Regional.- Se definirán los contactos geológicos que existan en la zona circunvecina al área estudiada, describiendo los tipos de rocas, su fracturamiento y grado de intemperismo. Se incluirá la descripción morfológica regional y se anexará un plano geológico de la región a una escala de 1:10,000 o la que se considere apropiada.

A.3.4.- Estudio Geológico de detalle.- Con él se conocerá el comportamiento mecánico de masas rocosas o de suelos. Se indicará el tipo de roca incluyendo fracturamiento y alteración, discontinuidades, rumbos y echados de las capas, espesores y estructuras geológicas (batolitos, plegamientos, etc.), mediante diagramas estereográficos. Tratándose de suelos, se mencionará su clasificación conforme al SUCS, describiendo algunas otras características de interés y se presentará un plano con la geología de detalle a escala 1:2000.

A.3.5.- Estudio Geofísico.- Se realizará la exploración con los métodos eléctrico y sísmico:

A.3.5.a.- Método eléctrico.- Se utilizará el arreglo electródico tipo Schlumberger realizando sondeos por lo menos a cada 20 m. longitudinalmente y a no más de 5 m transversalmente, abarcando toda el área inestable más un 50%, investigando hasta una profundidad mínima de 1.5 veces la altura de la falla en estudio.

A.3.5.b.- Método Sísmico.- Con esta exploración los tendidos se efectuarán paralelos al eje longitudinal del área estudiada con separación máxima de 5 m. entre tendido, abarcando toda el área inestable más un 50% y hasta una profundidad de 1.5 veces la altura de la falla estudiada.

Los resultados se integrarán en uno sólo, vaciándolos en planos a escala adecuada, que permita observar los cortes geoelectrónico y geosísmico. Se incluirán la memoria de cálculo y los análisis y consideraciones hechas.

A.3.6.- Exploración directa con muestreo apropiado.- Se obtendrán las características de los materiales que constituyen el área inestable y muestras representativas.

Dependiendo del tipo de materiales, la exploración se realizará con tubo Shelby, penetración estándar y rotación, por lo menos dos sondeos a lo largo del eje del camino y tres más sobre el eje de la falla, localizándolos adecuadamente según sea el problema en estudio.

Los sondeos se llevarán hasta la profundidad que permita conocer convenientemente el terreno natural y cruzar la superficie probable de falla.

Las muestras recuperadas se analizarán en el laboratorio con los ensayos necesarios para determinar sus parámetros de resistencia y deformabilidad.

Cuando el terreno natural esté formado por rocas, se extraerán muestras con brocas de diamante de diámetro N. También convendrá realizar pozos a cielo abierto en los lugares adecuados para obtener muestras cúbicas.

A.3.7.- Ensayes de laboratorio para obtener los parámetros de resistencia y deformabilidad de los materiales.- Las muestras obtenidas de la exploración directa se ensayarán en el laboratorio para determinar la resistencia al corte, y la deformabilidad, ya sea mediante pruebas triaxiales, pruebas de corte directo o alguna otra que se considere necesaria, de tal forma de obtener los parámetros O y C.

Los resultados se presentarán en formatos convenientes y se dibujarán perfiles estratigráficos a la escala adecuada. Se anexarán también las gráficas que resulten de los ensayos de laboratorio realizados, como por ejemplo curvas de consolidación, curvas esfuerzo - deformación, etc. especificando en cada caso las consideraciones de carga hechas u otras de interés.

A.3.8.- Instrumentación.- Para dar seguimiento al comportamiento del área inestable, se observará su evolución con el tiempo en períodos convenientes, utilizando para tal efecto el equipo más apropiado, pudiendo ser controles topográficos superficiales, inclinómetros, piezómetros, etc. La información obtenida se vaciará en formatos adecuados para su sencilla interpretación.

A.3.9.- Análisis de información.- Con este se determinarán las causas de la falla, realizando los cálculos de estabilidad que se consideren necesarios, indicando las hipótesis y consideraciones hechas para éllo.

A.3.10.- Informe fotográfico.- Se presentarán fotografías de los puntos que resulten de interés de la zona estudiada.

A.3.11.- Conclusiones.- Se mencionarán los conceptos que involucran al problema de la inestabilidad en base a toda la información de campo y los análisis efectuados.

A.3.12.- Recomendaciones, incluyendo proyecto ejecutivo de las alternativas propuestas.- Se darán por lo menos dos alternativas de solución al problema de inestabilidad definiendo claramente los trabajos a realizar, el equipo necesario, los procedimientos de construcción y el proyecto ejecutivo en general para la corrección del problema.

A.3.13.- Seguimiento de la alternativa adoptada.- Se elaborará el programa de seguimiento y su realización en los períodos que se consideren oportunos para verificar la bondad de la solución adoptada y realizar los ajustes pertinentes.

A.4.- Estudio de evaluación de puentes.- Este estudio deberá contener los siguientes conceptos:

A.4.1.- Datos generales.- Se anotará el nombre, su ubicación (km., origen, tramo y carretera), adscripción (Federal, Estatal Rural u otros) y el año probable de construcción.

A.4.2.- Descripción.- Se anotará sus dimensiones (longitud, ancho, alto y número de claros), tipo (superestructura, subestructura, cimentación, apoyos y juntas) y alineamiento (horizontal, vertical o esviajamiento). Además se complementarán estos datos con un croquis del alzado del puente.

A.4.3.- Evaluación del comportamiento hidráulico.- Se indicarán los reportes sobre crecientes (niveles máximos alcanzados por el agua), evidencias de daños en el cauce, las márgenes y terraplenes de acceso y evidencias de socavación en la subestructura.

A.4.4.- Evaluación del comportamiento vial.- Serán referidos los aforos, la capacidad vial del tramo y las evidencias de golpes a elementos estructurales y a dispositivos de seguridad, tales como defensas y parapetos.

A.4.5.- Evaluación del estado físico.- Se realizará un levantamiento físico de los daños en superestructura y subestructura, describiendo la naturaleza, extensión y ubicación de cada uno de ellos.

A.4.6.- Evaluación del comportamiento estructural.- Se harán observaciones sobre el comportamiento de la estructura al paso de cargas pesadas (vibraciones y flechas). También, se calculará a grosso modo la capacidad estructural de los elementos principales.

A.4.7.- Reporte fotográfico.- Se presentarán suficientes fotografías ilustrativas.

A.4.8.- Evaluación preliminar.- De acuerdo a las observaciones efectuadas, el puente será clasificado en cualquiera de las tres categorías siguientes :

A.- Requiere atención urgente

B.- Requiere atención a mediano plazo

C.- Requiere atención rutinaria

Se indicarán las razones que apoyen la clasificación adoptada y las medidas de emergencia que se estimen necesarias.

A.4.9.- Recomendaciones para una evaluación más detallada.- En caso de que se considere conveniente una evaluación más detallada, se darán recomendaciones para ella, incluyendo objetivos, equipos necesarios para el acceso y para la prospección, sitios de interés y muestras por obtener.

A.4.10.- Recomendaciones preliminares para la rehabilitación.- Si el puente debe ser objeto de obras de rehabilitación, se definirán varias alternativas posibles, únicamente a nivel conceptual y se indicarán los estudios que se requieran para la elaboración del proyecto detallado de rehabilitación.

A.5.- Señalización

A.5.1.- Objetivos.- Que la autopista esté debidamente señalada

A.5.2.- Localización de tramos con señalamiento faltante.- Se ubicará por el cadenamiento de la autopista, mencionando el origen del mismo y se describirá el tipo de señales faltantes.

A.5.3.- Localización de tramos con señalamiento deficiente en su ubicación.- Se obtendrá su ubicación actual indicando su cadenamiento y se anotará su ubicación propuesta.

A.5.4.- Localización de señalamiento no adecuado que cause confusión.- Se ubicarán estas señales con su cadenamiento actual y se propondrá su sustitución por la señal correcta y su cadenamiento.

A.5.5.- Localización de tramos donde el señalamiento no cumpla con las especificaciones señaladas por las normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.- Todas las señales que no cumplan con las especificaciones en cuanto a forma, dimensiones, logotipos, etc., serán ubicadas con su cadenamiento actual y se propondrá su sustitución por otras que sí cumplan con dichas especificaciones y se anotará el cadenamiento donde serán colocadas.

Se anexan manuales de señalamientos preventivos, restrictivos, de información general, de obras, etc. vigentes.

B.- Programa de Conservación Rutinaria

B.1.- Actividades del Concesionario

B.1.1.- Vigilará que las brigadas de conservación dispongan del personal y equipo necesario para el debido cumplimiento de sus labores y anualmente presentará al Centro S.C.T. correspondiente, las relaciones de estos conceptos.

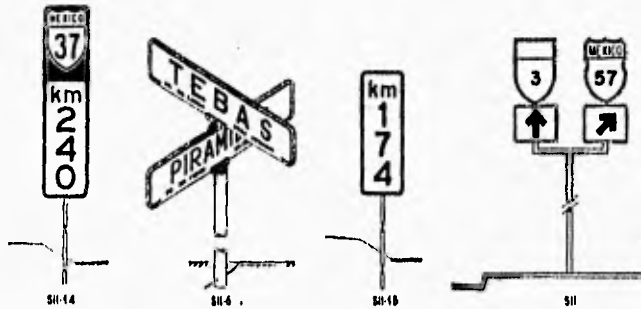
Asimismo deberá elaborar el programa anual de conservación rutinaria y enviarlo también al Centro S.C.T.

B.1.2.- Realizará inspecciones para detectar los problemas de conservación rutinaria, procediendo como sigue:

B.1.2.a.- Diariamente para detectar y corregir problemas en : cercado, invasión y reforestación en derecho de vía; retiro de derrumbes, basura y limpieza de la superficie de rodamiento; falta de señales que pongan en peligro al usuario o lo desorienten y destrozos en jardinería.

B.1.2.b.- Semanalmente cuando se requiera o de acción inmediata para detectar y corregir problemas en: defensas y señales de tipo normal; obras de drenaje, obras complementarias de drenaje; baches, calavereo, grietas, deformaciones, etc., en el pavimento ; colocación de propaganda y señales no autorizadas; limpieza de cunetas y derecho de vía; daños en la autopista por accidentes; alumbrado; contracunetas y subdrenajes; cajas y/o canales de entrada y salida de obras de drenaje; deslave en terraplenes; fallas locales de cortes; muros de contención; postes y fantasmas; deshierbe y poda de vegetación; terraplenes de acceso a estructuras, principalmente en el área de juntas; apoyos y juntas de estructuras; pintura en general; etc.

SEÑALES INFORMATIVAS DE IDENTIFICACION (SII)



COLOR:

Fondo blanco reflejante; letras, símbolos y filetes negros. En caminos con corona menor a 6.00m. el fondo será acabado mate.

SII-6 Nomenclatura de calles.

SII-7 Escudo de carretera federal.

SII-8 Escudo de carretera federal directa de cuota.

SII-9 Escudo de carretera estatal.

SII-10 Escudo de camino rural.

SII-11 Flecha de frente.

SII-12 Flecha horizontal.

SII-13 Flecha diagonal.

SII-14 Kilometraje con ruta.

SII-15 Kilometraje sin ruta.

SEÑALES INFORMATIVAS DE RECOMENDACION (SIR) E INFORMACION GENERAL (SIG)



COLOR:

Fondo blanco mate, letras y filete negro.

SIG-7 Lugar.

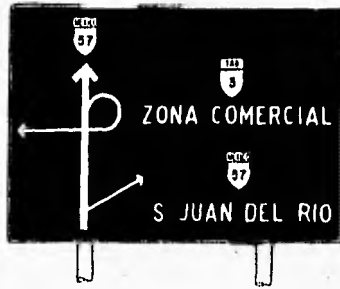
SIG-8 Nombre de obras.

SIG-9 Límites políticos.

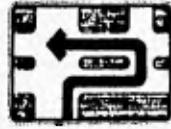
SIG-10 Control.

SIG-11 Sentido del tránsito.

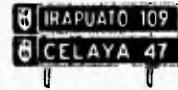
SEÑALES INFORMATIVAS DE DESTINO (SID)



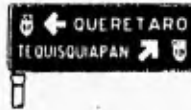
SID-12



SID-12



SID-11



SID-13



SID-10

COLOR:

Fondo verde mate; letras, símbolos y filetes blanco reflejante, excepto la señal diagramática en zona urbana que es fondo blanco y los caracteres, flecha alargada y frente en color negro.

SID-8 Acceso a poblado.

SID-9 Entronque.

SID-10 Cruce.

SID-11 Confirmativa.

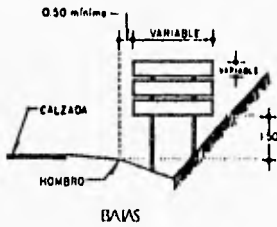
SID-12 Diagramática.

SID-13 Bandera.

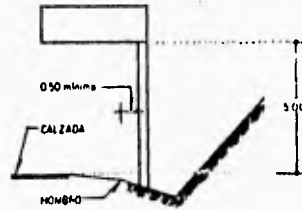
SID-14 Bandera doble.

SID-15 Puente.

COLOCACION:

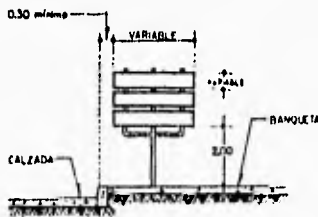


BAVIA

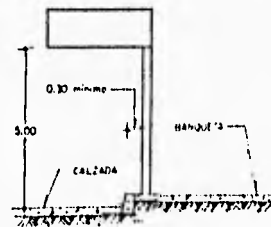


ELEVADAS

EN CORTE



BAVIA



ELEVADAS

EN ZONA URBANA

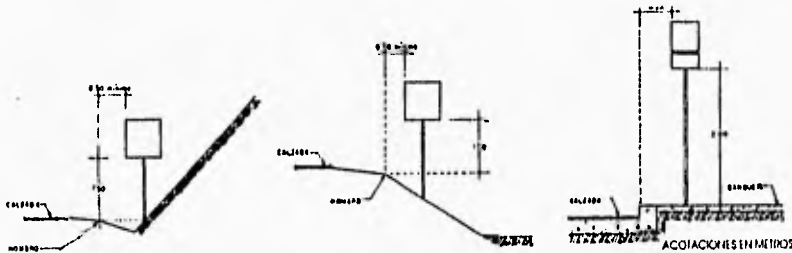
DIMENSIONES DEL TABLERO DE LAS SEÑALES INFORMATIVAS DE SERVICIOS Y TURISTICAS

DIMENSIONES cm	USO
45 X 45 (sin ceja)	En carreteras con ancho de corona menor de 6.00 m. y calles urbanas.
61 X 61 (sin ceja)	En carreteras con ancho de corona entre 6.00 y 9.00 m. y avenidas principales urbanas.
71 X 71 (con ceja)	En carreteras con ancho de corona entre 9.00 y 12.00 m. y vias rápidas urbanas.
86 X 86 (con ceja)	En carreteras con 4 carriles o más con o sin separador central.

DIMENSIONES DEL TABLERO ADICIONAL DE LAS SEÑALES INFORMATIVAS DE SERVICIOS Y TURISTICAS

DIMENSIONES DE LA SEÑAL cm.	DIMENSIONES DEL TABLERO cm.	LONGITUD DE LA FLECHA DIRECCIONAL cm.	ALTURA DE LAS LETRAS MAYUSCULAS cm.
45 X 45 (sin ceja)	25 X 45	40	10
61 X 61 (sin ceja)	30 X 61	55	12.5
71 X 71 (con ceja)	35 X 71	60	15
86 X 86 (con ceja)	35 X 86	75	15

COLOCACION



EN CORTE

EN TERRAPLEN

EN ZONA URBANA

SEÑALES PREVENTIVAS (SP)



COLOR:

Fondo amarillo tránsito reflejante; símbolos, caracteres y filete negro.

SP-6 Curva.

SP-7 Codo.

SP-8 Curva inversa.

SP-9 Codo inverso.

SP-10 Camino sinuoso.

SP-11 Cruce de caminos.

SP-12 Entronque en T.

SP-13 Entronque en delta.

SP-14 Entronque lateral oblicuo.

SP-15 Entronque en Y.

SP-16 Glorieta.

SP-17 Incorporación del tránsito.

SP-18 Doble circulación.

SP-19 Salida.

SP-20 Estrechamiento simétrico.

SP-21 Estrechamiento asimétrico.

SP-22 Puente móvil.

SP-23 Puente angosto.

SP-24 Anchura libre.

SP-25 Altura libre.

SP-26 Vado.

SP-27 Termina pavimento.

SP-28 Superficie resapante.

SP-29 Pendiente peligrosa.

SP-30 Zona de derrumbes.

SP-31 Alto próximo.

SP-32 Peatones.

SP-33 Escolares.

SP-34 Ganado.

SP-35 Cruce de ferrocarril.

SP-36 Maquinaria agrícola.

SP-37 Semáforo.

SP-38 Camino dividido.

SP-38A Camino dividido.

SP-39 Ciclistas.

SP-40 Grava suelta.

DIMENSIONES DEL TABLERO DE LAS SEÑALES PREVENTIVAS

SEÑAL	U S O
DIMENSIONES cm.	
61 X 61 (sin ceja)	En carreteras con ancho de corona menor de 6.00 m. y calles urbanas.
71 X 71 (con ceja)	En carreteras con ancho de corona comprendido entre 6.00 y 9.00 m. y avenidas principales urbanas.
86 X 86 (con ceja)	En carreteras con ancho de corona entre 9.00 y 12.00 m. vías rápidas urbanas y carreteras de 4 carriles donde se puedan ubicar para el mismo sentido en ambos lados.
117 X 117 (con ceja)	En carreteras de 4 carriles o más, con o sin separador central.

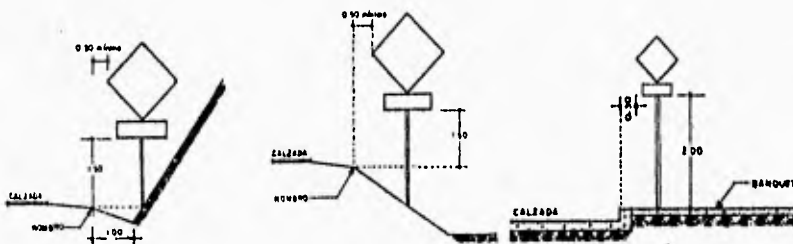
DIMENSIONES DEL TABLERO ADICIONAL DE LAS SEÑALES PREVENTIVAS

DIMENSION DE LA SEÑAL cm.	DIMENSIONES DEL TABLERO cm.		ALTURA DE LAS LETRAS MAYUSCULAS cm.	
	1 RENGLON	2 RENGLONES	1 RENGLON	2 RENGLONES
61 X 61 (sin ceja)	25 X 85	40 X 85	10	10
71 X 71 (con ceja)	30 X 100	50 X 100	12.5	12.5
86 X 86 (con ceja)	35 X 122	61 X 122	15	15
117 X 117 (con ceja)	35 X 152	61 X 152	15	15

UBICACION LONGITUDINAL DE LAS SEÑALES PREVENTIVAS

VELOCIDAD km/h	30	40	50	60	70	80	90	100	110
DISTANCIA m.	30	40	55	75	95	115	135	155	175

COLOCACION



EN CORTE

EN TERRAPLEN

EN ZONA URBANA

SEÑALES RESTRICTIVAS (SR)



SR-6



SR-7



SR-8



SR-9



SR-10



SR-11



SR-11A



SR-12



SR-13



SR-14



SR-15



SR-16



SR-17



SR-18



SR-19



SR-20



SR-21



SR-22



SR-23



SR-24



SR-25



SR-26



SR-27



SR-28



SR-29



SR-30



SR-31



SR-32



SR-33

4.20 m

COLOR:

Fondo blanco; reflejante; anillo y franja diametral en rojo; símbolos, letras y filete en negro, excepto en "ALTO" y "CEDA EL PASO".

SR-6 Alto.

SR-7 Ceda el paso.

SR-8 Inspección.

SR-9 Velocidad.

SR-10 Vuelta continua derecha.

SR-11 Circulación.

SR-11A Circulación.

SR-12 Sólo vuelta izquierda.

SR-13 Conserve su derecha.

SR-14 Doble circulación.

SR-15 Altura libre restringida.

SR-16 Anchura libre restringida.

SR-17 Peso restringido.

SR-18 Prohibido retrasar.

SR-19 Parada prohibida.

SR-20 No parar.

SR-21 Estacionamiento prohibido en corto periodo dentro de un horario.

SR-22 Prohibido estacionarse.

SR-23 Prohibida la vuelta a la derecha.

SR-24 Prohibida la vuelta a la izquierda.

SR-25 Prohibido el retorno.

SR-26 Prohibido seguir de frente.

SR-27 Prohibido el paso a bicicletas,

vehículos pesados y motocicletas.

SR-28 Prohibido el paso de vehículos de tracción animal.

SR-29 Prohibido el paso de maquinaria agrícola.

SR-30 Prohibido el paso a bicicletas.

SR-31 Prohibido el paso a peatones.

SR-32 Prohibido el paso de vehículos pesados.

SR-33 Prohibido el uso de señales acústicas.

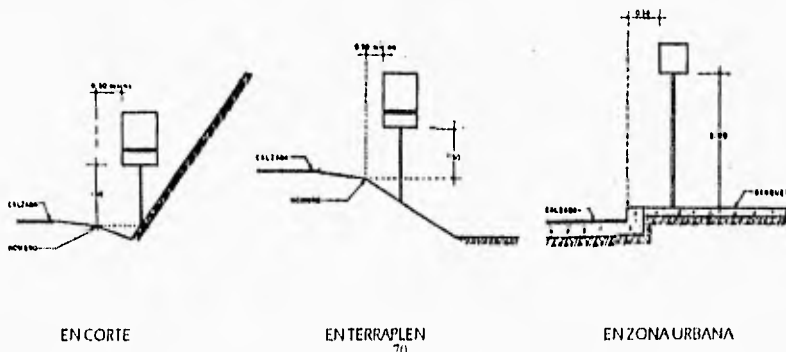
DIMENSIONES DEL TABLERO DE LAS SEÑALES RESTRICTIVAS

SEÑAL	U S O
DIMENSIONES cm.	
61 X 61 (sin ceja)	En carreteras con ancho de corona menor de 6.00 m. y calles urbanas.
71 X 71 (con ceja)	En carreteras con ancho de corona comprendido entre 6.00 y 9.00 m. y avenidas principales urbanas.
86 X 86 (con ceja)	En carreteras con ancho de corona comprendido entre 9.00 y 12.00 m. vías rápidas y carreteras de 4 carriles donde se puedan ubicar para el mismo sentido en ambos lados.
117 X 117 (con ceja)	En carreteras con 4 carriles o más, con o sin separador central.
Alto 25 por lado (sin ceja)	En carreteras con ancho de corona hasta 9.00 m. y en calles urbanas.
Alto 30 por lado (con ceja)	En carreteras con ancho de corona mayor de 9.00 m. y en avenidas principales urbanas.
Cada el paso 70 X 70 X 70 (sin ceja)	En carreteras con ancho de corona hasta 9.00 m. y en calles urbanas.
Cada el paso 85 X 85 X 85 (con ceja)	En carreteras con ancho de corona mayor de 9.00 m. y en avenidas principales urbanas.

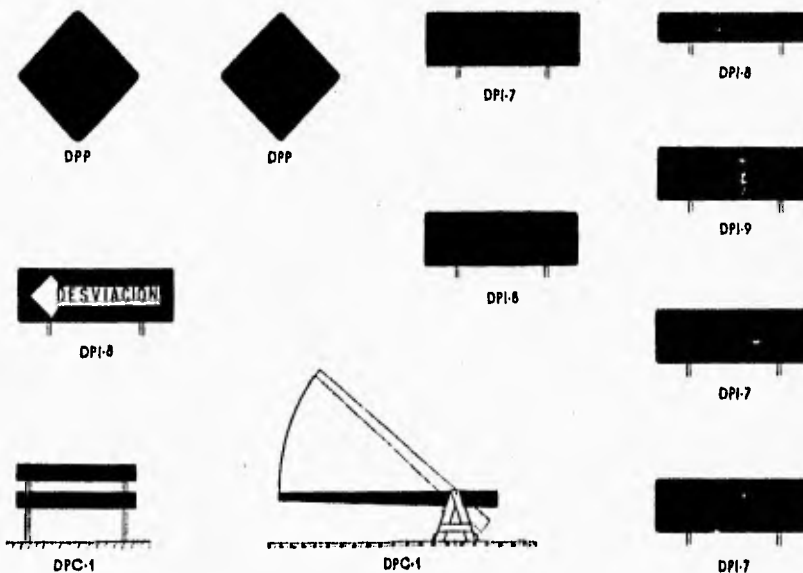
DIMENSIONES DEL TABLERO ADICIONAL DE LAS SEÑALES RESTRICTIVAS

DIMENSION DE LA SEÑAL cm.	DIMENSIONES DEL TABLERO cm.		ALTURA DE LAS LETRAS MAYUSCULAS cm.	
	1 RENGLON	2 RENGLONES	1 RENGLON	2 RENGLONES
61 X 61 (sin ceja)	25 X 61	40 X 61	10	10
71 X 71 (con ceja)	30 X 71	50 X 71	12.5	12.5
86 X 86 (con ceja)	35 X 86	61 X 86	15	15
117 X 117 (con ceja)	35 X 117	61 X 117	15	15

COLOCACION



DISPOSITIVOS PARA PROTECCION EN OBRAS (DP)



DPP-SEÑALES PREVENTIVAS

COLOR:

Fondo naranja reflejante; leyendas, caracteres y filetes negros.

DPP: Obras en camino.

DPP: Material acamellonado.

DIMENSIONES DEL TABLERO ADICIONAL DE LAS SEÑALES PREVENTIVAS PARA PROTECCION EN OBRAS

DIMENSION DE LA SEÑAL cm.	DIMENSIONES DEL TABLERO cm.		ALTURA DE LA LETRA MAYUSCULA cm.	
	1 RENGLON	2 RENGLONES	1 RENGLON	2 RENGLONES
86 X 86 (con ceja)	30 X 117	56 X 117	15	15
91 X 91 (sin ceja)	30 X 122	61 X 122	15	15

UBICACION LONGITUDINAL DE LAS SEÑALES PREVENTIVAS PARA PROTECCION EN OBRAS

VELOCIDAD km/h	30	40	50	60	70	80	90	100	110
DISTANCIA m.	30	40	55	75	95	115	135	155	175

DPR - SEÑALES RESTRICATIVAS

COLOR:

Fondo blanco reflejante; anillo y franja diametral en rojo; filete, caracteres y símbolos en negro; con excepción de caminos con corona menor de 6.00 m, que será con fondo acabado mate.

DIMENSIONES DEL TABLERO ADICIONAL DE LAS SEÑALES RESTRICATIVAS PARA PROTECCION EN OBRAS

DIMENSION DE LA SEÑAL cm.	DIMENSIONES DEL TABLERO cm.		ALTURA DE LAS LETRAS MAYUSCULAS cm.	
	1 RENGLON	2 RENGLONES	1 RENGLON	2 RENGLONES
86 X 86 (con ceja)	30 X 86	56 X 86	15	15
91 X 91 (sin ceja)	30 X 91	61 X 91	15	15

DPI - SEÑALES INFORMATIVAS

COLOR:

Fondo naranja reflejante; leyenda, caracteres y filete negros.

DIMENSIONES DEL TABLERO DE LAS SEÑALES INFORMATIVAS PARA PROTECCION EN OBRAS

HUMERO DE RENGLONES	ALTURA DE LAS LETRAS MAYUSCULAS cm.	ALTURA DEL TABLERO	LONGITUD DEL TABLERO cm.
1	15	30	178
2	15	56	178

DPC - CANALIZADORES

DPC 1. BARRERAS (Dos tableros horizontales de 30 cm. de altura por 1.22 ó 2.44 cm. de longitud (También podrán ser levadizas).

DPC 2. CONOS (serán de 45 cm. y 75 cm. de altura con base de 30 X 30 cm. y de 40 X 40 cm.).

DPC 3. INDICADORES DE ALINEAMIENTO (Las franjas reflejantes serán de color naranja).

DPC 4. MARCAS EN EL PAVIMENTO.

DPC 5. DISPOSITIVOS LUMINOSOS (Mecheros y linternas; lámparas de destello; luces eléctricas).

DPC 6. INDICADORES DE OBSTACULOS (Las franjas reflejantes serán de color naranja).

DPM - SEÑALES MANUALES

DPM 1. BANDERAS (tela color rojo reflejante 60 x 60 cm.; con asta de 100 cm.

DPM 2. LAMPARAS.

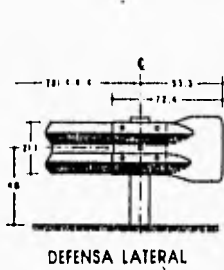
OBRAS Y DISPOSITIVOS DIVERSOS (OD)

CLASIFICACION:

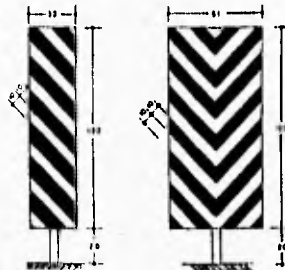
- OD-3 Cercas.
- OD-4 Defensas.
- OD-5 Indicadores de obstáculos.

- OD-6 Indicadores de alineamiento.
- OD-7 Tachuelas o botones.
- OD-8 Reglas y tubos guía para vados.
- OD-9 Bordos.

- OD-10 Vibradores.
- OD-11 Guardagüanados.
- OD-12 Indicadores de curva peligrosa.



DEFENSA LATERAL



INDICADORES DE OBSTACULOS



INDICADOR DE CURVA PELIGROSA

DIMENSIONES DEL TABLERO DEL INDICADOR DE CURVA PELIGROSA

DIMENSIONES cm	U S O
30 X 45 (sin caja)	En carreteras con ancho de corona menor de 6.00 m.
45 X 60 (sin caja)	En carreteras con ancho de corona comprendida entre 6.00 y 9.00 m. y avenidas urbanas principales.
60 X 76 (con caja)	En carreteras con ancho de corona entre 9.00 y 12.00 m. y vías rápidas urbanas.
76 X 90 (con caja)	En carreteras con 4 carriles o más con o sin separador central.

UBICACION, COLOR Y COLOCACION DEL REFLEJANTE DE TACHUELAS O BOTONES

CLAVE	TIPO DE MARCA	TACHUELA O BOTON	REFLEJANTE	
			UBICACION	COLOR
M-4	Raya central sencilla continua	A cada 10.00 m. a partir del inicio de la zona marcada	Rojo	En dos caras
	Raya central sencilla discontinua	Al centro de cada segmento sin marcar de 10.00 m	Blanco	En dos caras
M-6	Raya central doble continua	A cada 10.00 m. en medio de las 2 rayas	Rojo	En dos caras
M-7	Rayas separadoras de carriles	A cada 10.00 m. desde el inicio de la raya continua	Rojo	Una sola cara
		Al centro de cada segmento sin marcar en raya discontinua	Blanco	Una sola cara
M-8	Rayas en las orillas de la calzada.	A cada 10.00 m. en rayas para delimitar carriles exclusivos.	Rojo	En dos caras
			Amarillo	En la cara al tránsito
M-9	Rayas canalizadoras.	A cada 15.00 metros.	Rojo	En contrasentido
			Amarillo	Una sola cara

B.1.3.- Ejecutará las obras derivadas de las actividades anteriores, realizando la supervisión y el control de calidad que procedan.

Se anexan formatos "Reporte Semanal de Actividades" y "Programa de trabajo" del Sistema de Seguimiento de Autopistas Concesionadas, que se han implementado en una empresa Concesionaria para el cumplimiento de este sistema.

C.- Programa de conservación preventiva y correctiva

C.1.- Actividades del concesionario: Procederá de la siguiente manera:

C.1.1.- Elaboración del programa quinquenal inicial.- Elaborará este programa de conservación preventiva y correctiva, lo deberá actualizar anualmente con las actividades siguientes y lo turnará al Centro S.C.T. correspondiente y a la Dirección General de Servicios Técnicos.

C.1.2.- Obtención del Índice de Servicio Actual.- Se obtendrá el Índice de Servicio Actual o IRI de la superficie de rodamiento para delimitar tramos homogéneos, tal como lo indica el Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos o el que se implante para esa autopista.

C.1.3.- Evaluación de las obras de drenaje y subdrenaje.- Se evaluarán todas y cada una de estas obras que presenten problemas en el momento de la inspección.

C.1.4.- Evaluación de cortes y terraplenes.- Se identificarán los que presenten problemas de inestabilidad, movimientos inaceptables, caídos, erosiones, etc.

C.1.5.- Evaluación de estructuras.- Se inspeccionarán e identificarán las estructuras que presenten problemas.

C.1.6.- Evaluación del señalamiento.- Se inspeccionará e identificarán los tramos donde las señales presenten problemas.

**SISTEMA DE SEGUIMIENTO Y SUPERVISION DE AUTOPISTAS CONCESIONADAS
CONSERVACION
PROGRAMA DE TRABAJO**

PROGRAMA CONSERVACION PRIMARIA

TIEMPO	CONCEPTO	AVANCE % ADO	PERIODO		CICLO	MES																	
			1980	1981		ENERO	FEBRERO	MAR	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE						
REGION A	RENOVIACION DE PAVIMENTOS																						
	RENOVIACION DE CIMENTACIONES																						
	RENOVIACION DE BORDADOS																						
OPENAJE	DESARROLLO DE ALICATAMILLAS, CANALES, CUNETAS Y CONTRACUNETAS																						
	REPARACION DE LAVADEROS																						
	REPARACION Y CONSTRUCCION DE BORDADOS																						
	CONTRAPUNTO DE MALLERA																						
DRENAJE	REPARACION DE DRENAJES																						
	REPARACION DE DRENAJES																						
	REPARACION DE DRENAJES																						
	REPARACION DE DRENAJES																						
TALUDES	REPARACION DE TALUDES																						
	REPARACION DE TALUDES																						
SEÑALAMIENTO	REPOSICION DE SEÑALAMIENTO VERTICAL																						
	REPOSICION DE VALETAS																						
OBRAS COMPLEMENTARIAS	REPARACION Y REPOSICION DE BARRERA CENTRAL																						
	GUARDIA DE PASADIZOS																						
TUNELES	REPARACION DE TUNELES																						
	REPARACION DE TUNELES																						
CARRETERAS	REPARACION DE CARRETERAS																						
	REPARACION DE CARRETERAS																						
MANTENIMIENTO	MANTENIMIENTO DE CARRETERAS																						
	MANTENIMIENTO DE CARRETERAS																						

NOTA:
EL PROGRAMA
AL AVANCE
LA RELACION DE CONCEPTOS ES A TITULO ENUNCIATIVO MAS NO LIMITATIVO

REPORTE SEMANAL DE ACTIVIDADES

AUTOPISTA : _____ FECHA : _____
 SEMANA DEL _____ AL _____ ELABORO : _____

ELEMENTO	CONCEPTO	U N I D A D	LUNES		MARTES		MIERCOLES		JUEVES		VIERNES		SABADO		DOMINGO		CANTIDAD	OBSERVACIONES
			DEL KM.	C	DEL KM.	C	DEL KM.	C	DEL KM.	C	DEL KM.	C	DEL KM.	C	DEL KM.	C		
			AL KM.	O	AL KM.	O	AL KM.	O	AL KM.	O	AL KM.	O	AL KM.	O	AL KM.	O		
C O R O N A																		
D R E N A J E																		
D E R E C H O D E V I A																		
T A L U D E S																		
E S T R U C T U R A S																		
S E Ñ A L A M I E N T O																		
O B R A S C O M P L E M E N T A R I A S																		

C.1.7.- Estudios y Proyectos.- Se contratarán los estudios y proyectos necesarios para solucionar los problemas que así lo requieran y se enviarán a la Dirección General de Servicios Técnicos y al Centro S.C.T. correspondiente, indicando la alternativa de solución que se considere más adecuada.

C.1.8.- Programa de ejecución.- Se elaborará el programa de obra de la alternativa aprobada por la S.C.T. y acordará su ejecución con el Centro S.C.T. correspondiente.

C.1.9.- Supervisión de la obra.- Se efectuará la supervisión de los trabajos durante el proceso de su ejecución de manera permanente hasta concluirlos, realizando también el control de calidad de la obra.

D.- Programa de Administración

D.1.- Actividades del concesionario.- Procederá de acuerdo a lo siguiente:

D.1.1.- Levantamiento físico de inventarios.- Se realizará el inventario de: La geometría de la autopista; de las obras de drenaje transversal, longitudinal y de las obras complementarias; de los espesores de las secciones estructurales de la autopista; del señalamiento; del alumbrado en su caso; de bancos de materiales para rehabilitación; de bienes muebles e inmuebles; de intersecciones, salidas, entradas, vueltas en U, etc.; de gasolineras, restaurantes, paradores y servicios en general, de casetas y estaciones de radio- comunicación; de recursos humanos; de equipo y maquinaria y de cualquier otro elemento especial o de interés.

D.1.2.- Captura de inventarios en computadora.- Esta se realizará incluyendo su manejo a nivel operativo de apoyo a la toma de decisiones.

Este programa permitirá detectar cualquier concepto que se desee, con sus características y antecedentes necesarios; deberá ser susceptible de actualizarse fácilmente y de llevar el registro de conservación rutinaria, preventiva y rehabilitaciones realizadas, incluyendo los cambios que originen.

Toda esta información será proporcionada en diskettes a la Dirección General de Servicios Técnicos y al Centro S.C.T. correspondiente.

D.1.3.- Presentación de los Programas de Conservación.- Estos serán con base en el inventario computarizado y se establecerá un sistema de administración al respecto.

También, esta información se proporcionará en diskettes a la Dirección General de Servicios Técnicos y al Centro S.C.T. correspondiente.

V.- CONCLUSIONES

Las vías terrestres son planeadas y construidas para que estén en servicio un determinado número de años como mínimo, cumpliendo así con la vida útil de las obras, al cabo de la cual pueden abandonarse (teniendo quizá algún valor de rescate) o bien reconstruirse a fin de aumentar su servicio por más tiempo (generalmente así sucede).

Una obra en operación va sufriendo deterioros al través de los años, presentando diferentes condiciones de servicio.

Estos deterioros al principio pueden ser pequeños, pero son algunas veces la causa de problemas muy serios en la obra, que aceleran su falla. Por tal motivo, para que una obra proporcione un servicio adecuado, requiere de mantenimiento o conservación, que asegure cuando menos su vida de proyecto.

Es necesario, por tanto, observar estos deterioros a fin de prever los alcances del mantenimiento o conservación a efectuarse.

Mediante la obtención del Índice de Servicio Actual, que como se ha mencionado anteriormente, se realizará una vez al año, podremos conocer las condiciones en que se encuentra la obra. Este índice varía del valor 1 al 5, así, una obra recién construida y puesta en operación tendrá una calificación entre 4.5 y 5, misma que disminuye conforme pasa el tiempo. En la siguiente gráfica se muestra el deterioro de las obras viales que se va teniendo a través del tiempo y el efecto de una conservación buena y otra deficiente:

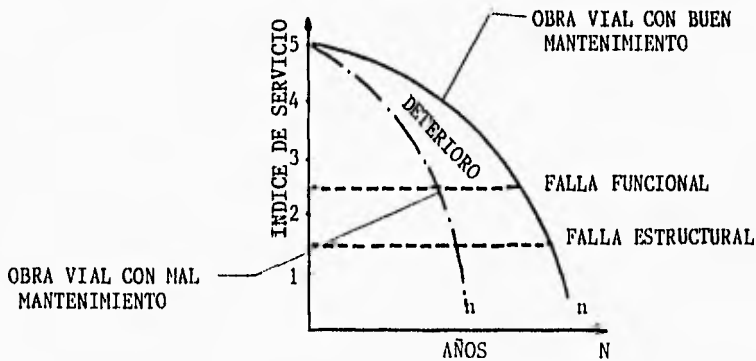


Fig. 19.- Gráfica ISA - Años de servicio Muestra el deterioro a través del tiempo y el efecto de una conservación buena y otra deficiente.

Cuando un camino de primer orden o autopista llega a calificarse con un valor de 3 ó 2, cayendo a uno de segundo orden, el tránsito se realiza con bastantes problemas, llegando a un mínimo la comodidad del viaje, considerándose en este momento que la obra llega a su falla funcional. Si este camino continúa en servicio sin proporcionarle ningún tipo de mantenimiento, llegará a su falla estructural, donde prácticamente ya no podrá realizarse el tránsito.

También debido a un mal diseño de la estructura en cuanto a los materiales o sus espesores o a que no se pronosticó en forma adecuada al tránsito, una obra vial puede llegar a su falla estructural, en la que prácticamente esté destruída antes de la vida útil del proyecto, sin que se pueda decir que en algún momento tuvo falla funcional, debido al rápido deterioro.

Se considera que una obra vial de primer orden al llegar con el tiempo a una calificación de 3.5 a 3.0, que es poco antes de que alcance la falla funcional, sea rehabilitada y en el caso de los caminos secundarios antes de alcanzar la calificación de 2.0.

Al obtener año con año el Índice de Servicio Actual, podemos elaborar una gráfica como la arriba mostrada, de ISA- años, con la que se logrará conocer aproximadamente el tiempo en que el camino llegará a su falla estructural, pero también estaremos en condiciones de planear diferentes rehabilitaciones, a fin de aumentar su vida útil. Claro es, que después de varios trabajos de esta naturaleza, llegará un momento en que esté tan dañada la estructura, que lo que se necesite sea una reconstrucción total. En la gráfica que se muestra a continuación se observa el efecto que tienen las rehabilitaciones en la vida de una obra vial.

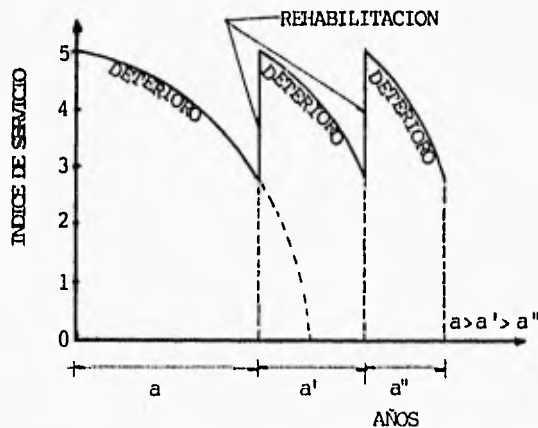


Fig. 20.- Gráfica que muestra el efecto que tienen las rehabilitaciones en la vida de una obra vial.

En ella se observa que después de puesta en servicio una obra, se va deteriorando hasta que en n años llega a su falla estructural; sin embargo, si cuando se tiene una calificación de 3.0 se rehabilita, se aumenta su vida útil en n años más; este ciclo se puede repetir en varias ocasiones, pero después de 4 ó 5 rehabilitaciones el daño que se ha causado a la obra es tal, que lo más conveniente es una reconstrucción, pues la eficiencia de la rehabilitación es cada vez menor.

Para la obtención de la calificación o Índice de Servicio Actual se utiliza el método visual en el que se toman en cuenta la cantidad de grietas que se tienen en la superficie, los baches cajetes o calaveras y la magnitud de las deformaciones. Otro método es a través de mediciones de la deformabilidad de la estructura que muy bien se pueden realizar por medio de la Viga Benkelman, del Dynaflect o del Deflectómetro KUAB 2 m EWD.

Situándonos ahora en las condiciones prevaecientes en nuestro país, la modernización que se intenta realizar en todos los órdenes de su vida económica, redundará en el incremento sustancial de las demandas de tránsito sobre las redes de transporte, por lo que tanto las carreteras como las vías de ferrocarril existentes deberán modificarse para adecuarlos al crecimiento de la demanda de transporte.

Numerosos puentes de la red nacional de carreteras presentan daños importantes como consecuencia de la acción agresiva de los agentes naturales y del crecimiento desmesurado de las cargas vivas.

El deterioro causado por los agentes naturales es común a todas las obras de ingeniería civil y es el resultado de un proceso mediante el cual la naturaleza trata de revertir el procedimiento artificial de elaboración de los materiales de construcción y llevarlos nuevamente a su estado original.

Por lo que se refiere a las cargas rodantes, el desarrollo tecnológico, ha propiciado la aparición de vehículos más pesados, en respuesta a la demanda de los transportistas que encuentran más lucrativa la operación de vehículos de mayor peso; por otra parte, el mismo desarrollo económico se ha reflejado en un notable incremento del parque vehicular.

En los últimos 35 años el número de habitantes y la longitud de la red se han triplicado, en tanto que el número de vehículos se ha multiplicado por veinticinco.

Una gran parte de los puentes de la red carretera nacional fueron calculados para la carga AASHTO H-15 con un peso total de 13.6 ton, en tanto que el camión T3-S3 autorizado por el reglamento de operación de caminos tiene un peso legal de 46 ton y frecuentemente un peso ilegal de 75 ton, situación que explica algunos de los daños en las estructuras de pavimentos y puentes por el aumento de las sollicitaciones mecánicas al aumentar el peso de las cargas rodantes y por la disminución de resistencia por efecto de la fatiga estructural ocasionada por la aplicación de esas cargas repetidamente.

Asimismo la crisis económica en que está inmerso nuestro país motiva un considerable descenso del gasto público minimizando los recursos disponibles para la conservación, siendo que se debería por este motivo conservar con mayor esmero la infraestructura existente, ya que de destruirse, sería muy difícil de restituir por la propia escasez de recursos.

Tarea muy importante, es pues el que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes logre la rehabilitación y modernización de la Red Carretera del país, adaptándola a los nuevos requerimientos del tráfico vehicular actual.

APENDICE 1

VALOR RELATIVO DE SOPORTE

DEFINICION : El valor relativo de Soporte (V.R.S.) es la relación expresada en porcentaje, entre la presión necesaria para penetrar los primeros 0.25 cm. (0.1 plg) y la presión requerida para tener la misma penetración en un material arbitrario, adoptado como patrón, que es una piedra triturada en la que se producen las presiones en el vástago que se anotan en la siguiente tabla :

PRESIONES PARA DISTINTAS PENETRACIONES DEL VASTAGO EN EL MATERIAL PATRON. PRUEBA V.R.S.

PENETRACION		PRESION EN EL VASTAGO	
cm	plg	km/cm ²	lb/plg ²
0.25	0.1	70	1,000
0.50	0.2	105	1,500
0.75	0.3	133	1,900
1.00	0.4	161	2,300
1.25	0.5	182	2,600

OBTENCION : El Valor Relativo de Soporte (V.R.S.) se obtiene de una prueba de penetración, en la que un vástago de 19.4 cm² (3 plg²) de área se hace penetrar en un espécimen de suelo a razón de 0.127 cm/min. (0.05 plg/min.); se mide la carga aplicada para penetraciones que varíen en 0.25 cm. (0.1 plg).

Generalmente el V.R.S. disminuye cuando la penetración en que se hace su cálculo es mayor, pero a veces si se calcula con la penetración de 0.5 cm. (0.2 plg) resulta más grande que el obtenido de la primera penetración; en tal caso, se adopta como V.R.S. el obtenido con la segunda penetración (0.5 cm).

PROCEDIMIENTO DE PRUEBA : Para la realización de esta prueba se requiere el siguiente equipo :

- 1).- Molde cilíndrico de 15.2 cm (6") de diámetro y 17.8 cm. (7") de altura, equipado con un collarín de extensión de 5.1 cm. (2") de altura y con una placa de base perforada.
- 2).- Un disco separador de 15 cm. (5 15/16") de diámetro y 6.3 cm. (2.5") de altura, para insertarlo como fondo falso en el molde cilíndrico, durante la compactación.
- 3).- Un compactador de 4.54 kg. (10 lb.). de peso y 5.1 cm. (2.") de diámetro en la superficie de golpeo.
- 4).- Vástago ajustable y placa perforada, trípode y micrómetro con aproximación al 0.0025 de centímetro (0.001") para medir la expansión del suelo.
- 5).- Un anillo con peso de 2.27 kg (5 lb) y varias pesas de diseño especial de 2.27 kg (5 lb) de peso cada una, adecuadas para ser aplicadas como sobrecarga en la superficie del suelo, durante el proceso de saturación y de penetración.
- 6).- Pistón de penetración de 4.9 cm. (1.92") de diámetro y aproximadamente 10 cm.. (4") de longitud.
- 7).- Máquina de prueba o gato de tornillo con su marco especial, para introducir el pistón en el espécimen con una velocidad de 0.127 cm/min. (0.05 plg/min.).

El procedimiento es tal que los valores de V.R.S. se obtienen a partir de especímenes de prueba que posean el mismo peso específico y contenido de agua que se espera encontrar en el campo.

Para la mayoría de los materiales, la condición crítica del prototipo es cuando ha absorbido la cantidad máxima de agua. Por tal motivo, el diseño de V.R.S. adoptado por el Cuerpo de Ingenieros de los E.U.A. es el obtenido después de que los especímenes han sido sumergidos en agua un período de cuatro días. Durante este tiempo se confinan en el molde por medio de una sobrecarga igual al peso del pavimento que actuará sobre el material

A continuación se describe en detalle la preparación de probetas remoldadas

1).- La muestra se seca hasta que se pueda desmoronar. Este secado se puede hacer al aire libre o empleando el horno no excediendo de 60° C. En seguida se rompen los grumos sin tener que triturar las partículas. Se retira el material cuyo tamaño es mayor de 1.9 cm. (3/4"), reemplazándolo por una cantidad igual de material cuyos tamaños estén comprendidos entre las mallas No. 4 y de 3/4", mezclando completamente la muestra.

2).- Se compacta un número suficiente de especímenes con variación en su contenido de humedad, con el fin de establecer definitivamente el contenido de agua óptimo y el peso volumétrico máximo. Si las características de compactación del material son perfectamente conocidas, será suficiente compactar cuatro o cinco especímenes con contenidos de agua dentro de un intervalo de más o menos de 2% del contenido de agua óptimo. Estos especímenes se preparan con diferentes energías de compactación, usando los métodos Proctor estándar, Proctor modificada y otro con energía menor a la de Proctor estándar. Se obtienen así especímenes que con contenidos de agua diferentes alcanzan distintos pesos volumétricos secos, con lo que se puede estudiar suficientemente la variación del V.R.S. con estos dos factores, que son los que lo afectan principalmente. La altura de caída del compactador deberá controlarse cuidadosamente, así como distribuir los golpes uniformemente sobre el espécimen.

Con los resultados se dibujará una gráfica de contenidos de humedad contra peso volumétrico, trazando una curva que pase por los puntos obtenidos.

3).- El molde con la extensión de collarín se fija a la placa de base insertándose un disco separador sobre dicha placa. En la parte superior del disco se coloca un papel filtro grueso o una malla de alambre fina.

4).- Las muestras se compactarán para las pruebas de V.R.S. según se indica en el inicio 2). Después se quita el collarín, cortándose el espécimen se coloca sobre la superficie superior una malla o un papel filtro grueso y una placa de base perforada se fija a la parte superior del molde. Se invierte el molde, quitándose la placa de base que se encontraba en el fondo, así como el separador, determinándose el peso volumétrico.

5).- Se coloca el vástago ajustable a la placa sobre la superficie del molde, aplicando una pesa en forma de anillo, con el fin de producir una intensidad de carga igual al peso del material del pavimento con 2.27 kg. (5 lb) de más o menos, pero en ningún caso el peso será menor de 4.54 kg. (10 lb). El molde con las pesas se sumerge en agua, para permitir el libre acceso del agua por arriba y por abajo del espécimen, tomando medidas iniciales para determinar la expansión y dejando que se humedezca durante cuatro días. Al final se toman medidas de la expansión y calculándose ésta como un porcentaje de la altura del espécimen.

6).- Se quita el agua superficial y se permite el drenado del espécimen durante quince minutos. Se tendrá cuidado de no alterar la superficie del espécimen durante la remoción del agua libre, para lo cual se inclinan éstos. Se retiran tanto la placa perforada como los pesos de sobrecarga y se pesa el espécimen, quedando listo para la prueba de penetración.

La prueba de penetración se lleva a cabo de la siguiente manera:

a).- Se aplica una sobrecarga que sea suficiente para producir una intensidad de carga igual al peso del pavimento con ± 2.27 kg. de aproximación.

Si la muestra ha sido saturada previamente, la sobrecarga deberá ser igual a la colocada durante el período de saturación. Para evitar el empuje hacia arriba del suelo dentro del agujero de las pesas de sobrecarga, es conveniente colocar un disco con perforación circular de 2.27 kg. (5 lb) de sobrecarga sobre la superficie del suelo antes de la colocación del pistón y de la aplicación de los pesos restantes.

b).- Se coloca el pistón de penetración con una carga de 4.54 kg. (10 lb) y se ponen los medidores de deformación y de esfuerzo en cero. Esta carga inicial es indispensable para asegurar un asentamiento satisfactorio del pistón, debiendo considerarse como carga cero cuando se determina la relación presión-penetración.

c).- Se aplica carga sobre el pistón de penetración de manera que la velocidad de aplicación sea aproximadamente de 0.127 cm/min. (0.05 plg/min.). Se obtienen lecturas a 0.063, 0.127, 0.190, 0.25, 0.51, 0.76, 1.02 y 1.27 cm. (0.25, 0.05, 0.075, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 plg) de deformación. En los dispositivos de carga operados normalmente, puede ser necesario tomar lecturas de carga con intervalos más pequeños, para controlar la velocidad de penetración.

d).- Se determinan el contenido de agua en la capa superior con espesor de 2.5cm. (1") y, en el caso de pruebas de laboratorio, también un contenido de agua promedio, para la profundidad completa de la muestra.

e).- Se calcula la presión aplicada por el penetrómetro y se dibuja la curva esfuerzos- penetración. Para obtener las presiones reales de penetración a partir de los datos de la prueba, el punto cero de la curva se ajusta para corregir las irregularidades de la superficie, que afectan la forma inicial de la curva.

f).- Se determinan los valores de presión corregidos para 0.25 y 0.51 cm. (0.1" y 0.2") de penetración, a partir de los cuales se obtienen los valores de V.R.S. dividiendo estas presiones entre las estándar de 70 y 105 km/cm² (1,000 y 1,500 lb/plg² respectivamente). Se multiplica cada relación por 100 para obtener la relación para 0.25 cm. (0.1") de penetración. Si el V.R.S. para 0.51 cm. (0.2") de penetración es mayor que el correspondiente al anterior deberá repetirse la prueba. Si esta prueba de comprobación da resultados similares, deberá usarse el V.R.S. para 0.51 cm (0.2")

Los datos y resultados de la prueba que deberán suministrarse son los siguientes :

- 1.- Procedimiento de compactación
- 2.- Esfuerzo de compactación
- 3.- Contenido de humedad al fabricar el espécimen
- 4.- Peso específico
- 5.- Sobrecarga de saturación y de penetración
- 6.- Expansión de la muestra
- 7.- Contenido de humedad después de la saturación
- 8.- Contenido de humedad óptima y peso específico máximo
- 9.- Curva Presión - Penetración

Las pruebas en muestras inalteradas se usarán en el diseño, cuando no se requiere compactación y para correlacionar las pruebas en el campo con el contenido de agua del momento, con el resultado que darían esas muestras con el contenido de agua de diseño. Para esta última condición se deberán ensayar especímenes por duplicado, uno con la humedad de diseño y otro con la del lugar, para determinar la correlación necesaria para interpretar las pruebas en el lugar. En este caso, la reducción en el V.R.S. que acontece durante el humedecimiento, deberá aplicarse como una corrección de las pruebas de campo.

La prueba de campo es bajo ciertas condiciones, satisfactoria para determinar la capacidad de soporte de un material en el lugar.

Esta prueba puede usarse en cualquiera de las condiciones siguientes :

- a).- Cuando el peso volumétrico en el lugar y el contenido de humedad son tales que el grado de solución es de 80% o mayor.
- b).- Cuando el material es de partículas gruesas y sin cohesión, de manera que no se vea afectado por los cambios del contenido de humedad.
- c).- Cuando el material ha estado en el lugar por varios años; en estos casos el contenido de agua puede fluctuar dentro de un intervalo reducido, considerándose que la prueba de campo arroja un índice satisfactorio de la capacidad de soporte.

RESULTADOS.-Los factores que afectan a los valores obtenidos en las pruebas del V.R.S. son la textura del suelo, su contenido de agua y su condición de compactación.

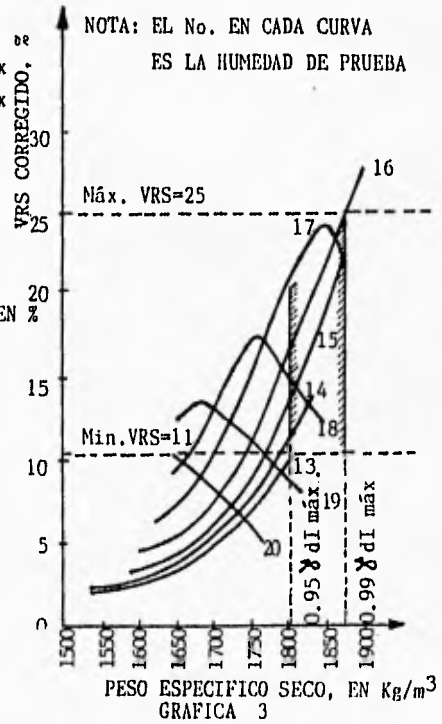
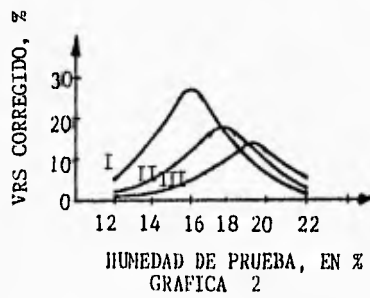
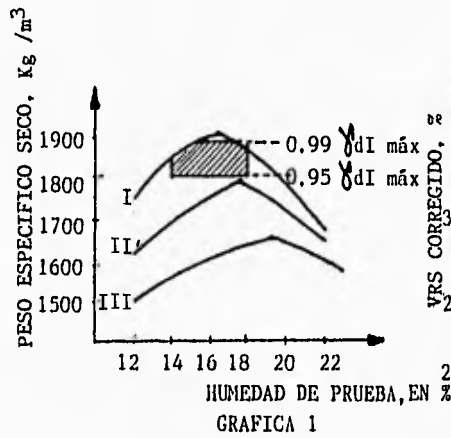
En los suelos friccionantes, prácticamente no hay expansión durante la saturación, por lo que el monto de la sobrecarga dada por la placa perforada no es significativo durante esta etapa de la prueba; sin embargo, el valor de la sobrecarga sí influye mucho en la etapa de penetración, pues el confinamiento afecta mucho la resistencia de los suelos friccionantes. En los suelos arcillosos ocurre lo apuesto; la expansión. Durante la saturación depende mucho de la presión de sobrecarga, mientras que ésta influye poco en la etapa de penetración.

Generalmente la curva presión-penetración obtenida de una prueba de V.R.S. es lineal para bajas penetraciones y tiende a hacerse ligeramente curva, con la concavidad hacia abajo, a penetraciones mayores; pero en ocasiones la gráfica resulta curva con concavidad hacia arriba en un pequeño tramo correspondiente a las penetraciones iniciales, por lo que es preciso corregir los resultados de la prueba desplazando la gráfica hacia la izquierda, de modo que su parte recta, sin hacer caso de la pequeña curvatura inicial, pase por el origen.

Los nuevos valores de V.R.S. así obtenidos se denominan el "V.R.S. corregido".

Los resultados de una prueba completa para la determinación del V.R.S. se vacían en tres gráficas

- 1.- Humedad de prueba - Peso específico seco
- 2.- Humedad de prueba - V.R.S. corregido
- 3.- Peso específico seco - V.R.S. corregido



En la gráfica 1, aparecerán curvas resultado de las pruebas de compactación que se realizaron para fabricar los especímenes en que se efectuaron pruebas de V.R.S. Las curvas I, II y III se obtuvieron en este caso usando energías de compactación decrecientes.

En la gráfica 2 aparecen los resultados de las pruebas de V.R.S. para los mismos especímenes donde se puede notar que este valor no es una característica constante del suelo, sino que depende del contenido de agua con que se preparó el espécimen. El V.R.S. máximo corresponde a una humedad por lo menos muy cercana a la óptima de compactación en la prueba de que se trate, observándose que para suelos con alta humedad el V.R.S. del suelo compactado con mayor energía específica puede ser menor, sin embargo el V.R.S. máximo obtenible si es mayor cuanto mayor sea la energía específica con que se haya compactado el espécimen.

En la gráfica 3 se han dibujado los valores del V.R.S. corregido contra los pesos específicos secos de los especímenes probados; cada curva corresponde a pruebas de penetración en que el suelo tenía la misma humedad de compactación, pero fue compactado con diferente energía específica y se obtiene fijando una humedad, por ejemplo 14%. En la gráfica 1 se obtienen los tres pesos específicos correspondientes a la humedad 14%, en diferentes energías de compactación; en la gráfica 2 se obtienen los valores de V.R.S. para estos tres casos. Se tienen así tres pesos específicos y tres valores de V.R.S. obtenidos en tres especímenes compactados con 14% de humedad, usando las tres energías específicas que se han manejado.

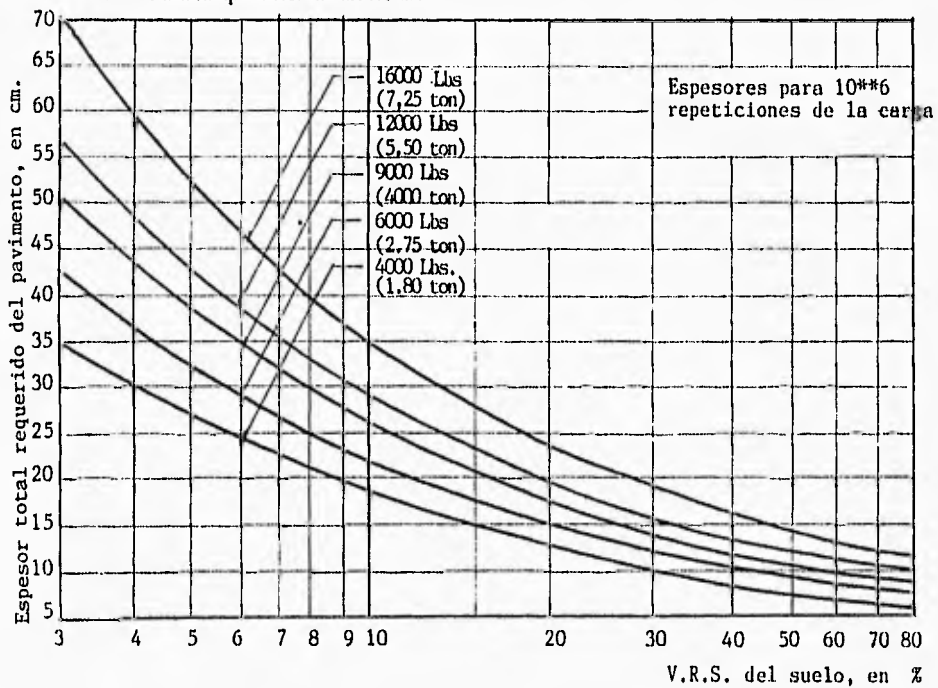
Con estos tres pares de valores se construye la curva 14 indicada en la gráfica 3. Las demás curvas trazadas en esta última gráfica indican que no siempre a mayor peso específico se tienen mayores valores de V.R.S.

APENDICE 2

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES POR EL METODO DEL V.R.S

Este método está basado en la realización y resultados de la prueba del mismo nombre, descrita en el apéndice 1, con la modalidad que ha desarrollado el cuerpo de Ingenieros de los E.U.A.

El método es aplicable tanto a pavimentos de carreteras como de aeropistas. A continuación se desarrollará la aplicación a carreteras.



GRAFICA "A".-Espesores del pavimento en carreteras en función del V.R.S. de los suelos, según el Cuerpo de Ingenieros de los E.U.A.

De la gráfica "A" se podrá obtener el espesor del pavimento, ya que las curvas dibujadas, proporcionan los espesores para diferentes valores del V.R.S. y distintas cargas de rueda de los vehículos, solucionadas con el criterio de la carga equivalente, que significa el encontrar la rueda simple que produzca a una cierta profundidad los mismos esfuerzos verticales o las mismas deformaciones que el sistema de llantas del vehículo.

También esta gráfica proporciona el espesor necesario para que el pavimento aguante precisamente 10^6 repeticiones de la carga que se lea, entendiéndose por repetición a la ocurrencia de dos pasadas sucesivas de una misma llanta por el mismo punto.

Es conveniente utilizar esta gráfica "A" tomando en cuenta el tipo y mezcla del tránsito, aceptando también la regla de que el espesor del pavimento varía linealmente con el número de las repeticiones de la carga cuando éste se expresa en escala logarítmica; así mismo de que con un 25 % del espesor para 10^6 repeticiones el pavimento falla con una sola repetición de la misma carga.

La carga de 2.27 ton. (5,000 lb) es la carga equivalente por rueda a utilizar en el diseño, por tanto, el tránsito variado, de diferente tipo y peso, ha de reducirse al número de ruedas de 2.27 ton. (5,000 lb) que produzca el mismo efecto.

El Departamento de Carreteras de California elaboró un procedimiento para homogeneizar el tránsito tan altamente variable que circula por las carreteras actualmente y constituye uno de los esfuerzos más racionales y completos para lograr tal homogeneización, pero por estar fundado en datos estadísticos locales no puede utilizarse sin adaptación en otras zonas.

El tránsito es expresado por medio del concepto "Índice de Tránsito", descrito por la fórmula:

$$IT = 6.7 (CE/10^{*6})^{*0.119}$$

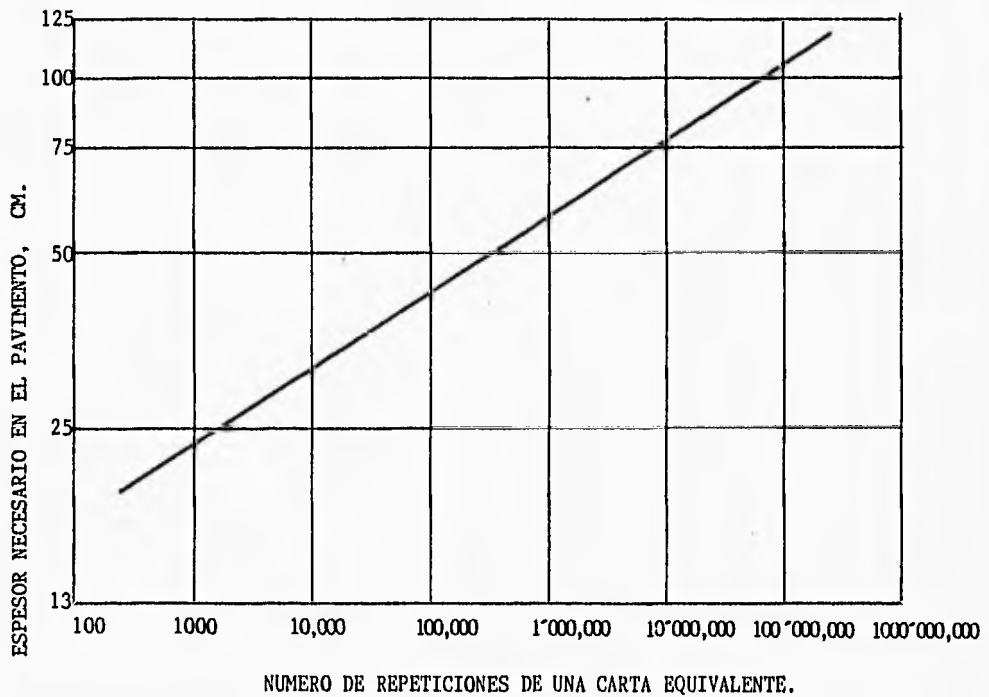
Donde CE es el número de ruedas de 2,270 kg. (5,000 lb), que equivalen al tránsito real del camino dentro del periodo de diseño, que se calcula con los factores de equivalencia a vehículos de varios ejes, mostrados en la siguiente tabla 1:

NUMERO DE EJES DEL VEHICULO	VALOR DE LA CARGA EQUIVALENTE (CE) PARA UN AÑO DE SERVICIO DEL PAVIMENTO	
	CARRETERAS PRINCIPALES	CARRETERAS SECUNDARIAS
2	280	200
3	930	890
4	1,320	1,070
5	3,190	1,700
6	1,950	1,050

Tabla 1.- Factores de equivalencia para llantas en arreglo dual de vehículos de varios ejes con la rueda estándar de 2,270 kg. (5,000 lb).

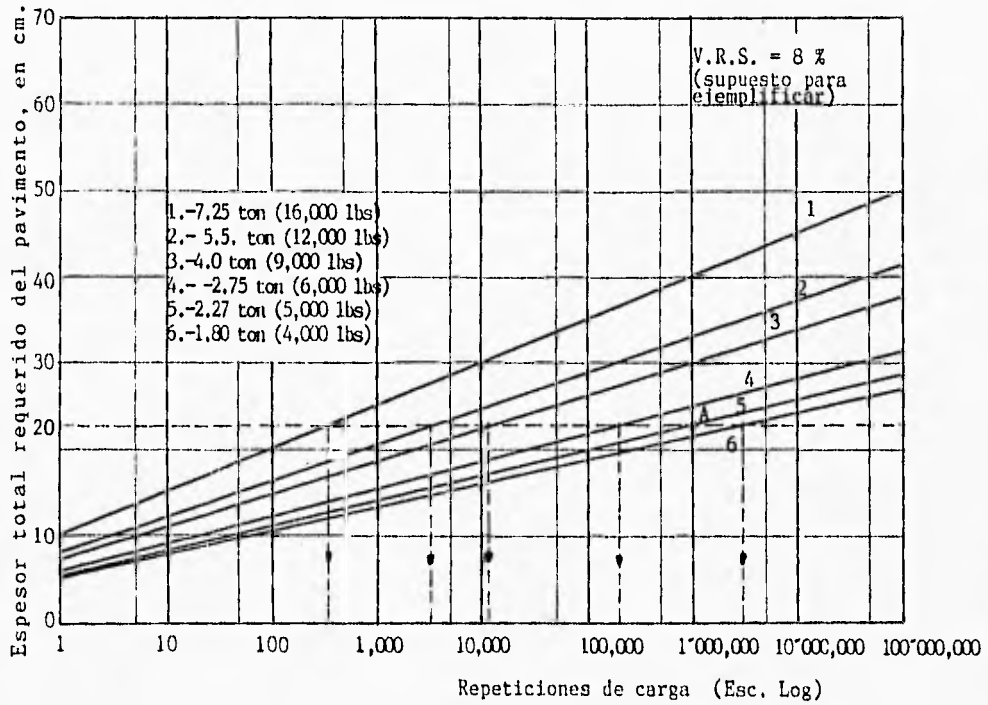
En primer lugar, se hace una estimación del número diario de vehículos, agrupados según su número de ejes. La reducción a la carga estándar se hace usando los factores de la tabla 1 que multiplicados por el número de vehículos diarios de cada tipo, proporciona el número anual de vehículos con carga estándar, que producirán los mismos efectos sobre el pavimento que el que causarían los vehículos reales circulando durante todo un año. Aplicando la regla a los diferentes tipos de vehículos reales y sumando los resultados finales, se llega al número de repeticiones de la carga estándar en el año en estudio. Se hace notar que los factores que figuran en esta tabla se refieren al promedio de vehículos circulantes cada día en un solo sentido.

En la gráfica "B" se muestra uno de los aspectos más interesantes de las consideraciones prácticas del efecto de las cargas móviles sobre un pavimento. Hace ver que el deterioro que sufre un pavimento, expresado en este caso por el espesor necesario para garantizar un funcionamiento adecuado (en escala logarítmica), es una función lineal del número de repeticiones de la carga, cuando éste se expresa también en escala logarítmica.



GRAFICA " B ",- Relación entre deterioro de un pavimento y la carga del tránsito.

McLeod optó por una solución algo diferente y con ella se construye la gráfica "C" que se ilustra a continuación.



GRAFICA "C" .- Método de McLeod para homogeneizar el tránsito en la aplicación del método del V.R.S. a carreteras, según el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los E. U. A.

Utilizando en primer lugar las curvas de la gráfica "A" y con el V.R.S. del suelo en estudio (suponiéndolo de 8% para la construcción de la gráfica "C") se ven los espesores totales que resultan para las diferentes cargas de rueda que aparecen, anotándolos en la gráfica "C" como ordenadas en la abscisa 10^6 repeticiones, puesto que a ellas corresponden. Después se llevan como ordenadas del valor una repetición (considerado como abscisa) magnitudes correspondientes al 25 % de los espesores necesarios para soportar un millón de repeticiones. Entre las ordenadas así dibujadas podrán trazarse líneas rectas, con base en la idea de que el espesor del pavimento es función lineal del número de repeticiones cuando éste se expresa en escala logarítmica.

El conjunto de rectas aparece en la gráfica "C" y cada una de ellas representa la variación del espesor requerido del pavimento con el número de repeticiones para la carga que se menciona. Nótese que en la gráfica "C" aparece una recta para la carga de 2.27 ton. (5,000 lb) y que, en cambio en la gráfica "A" no hay curva para esta carga; los valores de la gráfica "C" se obtuvieron haciendo una interpolación a ojo en la gráfica "A".

En seguida se fija el punto que representa la condición de diseño (punto A en la gráfica C), que corresponde a un millón de repeticiones de la carga de 2.27 ton (5,000 lb).

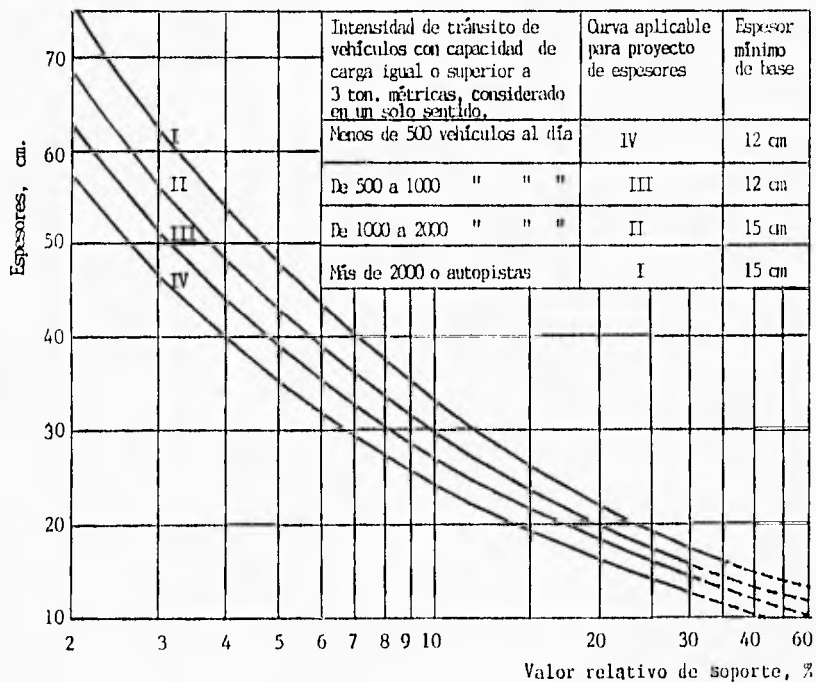
Por el punto A se traza una horizontal que irá cortando las rectas de las distintas cargas en diferentes puntos. La abscisa de cada uno de esos puntos da el número de repeticiones de la carga señalada que equivale a un millón de repeticiones de la carga equivalente de 2.27 ton (5,000 lb). Por ejemplo en la gráfica "C" se ve que 4,000 repeticiones de la carga de 5.5 ton (12,000 lb) equivalen prácticamente a la condición de diseño.

Al dividir un millón entre el número de repeticiones de cada una de las cargas de las rectas de la gráfica "C" que produzcan los mismos efectos que la condición de diseño, se obtienen los denominados factores de equivalencia para las diversas cargas. Por ejemplo, para el caso de la carga 5.5 ton (12,000 lb) el coeficiente de equivalencia será $1'000,000/4,000=250$.

Los factores de equivalencia para cada carga se multiplican por el número de vehículos de ese tipo que vayan a transitar diariamente por el pavimento en diseño (en rigor este número deberá ser el promedio diario anual) y el resultado de tal producto deberá sumarse a todos los similares para las diferentes cargas. La suma total dará el número diario de repeticiones que equivalen, según McLeod, al tránsito esperado sobre el pavimento, en cuanto a sus efectos destructivos sobre éste.

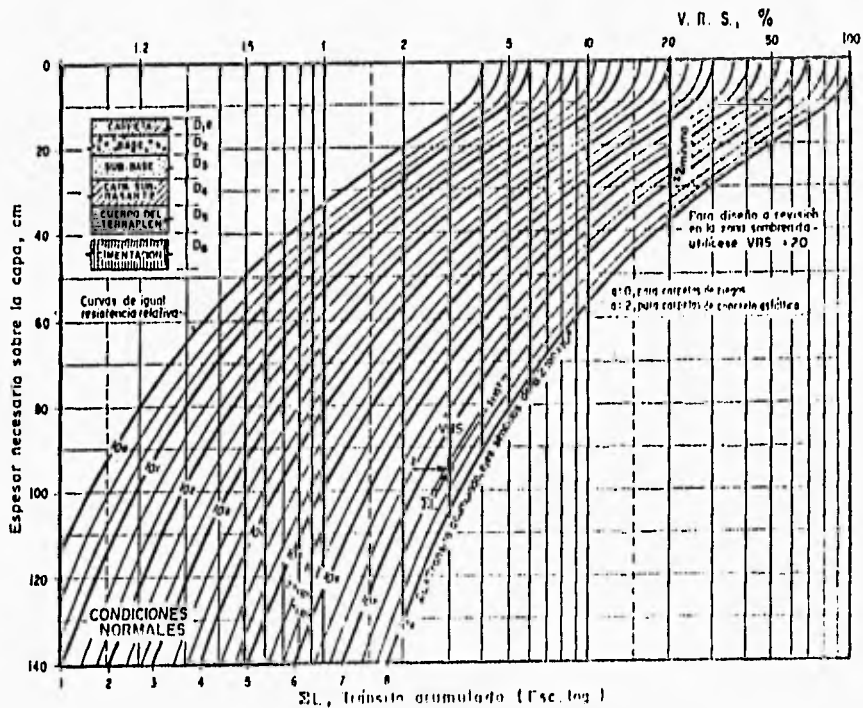
El cálculo anterior deberá extenderse a una vida útil razonable, frecuentemente 10 años y deberá también considerarse alguna tasa de crecimiento del tránsito dentro de ese período. De esta manera se obtendrá una gran total final de repeticiones de la carga equivalente durante los 10 años, el cual deberá llevarse en el eje de las abscisas en la gráfica "C" para leer en la ordenada correspondiente a la recta de la carga equivalente de 2.27 ton. el espesor que debe considerarse de proyecto.

En México se utiliza predominantemente el V.R.S. como método de diseño de los pavimentos carreteros. La gráfica "B" es la de diseño de pavimentos en función del V.R.S. que tiene actualmente en uso la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.



GRAFICA "D".- Curvas para calcular el espesor mínimo de sub-base más base, en pavimentos flexibles para caminos en función del V.R.S. de la sub-rasante, según la práctica S.C.T.

La gráfica "E" es la de diseño para pavimentos carreteros que ha sido desarrollada por el grupo de trabajo del Instituto de Ingeniería de la UNAM. En esta gráfica, en primer lugar se maneja el número de repeticiones de carga (ΣL) que el pavimento diseñado, con un cierto espesor, podrá resistir antes de fallar, definiendo la falla como la aparición de una deformación permanente de 2.5 cm. (1") en un 20% del área pavimentada. En segundo lugar, el concepto del V.R.S. está ahora manejado con una búsqueda de rigor lógico que se antoja racional; en efecto, en los métodos más tradicionales el V.R.S. de cada suelo de los que han de constituir un pavimento se determina de la misma manera y se maneja con bastante independencia de la posición de la capa del suelo dentro de la estructura del pavimento; no se puede establecer claramente qué V.R.S. se ha de exigir a los diferentes suelos según su ubicación en la terracería o el pavimento y esto ha tenido que venirse haciendo con base en especificaciones empíricas.



GRAFICA "E".- Diseño de espesores de pavimentos en carreteras, según el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Se acepta que el V.R.S. debería de distribuirse en el espesor de la sección resistente del pavimento en forma análoga a como se distribuyen los esfuerzos normales verticales según la teoría de Boussinesq. Así, habría una curva de distribución del V.R.S. análoga a la curva típica de Boussinesq; naturalmente esta distribución podrá ser continua y los requerimientos constructivos del trabajo por capas harán que el V.R.S. vaya en realidad disminuyendo en escalones, pero el criterio de correspondencia entre los esfuerzos transmitidos y el V.R.S. necesario para soportarlos sigue siendo el señalado.

La relación entre espesor y el V.R.S. se admite que es una típica curva de Boussinesq y se dibujan varias de estas relaciones para diferentes repeticiones de carga esperadas o vidas útiles de proyecto, expresada esta vida útil deseada como un número de repeticiones de carga que han de ser aguantadas sin falla; el espaciamiento de estas curvas de vida útil en el plano espesor-V.R.S. es experimental.

Así, la gráfica "E" puede manejarse en proyecto o en revisión. En proyecto, se fijará al pavimento una vida útil deseada (ΣL) y con el V.R.S. de una capa se podrá estimar el espesor protector requerido sobre ella. En revisión, conocidos el espesor y el V.R.S. de una capa podrá estimarse la vida útil que es de esperar antes de que se llegue a una condición de falla.

Quizá la aplicación más interesante que pueda hacerse de la gráfica, en el caso de la revisión de pavimentos construidos estriba en dibujar sobre ella los diferentes escalones V.R.S.-espesor (cada capa tiene un V.R.S. y un cierto espesor, de modo que puede dibujarse como un escalón en la gráfica) para ver qué vidas útiles corresponden a cada uno y poder así estimar no sólo el riesgo de falla y el tiempo en que ésta ocurrirá, sino también cuál es la cupa del conjunto estructural (incluyendo la terracería) en que es de esperar que aquélla se presente.

Se nota que con un sistema de trabajo como el anterior desaparece toda distinción formal entre capas de pavimento, sub-rasante y terracería, manejándose todo como un conjunto estructural único, lo que es racional.

La gráfica "E" ha sido obtenida de una amplia evidencia experimental, seriamente tratada, lo que le da confiabilidad desde esos puntos de vista.

APENDICE 3

GRANULOMETRIA EN SUELOS

En los inicios de la investigación de las propiedades de los suelos se creyó que las propiedades mecánicas dependerían directamente de la distribución de las partículas constituyentes según sus tamaños, por lo que los ingenieros buscaban métodos adecuados para obtener tal distribución.

Solo en suelos gruesos, cuya granulometría puede determinarse por mallas, la distribución por tamaños puede revelar algo de lo referente a sus propiedades físicas. La experiencia indica que los suelos gruesos bien graduados, con amplia gama de tamaños, tienen comportamiento ingenieril más favorable, en lo que respecta a algunas propiedades importantes que los suelos de granulometría muy uniforme.

El comportamiento mecánico e hidráulico, de los suelos gruesos, está definido principalmente por la compacidad de los granos y su orientación, características que destruye la prueba de granulometría, de modo que en sus resultados finales se pierde toda huella de aquellas propiedades tan decisivas. Desprendiéndose de esto, lo muy deseable que sería poder hacer una investigación granulométrica con un método tal que respetara la estructuración inalterada del material.

En suelos finos en estado inalterado, las propiedades mecánicas e hidráulicas dependen en tal grado de su estructuración e historia geológica, que el conocimiento de su granulometría, resulta totalmente inútil.

Los límites de tamaño de las partículas que constituyen un suelo, ofrecen un criterio obvio para una clasificación descriptiva del mismo, criterio que fue usado en mecánica de suelos desde sus inicios. Originalmente, el suelo se dividía únicamente en tres o cuatro fracciones debido a lo engorroso de los procedimientos disponibles de separación por tamaños. Posteriormente, con el advenimiento de la técnica del cribado, fue posible efectuar el trazo de curvas granulométricas, contando con agrupaciones de las partículas del suelo en mayor número de tamaños diferentes. Actualmente se pueden ampliar notablemente las curvas en los tamaños finos, gracias a la aplicación de técnicas de análisis de suspensiones.

A continuación se presenta, de varias que se han elaborado, una tabla con la clasificación de suelos utilizada en Alemania.

MATERIAL	CARACTERISTICA	TAMAÑO mm.
PIEDRA	--- --- ---	MAYOR DE 70 mm
GRAVA	GRUESA	30 a 70
	MEDIA	5 a 30
	FINA	2 a 5
ARENA	GRUESA	1 a 2
	MEDIA	0.2 a 1
	FINA	0.1 a 0.2
POLVO	GRUESO	0.05 a 0.1
	FINO	0.02 a 0.05
LIMO	GRUESO	0.006 a 0.02
	FINO	0.002 a 0.006
ARCILLA	GRUESA	0.0006 a 0.002
	FINA	0.0002 a 0.0006
ULTRA - ARCILLA	--- --- ---	0.00002 a 0.0002

Abajo de 0.00002 mm las partículas constituyen disoluciones verdaderas y ya no se depositan.

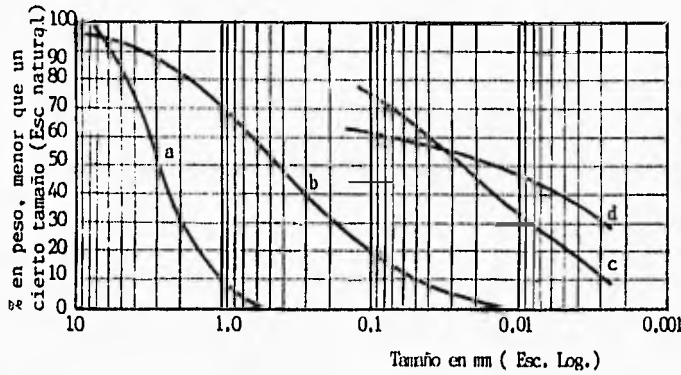
Con frecuencia se han usado otros tipos de clasificación, destacando el método gráfico del Public Roads Administration de los Estados Unidos, pero su interés es hoy menor cada vez.

La objeción más importante que puede hacerse a este y otros sistemas es el uso que hacen de las palabras limo y arcilla para designar fracciones de suelo definidas exclusivamente por tamaños. Estos términos se han usado en ingeniería como nombres para designar tipos de suelo con propiedades físicas definidas; la razón por la que estos nombres se introdujeron para ciertas fracciones de tamaños fue la idea errónea de que tales tamaños eran las causas de aquellas características típicas. Sin embargo, hoy se sabe que las características de una arcilla típica se deben en forma muy preponderante a las propiedades de su fracción más fina. Un suelo formado por partículas de cuarzo del tamaño de las arcillas o un depósito natural de harina de roca de la misma graduación, tendría que clasificarse como 100% de arcilla, a pesar de que el conjunto no presenta ninguna de las propiedades que definen el comportamiento de ese material. Por otra parte, un suelo de comportamiento típicamente arcilloso, dentro de límites apropiados de humedad, posiblemente no contenga más de un 20% de arcilla, según el criterio granulométrico. Así, los términos limo y arcilla se emplean únicamente para designar tipos de suelo, recurriendo a la mención específica de un tamaño de partícula cuando se requiera designar cierta fracción granulométrica.

Siempre que se cuente con suficiente número de puntos, la representación gráfica de la distribución granulométrica debe estimarse preferible a la numérica en tablas. Esta se dibujará con porcentajes como ordenadas y tamaños de las partículas como abscisas. Las ordenadas se refieren a porcentaje, en peso, de las partículas menores que el tamaño correspondiente. La representación en escala semilogarítmica (eje de las abscisas en escala logarítmica) resulta preferible a la simple representación natural, pues en la primera se dispone de mayor amplitud en los tamaños finos y muy finos, que en escala natural resultan muy comprimidos, usando un módulo práctico de escala.

La forma de la curva da inmediata idea de la distribución granulométrica del suelo; un suelo constituido por partículas de un solo tamaño, estará representado por una línea vertical (pues el 100% de sus partículas, en peso, es de menor tamaño que cualquiera mayor), que el suelo posea una curva muy tendida indica gran variedad en tamaños (suelo bien graduado).

La gráfica 1 que se presenta a continuación muestra algunas curvas granulométricas reales.



GRAFICA 1.- Curvas granulométricas de algunos suelos

- a) Arena bien graduada
- b) Suelo bien graduado
- c) Arcilla del Valle de México
- d) Arcilla del Valle de México

El cribado por mallas y el análisis de una suspensión del suelo con hidrómetro (densímetro) son dos métodos muy usuales para la separación de un suelo en diferentes fracciones, según sus tamaños.

El primero se usa para obtener las fracciones correspondientes a los tamaños mayores del suelo; generalmente llegando hasta el tamaño correspondiente a la malla No. 200 (0.074 mm.), haciendo pasar la muestra de suelo sucesivamente a través de un juego de tamices de aberturas descendentes hasta la malla No. 200; los retenidos en cada malla se pesan y el porcentaje que representan respecto al peso de la muestra total se suma a los porcentajes retenidos en todas las mallas de mayor tamaño; el complemento a 100% de esa cantidad da el porcentaje de suelo que es menor que el tamaño representado por la malla en cuestión. Así puede tenerse un punto de la curva acumulativa correspondiendo a cada abertura. El método se dificulta cuando estas aberturas son pequeñas y por ejemplo, el cribado a través de las mallas No. 100 (0.149 mm) y No. 200 (0.074 mm) suele requerir agua para ayudar al paso de la muestra (procedimiento de lavado).

Los tamaños menores del suelo exigen una investigación fundada en otros principios. El método del hidrómetro (densímetro) es hoy, quizá, el de uso más extendido. Este método se basa en el hecho de que la velocidad de sedimentación de partículas en un líquido es función de su tamaño.

APENDICE 4

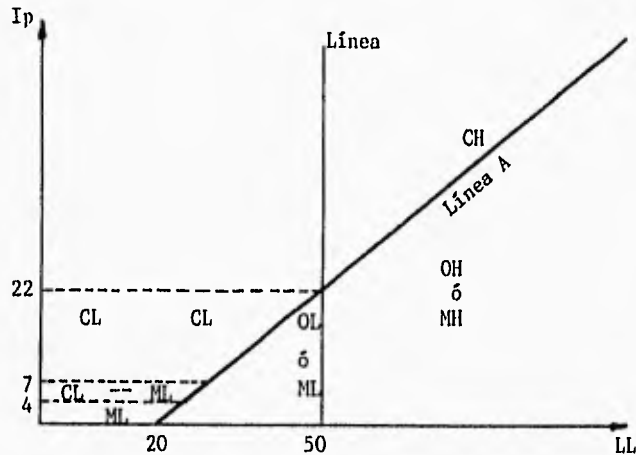
CLASIFICACION E IDENTIFICACION DE SUELOS

Un sistema de clasificación que pretenda cubrir las necesidades correspondientes de hoy en día, debe estar basado en las propiedades mecánicas de los suelos, por ser éstas lo fundamental para las aplicaciones ingenieriles y a la vez debe ser preponderantemente cualitativa, puesto que un sistema respecto a las propiedades mecánicas, resultaría, sin duda, excesivamente complicado y de engorrosa aplicación práctica; además un sistema útil debe de servir para normar el criterio del técnico respecto al suelo de que se trate, previamente a un conocimiento más profundo y extenso de las propiedades del mismo; de hecho, una de las más importantes funciones de un sistema sería proporcionar la máxima información normativa, a partir de la cual el técnico sepa en qué dirección profundizar su investigación.

Entre los diversos estudios tendientes a encontrar un sistema de clasificación que satisfaga los distintos campos de aplicación a mecánica de suelos, destacan los efectuados por el doctor A. Casagrande en la Universidad de Harvard, los cuales cristalizaron en el Sistema de Clasificación de Aeropuertos, llamado originalmente así, por estar orientado para uso en aquel tipo de obras. Este sistema reconoce que las propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos constituidos por partículas menores que la malla No. 200, pueden deducirse cualitativamente a partir de sus características de plasticidad. En cuanto a los suelos formados por partículas mayores que la malla mencionada, el criterio básico de clasificación es aún el granulométrico que, aunque no es lo determinante para el comportamiento de un material, sí puede usarse como base de clasificación en los materiales granulares.

Los suelos altamente orgánicos, usualmente fibrosos, tales como turbas y suelos pantanosos, extremadamente compresibles, forman un grupo independiente de símbolo Pt (del inglés peat; turba).

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos modificó la Carta de Plasticidad usada en el sistema de Aeropuertos, quedando de la siguiente manera:



CARTA DE PLASTICIDAD (De uso actual)

Grupos CL y CH.- En éstos, se encasillan las arcillas inorgánicas. El grupo CL comprende a la zona sobre la línea A, definida por $LL < 50\%$ e $Ip > 7\%$ y el grupo CH corresponde a la zona arriba de la línea A, definida por $LL > 50\%$. Las arcillas formadas por descomposición química de cenizas volcánicas, tales como la bentonita o la arcilla del Valle de México, con límites líquidos de hasta 500%, se encasillan en el grupo CH.

Grupos ML y MH.- EL grupo ML comprende la zona bajo la línea A, definida por $LL < 50\%$ y la porción sobre la línea A con $Ip < 4$. El grupo MH corresponde a la zona abajo de la línea A, definida por $LL > 50\%$.

En estos grupos quedan comprendidos los limos típicos inorgánicos y limos arcillosos. Los tipos comunes de limos inorgánicos y polvo de roca, con $LL < 30\%$, se localizan en el grupo ML. Los depósitos eólicos, del tipo de los Loess, con $25\% < LL < 35\%$ usualmente, caen también en este grupo.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, está basado en el de Aeropuertos y cubre los suelos gruesos y los finos, distinguiendo ambos por el cribado a través de la malla 200; las partículas gruesas son mayores que dicha malla y las finas, menores. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas son gruesas, y fino, si más de la mitad de sus partículas, en peso son finas.

A continuación se describen los diferentes grupos de suelos:

Suelos Gruesos.- El símbolo de cada grupo está formado por dos letras mayúsculas, que son los iniciales de los nombres ingleses de los suelos más típicos de ese grupo:

- a).- Gravas y suelos en que predominan éstas. Símbolo genérico G (gravel).
- b).- Arenas y suelos arenosos. Símbolo genérico S (sand).

Las gravas y las arenas se separan con la malla No 4, de manera que un suelo pertenece al grupo genérico G, si más del 50% de su fracción gruesa (retenida en la malla 200) no pasa la malla No. 4 y es del grupo genérico S, en caso contrario.

Las gravas y las arenas se subdividen en cuatro tipos:

- 1.- Material prácticamente limpio de finos, bien graduado. Símbolo W (well graded). En combinación con los símbolos genéricos, se obtienen los grupos GW y SW.
- 2.- Material prácticamente limpio de finos, mal graduado. Símbolo P (poorly graded). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GP y SP.
- 3.- Material con cantidad apreciable de finos no plásticos. Símbolo M (del sueco mo y mjala). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GM Y SM.
- 4.- Material con cantidad apreciable de finos plásticos. Símbolo C (clay). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GC y SC.

Grupos GW y SW.- Suelos bien graduados y con pocos finos o limpios por completo. La presencia de finos no debe producir cambios apreciables en las características de resistencia de la fracción gruesa, ni interferir con su capacidad de drenaje. Estos requisitos se garantizan en la práctica, especificando que en estos grupos el contenido de partículas finas no sea mayor de un 5%, en peso.

Grupos GP Y SP.- Suelos mal graduados, son de apariencia uniforme o presentan predominio de un tamaño o de un margen de tamaños, faltando algunos intermedios. Deben satisfacer el requisito de que su contenido de partículas finas no sea mayor de un 5%, en peso. Dentro de estos grupos están comprendidas las gravas uniformes, tales como las que se depositan en los lechos de los ríos, las arenas uniformes, de médanos y playas y las mezclas de gravas y arenas finas, provenientes de estratos diferentes obtenidas durante un proceso de excavación.

Grupos GM Y SM.- En éstos, el contenido de finos afecta las características de resistencia y esfuerzo-deformación y la capacidad de drenaje libre de la fracción gruesa; en la práctica se ha visto que esto ocurre para porcentajes de finos superiores a 12%, en peso, por lo que esa cantidad se toma como frontera inferior de dicho contenido de partículas finas. La plasticidad de los finos en estos grupos varía entre "nula" y "media"; es decir, es requisito que los límites de plasticidad localicen a la fracción que pase la malla No. 40 abajo de la Línea A o bien que su índice de plasticidad sea menor que 4.

Grupos GC Y SC.- También en estos suelos, el contenido de finos debe ser mayor que 12%, en peso, por las mismas razones que para los grupos GM y SM. Sin embargo, los finos son de media a alta plasticidad; es ahora requisito que los límites de plasticidad sitúen a la fracción que pase la malla No. 40 sobre la Línea A, teniéndose, además, la condición de que el índice plástico sea mayor que 7.

El Sistema Unificado considera casos de frontera a los suelos gruesos con contenido de finos comprendido entre 5% y 12%, adjudicándoles un símbolo doble. Por ejemplo, un símbolo GP-GC indica una grava mal graduada, con un contenido entre 5% y 12% de finos plásticos (arcillosos).

Cuando un material no cae claramente dentro de un grupo, deberán usarse también símbolos dobles, correspondientes a casos de frontera. Así, el símbolo GW-SW se usará para un material bien graduado, con menos de 5% de finos y formada su fracción gruesa por iguales proporciones de grava y arena.

Suelos finos.- También, el Sistema considera a los suelos agrupados, formándose el símbolo de cada grupo por dos letras mayúsculas, elegidas con un criterio similar al usado para los suelos gruesos, dando lugar a las siguientes divisiones:

a).- Limos inorgánicos, de símbolo genérico M (del suelo mo y mjala).

b).- Arcillas inorgánicas, de símbolo genérico C (clay)

C.- Limos y arcillas orgánicas, de símbolo genérico O (organic)

Cada uno de estos tres tipos de suelos se subdividen, según su límite líquido, en dos grupos. Si éste es menor de 50%, es decir, si son suelos de compresibilidad baja o media, se añade al símbolo genérico la letra L (low compresibility), obteniéndose por esta combinación los grupos ML, CL y OL. Los suelos finos con límite líquido mayor de 50%, o sea de alta compresibilidad, llevan tras el símbolo genérico la letra H (high compresibility), teniéndose así los grupos MH, CH y OH.

Las letras L y H no se refieren a baja o alta plasticidad, pues esta propiedad del suelo, como se ha dicho, ha de expresarse en función de dos parámetros (LL e Ip), mientras que en el caso actual sólo el valor del límite líquido interviene. Por otra parte, la compresibilidad de un suelo es una función directa del límite líquido, de modo que un suelo es más compresible a mayor límite líquido.

Los suelos finos que caen sobre la Línea A y con $4\% < I_p < 7\%$ se consideran como casos de frontera, asignándose el símbolo doble CL - ML.

Grupos OL y OH.- las zonas correspondientes a estos dos grupos son las mismas que las de los grupos ML y MH, respectivamente, si bien los orgánicos están siempre en lugares próximos a la Línea A.

Una pequeña adición de materia orgánica coloidal hace que el límite líquido de una arcilla inorgánica crezca, sin apreciable cambio de su índice plástico; esto hace que el suelo se desplace hacia la derecha en la carta de plasticidad, pasando a ocupar una posición más alejada de la Línea A.

Grupo Pt.- Las pruebas de límites pueden ejecutarse en la mayoría de los suelos turbosos, después de un completo remoldeo. EL límite líquido de estos suelos está entre 300% y 500%, quedando su posición en la Carta de Plasticidad netamente abajo de la Línea A; el índice plástico normalmente varía entre 100% y 200%.

Similarmenre al caso de los suelos gruesos, cuando un material fino no cae claramente en uno de los grupos, se usarán para él símbolos dobles de frontera. Por ejemplo, MH-CH representará un suelo fino con $LL > 50\%$ e índice plástico tal que el material quede situado prácticamente sobre la Línea A.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos no se concreta a ubicar al material dentro de uno de los grupos enumerados, sino que abarca, además, una descripción del mismo, tanto alterado como inalterado.

En los suelos gruesos, en general, deben proporcionarse los siguientes datos: nombre típico, porcentajes aproximados de grava y arena, tamaño máximo de las partículas, angulosidad y dureza de las mismas, características de su superficie, nombre local y geológico y cualquier otra información pertinente, de acuerdo con la aplicación ingenieril que se va a hacer del material.

En suelos gruesos en estado inalterado, se añadirán datos sobre estratificación, compacidad, cementación, condiciones de humedad y características de drenaje.

En los suelos finos, se proporcionarán, en general, los siguientes datos: nombre típico, grado y carácter de su plasticidad, cantidad y tamaño máximo de las partículas gruesas, color del suelo húmedo, olor, nombre local y geológico y cualquier otra información descriptiva pertinente, de acuerdo con la aplicación que se vaya a hacer del material.

Para estos suelos en estado inalterado, deberá agregarse información relativa a su estructura, estratificación, consistencia en los estados inalterado y remoldeado, condiciones de humedad y características de drenaje.

APENDICE 5

COMPACTACION DE LOS SUELOS

Por compactación de los suelos, debemos entender el mejoramiento artificial de sus propiedades mecánicas por medios mecánicos.

La importancia de la compactación de los suelos estriba en el aumento de resistencia y disminución de capacidad de deformación que se obtienen al ajustar el suelo a técnicas convenientes que aumentan su peso específico seco, disminuyendo sus vacíos. Las técnicas de compactación se aplican generalmente a rellenos artificiales, tales como cortinas de presas de tierra, diques, terraplenes para caminos y ferrocarriles, bordos de defensa, muelles, pavimentos, etc.

Los métodos usados para la compactación de los suelos dependen del tipo de los materiales que se trabaje en cada caso, así, los materiales puramente friccionantes, como la arena, se compactan eficientemente por métodos vibratorios, en tanto que en los suelos plásticos el procedimiento de carga estática resulta el más ventajoso. En la práctica, estas características se reflejan en los equipos disponibles para el trabajo, tales como plataformas vibratorias, rodillos lisos, neumáticos o "pata de cabra".

La eficiencia de cualquier equipo de compactación depende de varios factores y para poder analizar la influencia particular de cada uno, se requiere disponer de procedimientos estandarizados que reproduzcan en el laboratorio la compactación que se pueda lograr en el campo con el equipo disponible. De entre todos los factores que influyen en la compactación obtenida en un caso dado, podría decirse que dos son los más importantes: el contenido de agua del suelo, antes de iniciarse el proceso de compactación y la energía específica empleada en dicho proceso. Por energía específica se entiende la energía de compactación suministrada al suelo por unidad de volumen.

El establecimiento de una prueba simple de compactación en el laboratorio cubre, principalmente, dos finalidades. Por un lado disponer de muestras de suelo compactados teóricamente con las condiciones de campo, a fin de investigar sus propiedades mecánicas para conseguir datos firmes de proyecto; por otro lado, es necesario poder controlar el trabajo de campo, con vistas a tener la seguridad de que el equipo usado está trabajando efectivamente en las condiciones previstas en el proyecto.

La secuela práctica suele ser como sigue: cuando se va a realizar una obra en la que el suelo vaya a ser compactado se recaban muestras de los suelos que se usarán; en el laboratorio se sujetan esos suelos a distintas condiciones de compactación, hasta encontrar algunas que garanticen un proyecto seguro y que puedan lograrse económicamente con el equipo de campo existente; con el equipo de campo que vaya a usarse se reproducen las condiciones de laboratorio adoptadas para el proyecto (esto se hace construyendo y compactando en el campo un terraplén de prueba con el suelo a usar, en el que se ve el número de veces que deba pasar el equipo, el espesor de las capas de los suelos depositados para compactar, etc.). Finalmente, una vez iniciada la construcción, verificando la compactación lograda en el campo con muestras al azar tomadas del material compactado en la obra, se puede comprobar que en ésta se están satisfaciendo los requerimientos del proyecto.

Existen muchos métodos para reproducir, al menos teóricamente, en el laboratorio unas condiciones dadas de compactación de campo. Todos ellos pensados para estudiar, además, los distintos factores que gobiernan la compactación de los suelos. Históricamente el primer método en el sentido de la técnica actual, es el debido a R.R. Proctor y es conocido hoy como Prueba Proctor Estándar o A.A.S.H.O. Estándar. La prueba consiste en compactar el suelo en cuestión en tres capas, dentro de un molde de dimensiones y forma especificadas, por medio de golpes de un pisón, también especificado que se deja caer libremente desde una altura prefijada.

El molde es un cilindro de 0.94 lts. de capacidad aproximada (1/30 pie³), de 10.2 cm. (4") de diámetro y 11.7 cm (4.59") de altura, provisto de una extensión desmontable de igual diámetro y 5 cm (2") de altura. El molde puede fijarse a una base metálica con tornillos de mariposa.

El pisón es de 2,5 kg. (5.5 lb) de peso consta y de un vástago en cuyo extremo inferior hay un cilindro metálico de 5 cm (2") de diámetro. Los golpes se aplican dejando caer el pisón desde una altura de 30.5 cm (12").

Dentro del molde el suelo debe colocarse en tres capas que se compactan dando 25 golpes, repartidos en el área del cilindro, a cada una de ellas.

Con los datos anteriores la energía específica de compactación es de 6 kg cm/cm³ (12,300 lb pie/pie³), calculada con la fórmula:

$$E_e = \frac{N_n \cdot W_h}{V}$$

en donde :

E_e = Energía específica

N = Número de golpes por capa

n = Número de capas de suelo

W = Peso del pisón

h = Altura de caída libre del pisón

V = Volumen del suelo compactado

Los datos que determinan la energía específica en la prueba, fueron establecidos originalmente por Proctor como los adecuados para reproducir los pesos específicos secos que podían lograrse económicamente (es decir, con un número moderado de pasadas) con el equipo comercialmente disponible en aquella época.

Con este procedimiento de compactación, Proctor estudió la influencia que ejercía en el proceso el contenido inicial de agua del suelo, encontrando que tal valor era de fundamental importancia en la compactación lograda. En efecto, observó que a contenidos de humedad crecientes, a partir de valores bajos, se obtenían más pesos específicos secos y, por lo tanto, mejores compactaciones del suelo, pero que esta tendencia no se mantenía indefinidamente, sino que al pasar la humedad de un cierto valor, los pesos específicos secos obtenidos disminuían, resultando peores compactaciones en la muestra. Es decir, Proctor puso de manifiesto que, para un suelo dado y usando el procedimiento descrito, existe una humedad inicial, llamada la "óptima", que produce el máximo peso específico seco que puede lograrse con este procedimiento de compactación.

Esto puede explicarse, en términos generales, teniendo en cuenta que a bajos contenidos de agua, en los suelos finos, del tipo de los suelos arcillosos, el agua está en forma capilar produciendo compresiones entre las partículas constituyentes del suelo, lo cual tiende a formar grumos difícilmente desintegrables que dificultan la compactación. El aumento en contenido de agua disminuye esa tensión capilar en el agua haciendo que una misma energía de compactación produzca mejores resultados. Empero, si el contenido de agua es tal que haya exceso de agua libre, al grado de llenar casi los vacíos del suelo, ésta impide una buena compactación, puesto que no puede desplazarse instantáneamente bajo los impactos del pisón.

Debido al rápido desenvolvimiento del equipo de compactación de campo comercialmente disponible, la energía específica de compactación en la prueba Proctor Estándar empezó a no lograr representar en forma adecuada las compactaciones mayores que podían lograrse con dicho nuevo equipo. Esto condujo a una modificación de la prueba, aumentando la energía de compactación, de modo que conservando el número de golpes por capa se elevó el número de éstas de 3 a 5, aumentando al mismo tiempo el peso del pisón y la altura de caída del mismo. Las nuevas dimensiones son 4.5 kg (10 lb) y 45.7 cm (18") respectiva y aproximadamente. La energía específica de compactación es ahora de 27.2 kg. cm/cm³ (56,200 lb pie/pie³), sobre la base de que el molde utilizado es el mismo que en la Prueba Proctor Estándar. Obviamente el peso específico máximo obtenido con esta mayor energía de compactación resultará mayor que el obtenido en la Prueba Proctor Estándar y, consecuentemente, según la discusión precedente en torno al contenido inicial de agua, la nueva humedad óptima será ahora menor que en aquel caso. Esta prueba modificada es conocida como Prueba Proctor Modificada o A.A.S.H.O. Modificada. Por otra parte, con el objeto de estudiar más ampliamente el efecto de la energía de compactación sobre la compactación efectivamente lograda en el suelo, al mismo tiempo que por resultar de utilidad en casos en que sólo se disponga en el campo de equipo ligero, en algunos laboratorios se usa a veces la Prueba Proctor con un número de golpes de 15 por capa, disminuyendo así la energía específica de compactación a 3.6 kg cm/cm³ (7,400 lb pie/pie³). En este caso el peso específico seco máximo alcanzado en el suelo será menor y la humedad óptima requerida será mayor que en el caso de la prueba estándar.

Por lo antes expuesto debe considerarse que las Pruebas Proctor son aplicables únicamente a suelos finos plásticos o que, por lo menos, tengan una apreciable proporción de éstos.

APENDICE 6

DEFINICIONES

PLASTICIDAD.-

Es la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse. La plasticidad de los suelos se debe a la carga eléctrica de las partículas laminares, que generan campos, que actúan como condensadores e influyen en las moléculas bipolares del agua. La plasticidad de los suelos no es una propiedad permanente sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua.

ESTADOS DE CONSISTENCIA DE ATTERBERG.-

- 1).- Estado líquido.- Con las propiedades y apariencia de una suspensión.
- 2).- Estado semilíquido.- Con las propiedades de un fluido viscoso.
- 3).- Estado plástico.- En que el suelo se comporta plásticamente.
- 4).- Estado semisólido.- En el que el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto a secado.
- 5).- Estado sólido.- En que el volumen del suelo no varía con el secado.

LL. LIMITE LIQUIDO.-

Atterberg llamó límite líquido a la frontera convencional entre los estados semilíquido y plástico.

LP. LIMITE PLASTICO.-

Atterberg llamó límite plástico a la frontera convencional entre los estados plástico y semisólido.

LIMITES DE PLASTICIDAD.-

Se les llama límites de plasticidad a las fronteras que determinan los límites líquido y plástico que a su vez definen el intervalo plástico del suelo.

Ip. INDICE PLASTICO.-

Es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico : $I_p = LL - LP$

COMPACIDAD.-

Este término se refiere al grado de acomodo alcanzado por las partículas del suelo dejando más o menos vacíos entre ellas. En un suelo muy compacto, las partículas sólidas que lo constituyen, tienen un alto grado de acomodo y la capacidad de deformación bajo carga del conjunto será pequeña. En suelos poco compactos el grado de acomodo es menor; en ellos el volumen de vacíos y, por ende la capacidad de deformación, serán mayores.

BIBLIOGRAFIA :

1.- LA INGENIERIA DE LOS SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES. VOLUMEN 2.

Ing. Alfonso Rico Rodríguez e

Ing. Hermito del Castillo
1982

2.- TESIS PROFESIONAL DEL ING. JOSE ALBERTO P. DIAZ DORANTES, 1980.

3.- ESTRUCTURACION DE VIAS TERRESTRES

Ing. Fernando Olivera Bustamante
1986.

4.- SISTEMA DE SEGUIMIENTO DE LA CONSERVACION DE AUTOPISTAS CONCESIONADAS

Dirección General de Proyectos, Servicios Técnicos y Concesiones.
1994.

5.- MECANICA DE SUELOS TOMOS I Y II

Ing. Eulalio Juárez Badillo e

Ing. Alfonso Rico Rodríguez

1979