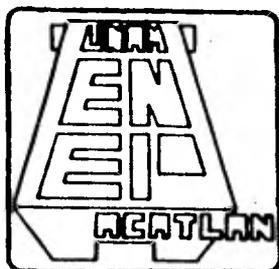


**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ACATLAN**



**“METODOS PARA LA RECONSTRUCCION DE CAMINOS”**

**BIBLIOTECA CENTRAL**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
I N G E N I E R O C I V I L  
**P R E S E N T A**  
**GREGORIO FIGUEROA FERNANDEZ**

ACATLAN, EDO. DE MEX.

1 9 8 2



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## MÉTODOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE CAMINOS

### INDICE.

Pág.

I.	INTRODUCCION. . . . .	1
II.	PRINCIPIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS. . . . .	5
II.1	Generalidades y Definiciones.	
II.2	Características y funciones de las dife rentes capas de un pavimento flexible.	
II.3	Importancia de las Terracerías en el di seño de pavimentos.	
II.4	VARIABLES que intervienen en el diseño de un pavimento flexible.	
II.5	Transmisión de los esfuerzos.	
II.6	Métodos de diseño de pavimentos flexibles.	
III.	TIPOS Y CAUSAS DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS. . . .	29
III.1	Falla funcional y falla estructural.	
III.2	Clasificación de los principales tipos de fallas que se presentan en los pavimen- tos, causas que las originan y formas co- mo se manifiestan.	
III.3	Identificación de las fallas.	

	Pág.
IV. EVALUACION DE LAS CONDICIONES DE UN CAMINO. . . .	49
IV.1 Importancia de la evaluación de pavimentos en caminos.	
IV.2 Evaluación del comportamiento de pavimen- tos en caminos.	
V. DISEÑO DE REFUERZO, REACONDICIONAMIENTO Y REHABI- LITACION. . . . .	72
V.1 Generalidades.	
V.2 Normas de criterio para definir el tipo de rehabilitación.	
V.3 Diseño de refuerzo.	
VI. SISTEMAS DE CONSTRUCCION, PRACTICAS USUALES Y NUE- VAS TECNICAS. . . . .	101
VI.1 Conceptos generales.	
VI.2 Mantenimiento tradicional de los pavimen- tos flexibles en nuestro país.	
VI.3 Criterios probables de reparación de fa- llas más comunes en pavimentos flexibles.	
VI.4 Procedimientos constructivos más usuales para la reconstrucción de pavimentos fle- xibles.	
VI.5 Nuevas técnicas constructivas y equipos aplicados para la reconstrucción de pavi- mentos flexibles.	

	Pág.
VII. EJEMPLO DE COMPARACION DE COSTOS ENTRE ALTERNATIVAS. . . . .	156
VII.1 Antecedentes.	
VII.2 Trabajos por ejecutar.	
VII.3 Análisis de Costos Directos.	
VIII. CONCLUSIONES. . . . .	197
REFERENCIAS. . . . .	205
BIBLIOGRAFIA. . . . .	206

= CAPITULO I =

INTRODUCCION.

## I. INTRODUCCION.

Por su aportación en las diversas actividades sociales, la Ingeniería ocupa un lugar muy importante en el desarrollo económico de los pueblos, debido a lo cual ésta se ha superado con el fin de aplicar la mejor técnica en las diferentes ramas que la forman, manifestándose por la evolución que ha tenido la civilización, merced a sus obras, lo que ha permitido el desarrollo económico, político y social de las comunidades.

Uno de los medios que utiliza el hombre para su desarrollo es el transporte, el cual se realiza por medio de vías de comunicación para poder transportar sus ideas, objetos o al mismo hombre.

Las carreteras o caminos son una vía de comunicación que se emplean para el transporte y, serán los métodos para la reconstrucción de caminos el tema que nos ocupará.

Para fines de este trabajo se definirá camino, carretera u obra vial al conjunto de instalaciones y construcciones efectuadas para permitir el fácil, cómodo y seguro tránsito de vehículos automotores del tipo de automóviles, autobuses y camiones; siendo el pavimento la superestructura del camino.

En este trabajo se dará énfasis a los pavimentos asfálticos o flexibles, ya que la gran mayoría de caminos que conforman la Red Nacional del país son de este tipo y además, el período de diseño de un pavimento flexible es menor que el de un pavimento rígido y por lo tanto requiere mayor conservación y reconstrucción.

El propósito fundamental es recopilar y analizar la información sobre los métodos recientes para la evaluación de caminos y criterios para su reconstrucción en caso necesario, así como también los procedimientos constructivos recomendables.

Primeramente, serán analizados los principios de diseño de pavimentos asfálticos; los tipos y causas de fallas de pavimentos y lo referente a la evaluación de las condiciones de un camino. Posteriormente, se indicará lo relacionado al diseño de refuerzo, reacondicionamiento y rehabilitación; sistemas de construcción, prácticas usuales y nuevas técnicas. Finalmente, se presenta un ejemplo de comparación de costos entre alterna-

tivas y las conclusiones extraídas del estudio.

    Mi deseo es que este trabajo coopere, aunque en mínima parte, al estudio de la reconstrucción de caminos y por lo tan to que sea un auxiliar o guía para el estudiante o ingeniero que se inicia en el estudio del tema.

= CAPITULO II =

PRINCIPIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS ASEALTICOS.

- II.1 GENERALIDADES Y DEFINICIONES.
- II.2 CARACTERISTICAS Y FUNCIONES DE LAS DIFERENTES CAPAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.
- II.3 IMPORTANCIA DE LAS TERRACERIAS EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS.
- II.4 VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.
- II.5 TRANSMISION DE LOS ESFUERZOS.
- II.6 METODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

## II. PRINCIPIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS.

### II.1 GENERALIDADES Y DEFINICIONES.

Por los datos que hasta ahora se han obtenido de evidencias históricas, la construcción de caminos y por consiguiente un mejoramiento en la superficie de éstos, es casi tan antigua como la historia del hombre.

Sin embargo, es evidente que el verdadero auge del pavimento nació con la aparición del automóvil, en primer lugar y más recientemente, con la llegada de la aviación.

Debido al creciente número de vehículos, mayor peso y velocidad, se ha tenido que mejorar las técnicas de construc

ción y realizar nuevas investigaciones para crear estructuras más resistentes al tránsito.

A continuación se presenta en forma muy general los elementos fundamentales que integran la estructura de una carretera, una aeropista o una calle en una ciudad:

1. Terreno natural o superficie de apoyo
2. Terracerías
3. Pavimento
  - 3.1 Pavimento rígido
  - 3.2 Pavimento flexible
4. Obras complementarias de drenaje superficial y subdrenaje.

Vease figuras II.1 y II.2.

1. Terreno natural o superficie de apoyo. Es la zona donde se apoya la obra vial, a la que previamente se la ha sometido a un ligero tratamiento. El comportamiento mecánico de esta superficie que representa el terreno de cimentación, es de vital importancia en el comportamiento futuro de la vía, debido a que una falla del terreno se verá reflejada en el comportamiento de toda la estructura.

2. Terracería. Por terracería se entiende al conjunto de cortes y/o terraplenes que dan forma a la obra vial. Las

terracerías incluyen la denominada capa subrasante; esta última capa, puede o no construirse, dependiendo de la calidad del cuerpo del terraplen o de la cama de los cortes. El nivel final de las terracerías está limitado por la línea subrasante.

Si el material del cuerpo del terraplen o de la cama de los cortes es de buena calidad, la capa subrasante estará formada por ese mismo material con tratamiento constructivo mejor, sobre todo en lo referente a compactación.

3. Pavimento. Capa o conjunto de capas de materiales adecuados, comprendida(s) entre el nivel superior de las terracerías (subrasante) y el nivel del camino terminado (rasante), cuya finalidad es proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito de vehículos, a la del intemperismo y a cualquier otro agente perjudicial.

Ahora bien, dividiremos los pavimentos en dos clases: rígidos y flexibles o asfálticos. Esta división, si bien es un tanto arbitraria, la hemos adoptado por ser la más conocida y generalizada. A continuación se define cada uno de estos pavimentos:

3.1 Pavimento flexible. Está formado por una carpeta asfáltica apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base. La calidad de los materiales que constitu

yen estas capas, por lo común va disminuyendo con la profundidad, congruentemente con los niveles de esfuerzos producidos por la acción del tránsito, que sigue una ley en ese mismo sentido.

La ubicación de cada una de las capas que integran el pavimento flexible se muestra esquemáticamente en el detalle "A" de la figura II.1.

3.2 Pavimento rígido. Los pavimentos rígidos son aquellos en los cuales la capa de rodamiento está formada por un elemento estructural (losa) de concreto hidráulico simple, reforzado o presforzado con recubrimiento bituminoso o sin él. La losa se apoya sobre la capa subrasante o sobre la sub-base que es una capa de material seleccionado, tal como se indica en el detalle "B" de la figura II.2.

4. Obras complementarias de drenaje superficial y subdrenaje. Son todas aquellas obras cuya finalidad consiste en que el agua superficial o subterránea que llegue o tienda a llegar a la estructura de la carretera, sea desalojada rápidamente o interceptada de manera adecuada, evitando con ello que se produzcan deterioros en dicha estructura y que se afecte en su buen funcionamiento o duración.

Las obras de drenaje y subdrenaje son uno de los factores que más influyen en el comportamiento de los caminos, ya que en su gran mayoría, el agua es la causa principal de falla.

yen estas capas, por lo común va disminuyendo con la profundidad, congruentemente con los niveles de esfuerzos producidos por la acción del tránsito, que sigue una ley en ese mismo sentido.

La ubicación de cada una de las capas que integran el pavimento flexible se muestra esquemáticamente en el detalle "A" de la figura II.1.

3.2 Pavimento rígido. Los pavimentos rígidos son aquellos en los cuales la capa de rodamiento está formada por un elemento estructural (losa) de concreto hidráulico simple, reforzado o presforzado con recubrimiento bituminoso o sin él. La losa se apoya sobre la capa subrasante o sobre la sub-base que es una capa de material seleccionado, tal como se indica en el detalle "B" de la figura II.2.

4. Obras complementarias de drenaje superficial y subdrenaje. Son todas aquellas obras cuya finalidad consiste en que el agua superficial o subterránea que llegue o tienda a llegar a la estructura de la carretera, sea desalojada rápidamente o interceptada de manera adecuada, evitando con ello que se produzcan deterioros en dicha estructura y que se afecte en su buen funcionamiento o duración.

Las obras de drenaje y subdrenaje son uno de los factores que más influyen en el comportamiento de los caminos, ya que en su gran mayoría, el agua es la causa principal de falla.

## II.2 CARACTERISTICAS Y FUNCIONES DE LAS DIFERENTES CAPAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.

Se abordará ahora el sistema con que típicamente se estructuran la mayor parte de los pavimentos flexibles que se construyen en la actualidad y de señalar las funciones que se le asignan a cada una de las diversas capas.

### II.2.1 SUB-BASE.

a) Definición: Es la capa de materiales seleccionados, comprendida entre la subrasante y la base.

b) Funciones:

- 1) Transmitir los esfuerzos a la capa subrasante en forma conveniente.
- 2) Constituir una transición entre los materiales de base y de la capa subrasante, de modo tal que evite la contaminación y la interpenetración de dichos materiales.
- 3) Disminuir efectos perjudiciales en el pavimento, ocasionados por cambios volumétricos y rebote elástico del material de las terracerías o del terreno de cimentación.

- 4) Reducir el costo del pavimento, ya que es una capa que por estar bajo la base queda sujeta a menores esfuerzos y requiere especificaciones menos rígidas, mismas que pueden satisfacerse normalmente con un material más barato que el de la base.
- 5) Contribuir en algunos casos al drenaje de la carretera.

#### II.2.2. BASE.

- a) Definición: Es la capa de materiales seleccionados que se construye sobre la sub-base y ocasionalmente sobre la subrasante, limitada en la parte superior por la carpeta.
- b) Funciones:
  - 1) Soportar apropiadamente las cargas transmitidas por los vehículos a través de la carpeta y distribuir los esfuerzos a la sub-base o a la capa subrasante, de tal forma que no le produzca deformaciones perjudiciales.
  - 2) Contribuir también en algunos casos al drenaje de la carretera.

### II.2.3. CARPETA ASFALTICA.

a) Definición: Capa o conjunto de capas que se colocan sobre la base, constituídas por material pétreo y un producto asfáltico.

Las carpetas asfálticas se clasifican en tres grupos:

- 1) Carpetas asfálticas por el sistema de riegos. Capas sucesivas de riegos de asfalto, cubiertas cada una de ellas con materiales pétreos graduados. Estas pueden ser de uno, dos o tres riegos.
- 2) Carpetas asfálticas por el sistema de mezcla en el lugar. Mezclas de materiales pétreos y productos asfálticos, elaboradas en el lugar con motoconformadora o planta móvil.
- 3) Carpetas de concreto asfáltico. Mezclas de materiales pétreos y cementos asfálticos, elaboradas en planta estacionaria.

b) Función:

Proporcionar al tránsito una superficie estable, prácticamente impermeable, uniforme y de textura apropiada. Cuando se coloca en espesores de cinco (5) centímetros o más, se

considera que contribuye, junto con las otras capas del pavimento, a soportar las cargas y distribuir los esfuerzos.

Las especificaciones que deben cumplir los materiales a usarse en las capas de sub-base, base y carpeta se describen detalladamente en la Referencia 1.

### II.3. IMPORTANCIA DE LAS TERRACERIAS EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS.

El comportamiento estructural de una carretera no puede circunscribirse a unos cuantos centímetros superiores o a unas cuantas capas situadas sobre las demás. Evidentemente ese comportamiento se fragua en toda la sección, contando desde el terreno de cimentación a la carpeta; es posible que en cuanto a las fallas observadas en pavimentos, hayan ocurrido tantas por mala terracería como por mala base y que las condiciones del terreno de cimentación pueden ser determinantes en muchos casos.

Actualmente, el terreno de cimentación y la terracería se tratan con bastante independencia del requerimiento estructural, de manera que todos los parámetros que definen dicho comportamiento estructural quedan sin ser controlados; no es pues extraño que, en el momento en que se solicita una respuesta estructural, dicha respuesta sea impredecible. Hoy se considera metodológicamente hablando, que la responsabili

dad de la respuesta estructural de la sección está únicamente en las capas de sub-base, base y carpeta a las que se llama PAVIMENTO.

El establecimiento del comportamiento conjunto de la terracería con la estructura del pavimento ha sido objeto de relativa poca atención en el pasado y existe poco escrito sobre él en la literatura especializada. De algunos hechos experimentales pueden extraerse los siguientes conceptos (Ref.2):

1. La deformabilidad parece ser el requisito básico para la aceptación o rechazo de un material de terracería y también el que condiciona su buen comportamiento como soporte de un buen pavimento. Desde este punto de vista serán fundamentales todos los conceptos que contribuyen a que el material de terracería sea poco deformable. Entre estos, la calidad de los materiales juega un papel importante, sobre todo en los casos extremos, que corresponden a los materiales que tienen predominio de los tamaños más pequeños que es posible encontrar en los suelos.

Las especificaciones generales que deben cumplir los materiales a usarse en la TERRACERIA se describen detalladamente en la Referencia 1.

Una terracería deformable obligará al uso de pavimentos de espesor considerable, que logren que los esfuerzos trans-

mitidos lleguen a niveles suficientemente bajos, por lo que plantea una disyuntiva muy clara; si la deformabilidad se toma en cuenta en el diseño del pavimento, éste será antieconómico; si la deformabilidad no se toma suficientemente en cuenta en el diseño del pavimento, nunca se tendrá un pavimento con buen comportamiento en ese lugar por mejor que se conserve y por mucho que se reconstruya.

2. La resistencia de los suelos al esfuerzo cortante no es requisito fundamental en las terracerías; los niveles de esfuerzo que a ellas llegan quedan siempre por debajo de la capacidad de carga de la terracería.

3. La acción climática ha sido frecuentemente mencionada como un punto fundamental a cuidar para tener una terracería que tenga un buen comportamiento como apoyo de un pavimento.

Con el objeto de valorar la resistencia del conjunto pavimento-terracería y su variación con la estación del año, para poner de manifiesto la influencia climática, el Instituto de Ingeniería (Ref.2), con patrocinio de la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP), antes Secretaría de Obras Públicas (SOP), realizó un estudio a gran escala en un total de 52 secciones seleccionadas en Carreteras de México con un pavimento que comprende una carpeta asfáltica.

La información que proporciona la figura II.3 se obtuvo de los resultados logrados en el estudio de las 52 secciones, y la conclusión de este estudio es una de dos; o la deflexión en la superficie del pavimento no es un criterio para juzgar la condición estructural de un sistema pavimento-terracería, afirmación que estaría en contradicción con toda la experimentación moderna, especialmente con los estudios de valuación de pavimentos construidos; o, la acción climática sobre el comportamiento estructural del conjunto pavimento-terracería se ha exagerado en el pasado.

Es posible que esta conclusión haya de ser limitada en parte a la situación de México, país en el que las variaciones estacionales no son muy severas en general y que el efecto estacional resulte mucho más acusado en otras latitudes, sobre todo en los países en que la acción del clima incluya efectos de congelamiento y deshielo.

Los resultados finales del estudio también se obtuvieron, en una investigación similar, en Australia midiendo las deflexiones con viga Benkelman, por lo que permiten sostener la información antes citada y además, sugerir que quizá la "acción climática" es demasiado amplia para expresar el importante efecto que tiene el contenido de agua de los materiales sobre la resistencia estructural de los pavimentos; este efecto incluye muy particularmente, el agua contenida en la terracería propiamente dicha y la capa subrasante. Así, seguramen-

te no debe pensarse tanto en una acción general del clima, si no en la necesidad específica de proteger con el subdrenaje adecuado el tramo de la carretera en el que condiciones especiales de saturación sean de temer. Naturalmente que la acción climática en un sentido más general puede influir en otros problemas conectados con la tecnología de pavimentos, tales como la aparición de grietas, en el que la acción solar juega un papel importante. La descripción de grietas se señala con más detalle en párrafos posteriores.

La correspondencia entre las curvas que aparecen en la figura II.4 ejemplifica la importancia práctica de las fluctuaciones del nivel freático en un lugar determinado y hacer ver la importancia del subdrenaje que controle tales fluctuaciones, manteniendo el contenido de agua en la subrasante en un valor poco variable.

#### II.4 VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.

El comportamiento de un pavimento flexible depende de las características de cada capa así como de su interacción; incluyendo las capas inferiores, o sea, la capa subrasante, el cuerpo del terraplen y el suelo de cimentación.

Las variables que intervienen en el diseño de un pavimento flexible puede clasificarse en tres categorías:

1) Variables estructurales. Son todas aquellas que incluyen las características de cada una de las capas que constituyen el camino, tales como espesores, resistencia y deformabilidad en las condiciones esperadas de servicio.

2) Variables de carga. Comprende los efectos producidos por el tránsito de vehículos al circular sobre la estructura. En este renglón son de suma importancia los datos estadísticos de: tránsito medio anual, tasa de crecimiento anual, cargas por eje sencillo o tándem, histograma de la distribución del tránsito en la sección transversal de la carretera, y vida de proyecto del pavimento antes de efectuarle una reparación por falla prevista de éste.

3) Variables de clima y condiciones regionales. Incluye factores como: temperatura, régimen de precipitación, precipitación media anual, nivel freático, geología y topografía de la región.

Las variables de diseño deben relacionarse de tal manera que al final de la vida de proyecto del pavimento se obtenga un comportamiento razonable de acuerdo al mismo.

## II.5 TRANSMISION DE LOS ESFUERZOS.

Un pavimento tiene como función estructural la de transmitir adecuadamente los esfuerzos a la subrasante, esto se lo

gra colocando una capa de material que se encargue de distribuir los esfuerzos de tal modo que a la subrasante lleguen en niveles tolerables, que no produzcan falla, ni asentamientos u otras deformaciones perjudiciales. En los pavimentos flexibles esta capa está formada por la base y la sub-base, las cuales están formadas por materiales friccionantes, ya que son los más adecuados para cumplir dicha función estructural.

Los esfuerzos producidos por las cargas del tránsito se analizan actualmente, haciendo uso de la Teoría de Boussinesq y la de Burmister. Al aplicar la Teoría de Boussinesq se utiliza en pavimentos la condición de área circular uniformemente cargada, representando el contacto entre la llanta y la superficie de rodamiento, aunque en realidad la distribución de la carga es sobre una área elíptica.

Al aplicar la teoría de Boussinesq se hace la consideración de que el pavimento es un material ideal, perfectamente elástico y homogéneo, y que obedece la ley de Hooke.

La Teoría de Burmister estudia el problema de la distribución de esfuerzos y desplazamientos en un sistema no homogéneo formado por dos capas, cada una de ellas homogénea, isotrópica y linealmente elástica.

La primera capa es infinita horizontalmente, pero tiene espesor finito. La segunda capa, subyacente a la anterior, es semi-infinita. Sus fronteras son planas, en contacto continuo y perfectamente rugosas.

Como puede observarse, esta Teoría tiene aplicación práctica en el diseño de pavimentos, pero aún así es más utilizada la Teoría de Boussinesq debido a la experiencia de muchos años de haberla aplicado satisfactoriamente.

Se han podido obtener, aplicando las teorías mencionadas, algunos resultados de la transmisión de los esfuerzos verticales en el interior del pavimento para casos como los siguientes:

a) Dos llantas, con la misma presión de inflado y que transmiten cargas diferentes, la de mayor carga produce esfuerzos a mayor profundidad que la otra.

b) Dos llantas con la misma carga, pero diferente presión de inflado, los esfuerzos son distintos en la zona próxima a la superficie, pero tienden a igualarse con la profundidad.

El esfuerzo transmitido por cualquier llanta en zonas muy próximas al apoyo de la misma se considera siempre igual a la presión de inflado despreciando los efectos de la deformación y redistribución de esfuerzos en la propia llanta. También aplicando estas Teorías se ha comprobado que el efecto de una sola llanta de una cierta carga es prácticamente el mismo, en lo que se refiere a esfuerzos verticales transmitidos, como el de un arreglo de doble llanta, cada una de las cuales soporta la misma carga que la rueda simple.

## II.6 METODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

El presente trabajo no tiene como finalidad hacer una recopilación de todos y cada uno de los métodos existentes o que se utilizan en el diseño de pavimentos flexibles. Tales métodos se usan en diferentes partes del mundo con distintas variantes locales.

Las Universidades, Departamentos Viales e Instituciones que realizan constantemente investigaciones sobre nuevos métodos para el diseño de pavimentos flexibles, aún no han alcanzado uniformidad en los métodos a seguir para el cálculo de pavimentos. Por ejemplo, en Estados Unidos de Norteamérica, generalmente cada Estado tiene un método y especificaciones particulares, esto se refleja a nivel mundial en donde cada país adopta los métodos de aplicación práctica que le son más satisfactorios, según las condiciones locales.

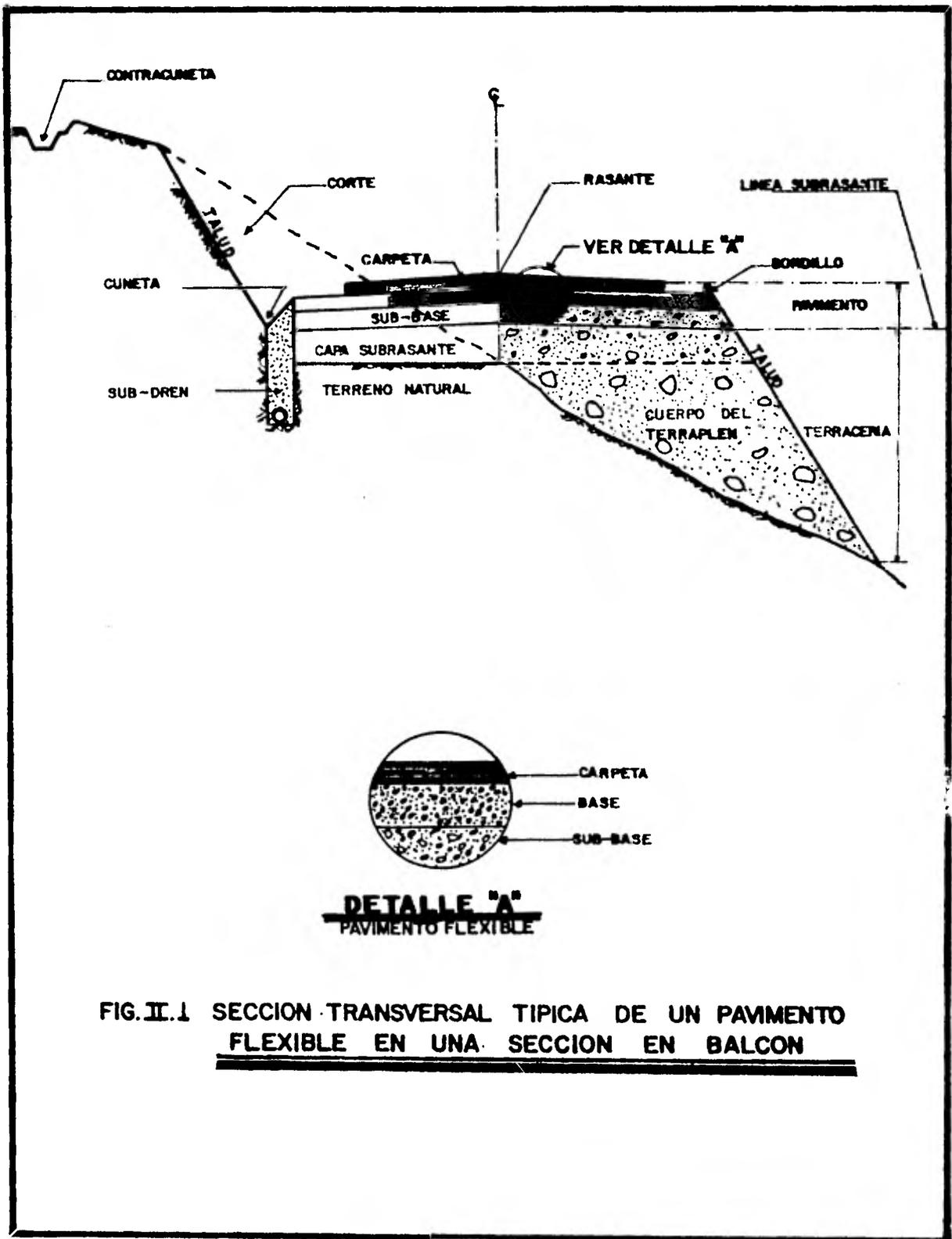
La mayor parte de los métodos de diseño de espesores tienen como base una prueba de laboratorio o un conjunto de pruebas, que se supone sirven como índice para representar el comportamiento real de los pavimentos por medio de algunas correlaciones o conjunto de correlaciones más o menos razonables y seguras, que deben de existir entre el comportamiento de los materiales en el laboratorio y en la estructura.

En general, los métodos de diseño de un pavimento flexi-  
ble para un camino son:

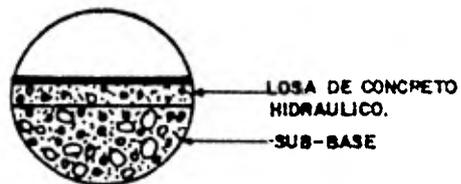
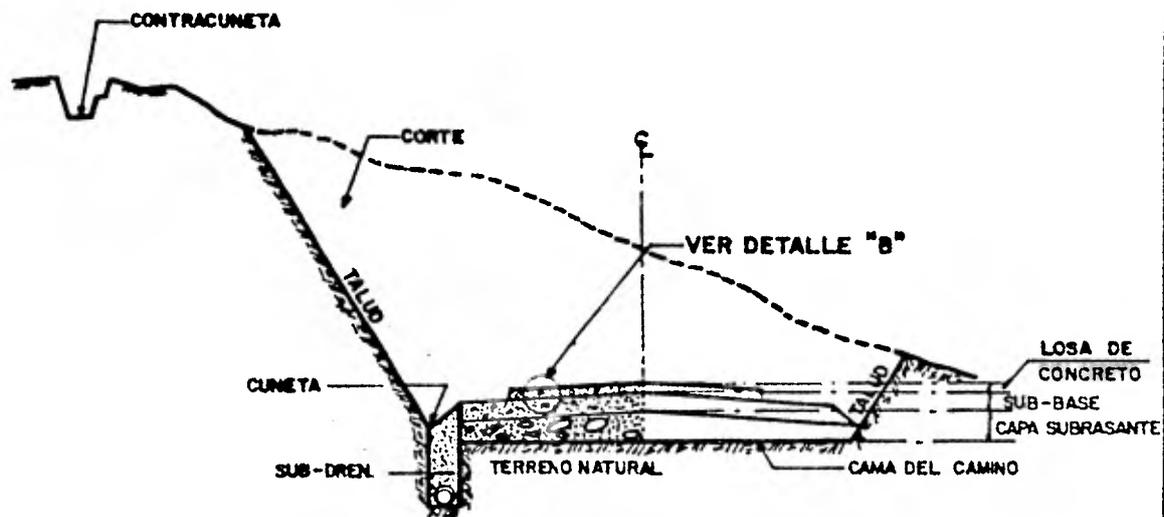
1. Métodos que parten de consideraciones teóricas y semi-teóricas, utilizando valores de correlación:
  - Método de Kansas.
  - Método de Texas.
  - Método de Hveem.
  
2. Procedimientos empíricos basados en una prueba convencional, tal como la del Valor Relativo de Soporte (VRS o CBR):
  - Cuerpo de Ingenieros EUA.
  - Road Research Laboratory.
  - Wyoming, Kentucky.
  - SAHOP (antes SOP).
  
3. Métodos basados en pruebas de clasificación de los suelos:
  - Índice de grupo.
  
4. Métodos con base en criterios obtenidos del tramo de Prueba AASHO:
  - Shook-Finn.
  - Bureau of Public Works.
  - Instituto de Ingeniería, UNAM.

Los métodos que se aplican más en México para el cálculo de los espesores de las diferentes capas que conforman el pavimento flexible son: el de la Secretaría de Obras Públi-

cas (SOP), actualmente llamada Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP) y el del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

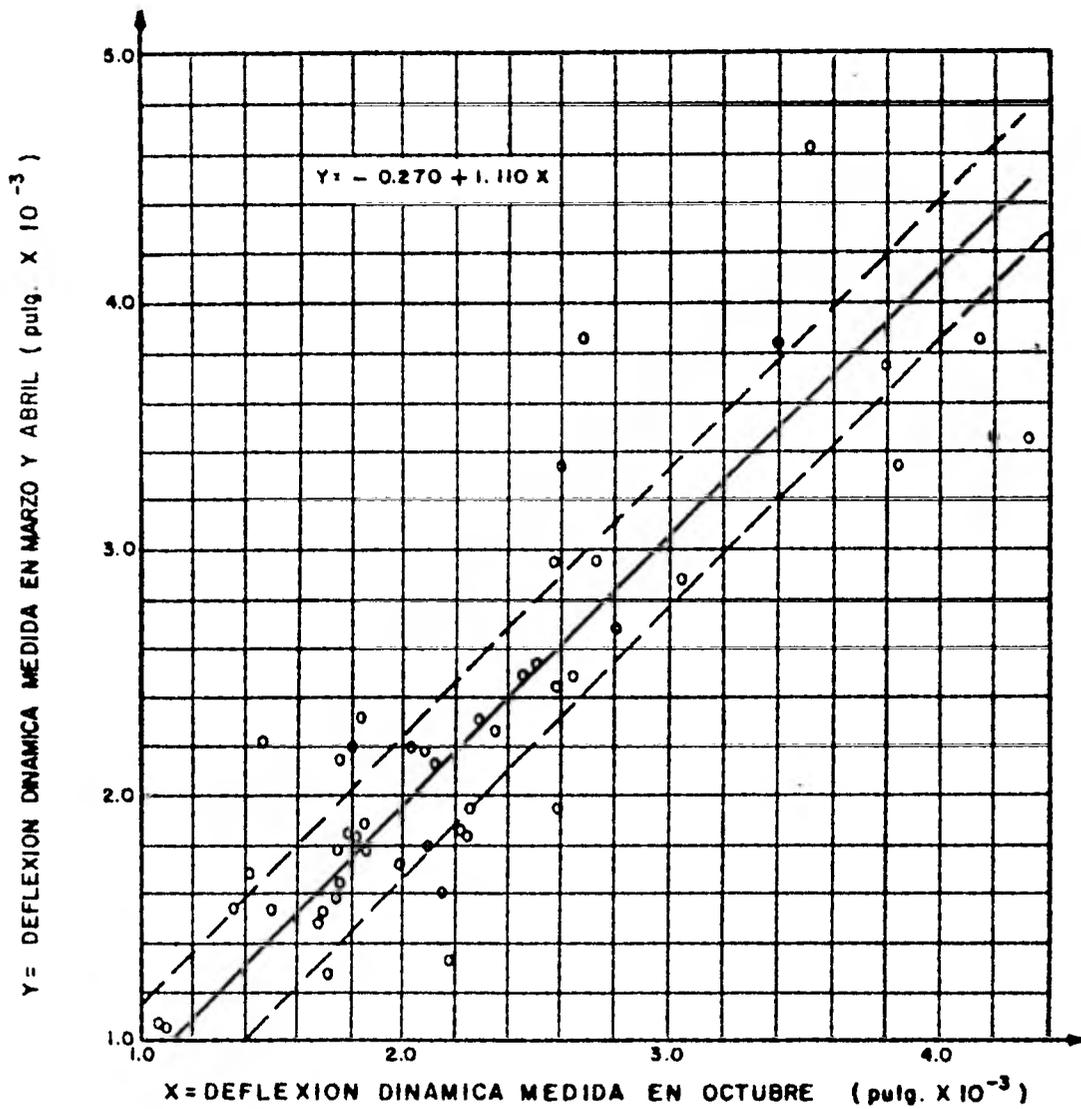


**FIG. II.1 SECCION TRANSVERSAL TIPICA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE EN UNA SECCION EN BALCON**



**DETALLE "B"**  
**PAVIMENTO RIGIDO**

**FIG. II. 2. SECCION TRANSVERSAL TIPICA DE UN PAVIMENTO RIGIDO EN UNA SECCION EN CORTE.**



**FIG. II.3 CORRELACION ENTRE DOS SERIES DE MEDICIONES CON EQUIPO DYNAFLECT EN 52 SECCIONES SELECCIONADAS EN CARRETERAS DE MEXICO (Ref. 2).**

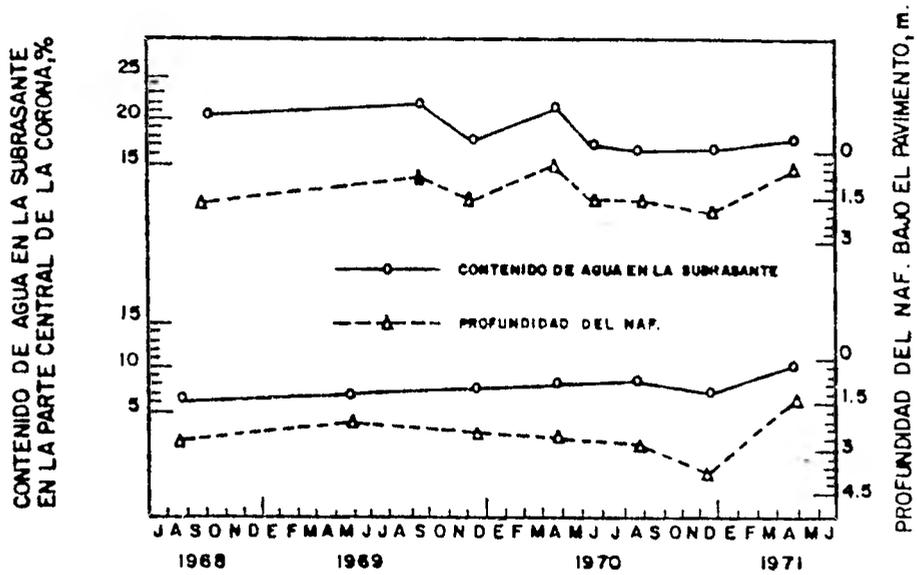


FIG. II.4 VARIACIONES DEL CONTENIDO DE AGUA EN LA SUBRASANTE CUANDO VARIA LA POSICION DEL NAF.

= CAPITULO III =

TIPOS Y CAUSAS DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS.

III.1 FALLA FUNCIONAL Y FALLA ESTRUCTURAL.

III.2 CLASIFICACION DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE FALLAS QUE SE PRESENTAN EN LOS PAVIMENTOS, CAUSAS QUE LAS ORIGINAN Y FORMAS COMO SE MANIFIESTAN.

III.3 IDENTIFICACION DE LAS FALLAS.

### III. TIPOS Y CAUSAS DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS.

En el presente capítulo se tiene como finalidad el tratar de definir en qué consiste la falla de un pavimento, los tipo de fallas que existen y las causas que las originan e indicar la relación que hay entre las variables de diseño (tránsito, clima, materiales, etc.) con el comportamiento del propio pavimento.

Debido a que la función básica de un pavimento consiste en permitir el fácil, comodo y seguro tránsito de vehículos automotores del tipo de automóviles, autobuses y camiones, la mayor parte de la tecnología que el ingeniero de pavimenu

tos ha ido desarrollando tiene por objeto evitar la aparición de todo un conjunto de deterioros y fallas que no permiten que el pavimento cumpla con su función principal.

En la actualidad no existe una terminología única para la descripción de una falla; éste concepto tiene mucho de personal y puede variar de un lugar a otro, de un país a su vecino o de una organización a otra. Así por ejemplo, es común que la palabra FALLA se utilice para verdaderos colapsos o desastres locales, como para describir deterioros simples o lugares de posible evolución futura desfavorable. En el presente trabajo se utilizará el criterio de la AASHO (American Association of States Highways Officials) para definir este concepto.

Según el criterio de la AASHO, FALLA es la condición que se presenta en un pavimento cuando éste llega a perder las características de servicio para las que fue diseñado (Ref.3).

Se adoptó el concepto de "índice de servicio actual", para representar la capacidad de un pavimento para dar servicio al tránsito en un momento dado, de tal manera que el comportamiento de un pavimento puede representarse por su historia de índice de servicio, contra aplicaciones de cargas equivalentes o contra sus años de servicio.

En los capítulos siguientes se hablará con detalle lo referente al "índice de servicio actual" y "calificación actual" y su diferencia, por lo que solo aquí se mencionan los concep

tos generales.

El "índice de servicio actual" y la "calificación actual" son numéricamente iguales y se estima en función del estado físico de la superficie de rodamiento la que los técnicos califican de acuerdo a los baches, deformaciones y grietas que presente, o bien con la opinión de los usuarios. Este índice se califica en escala de 0 a 5 y se acepta en caminos de primer orden que este valor sea de 2.5 (nivel de rechazo) para considerárseles en condiciones aceptables; para caminos secundarios esta condición se tiene con calificación de 2.

### III.1 FALLA FUNCIONAL Y FALLA ESTRUCTURAL.

Al estudiar el comportamiento de un pavimento, es necesario hacer la distinción entre lo que es una falla funcional y una falla estructural.

La falla funcional es aquella que tienen los caminos cuando las deformaciones superficiales del pavimento, a las que se asocia precisamente el índice de servicio, son mayores a las tolerables, de acuerdo con el tipo de camino del cual se trate; ya que se puede tener una superficie de rodamiento con deficiencias, que son aceptables para caminos secundarios, pero que puede considerarse inconveniente para autopistas (Ref.3). La falla funcional no necesariamente implica una falla estructural inmediata.

La falla estructural implica la incapacidad del pavimento para resistir los efectos de las cargas aplicadas, en tanto que la falla funcional se traduce en una incomodidad para el usuario.

Los dos (2) tipos de fallas no están necesariamente relacionados, pero puede establecerse que cuando se presenta una falla estructural, también ocurrirá en un plazo más o menos corto, la falla funcional. En ocasiones una falla funcional que no es atendida a su debido tiempo, puede también conducir a una falla estructural.

En la figura III.1 se muestra gráficamente la diferencia entre los dos tipos de falla, observando las variaciones que experimenta el índice de servicio o calificación de dos (2) pavimentos, a través de las repeticiones de carga que ha soportado.

### III.2 CLASIFICACION DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE FALLAS QUE SE PRESENTAN EN LOS PAVIMENTOS, CAUSAS QUE LAS ORIGINAN Y FORMAS COMO SE MANIFIESTAN.

Las fallas funcionales o estructurales de un pavimento flexible se manifiestan de muy diversas maneras, pero se pueden clasificar en tres (3) grandes grupos: DISTORSIONES (cambios en la superficie o nivel original del pavimento), AGRIETAMIENTOS Y DESINTEGRACIONES. En el CUADRO No. 1 se resumen estos tipos de fallas.

Las fallas en los pavimentos las originan las acciones que ejercen directa o indirectamente sobre ellos los factores siguientes:

- A) La repetición de las cargas.
- B) Los agentes del clima.
- C) El peso propio de las capas que constituyen la estructura conjunta de la obra.

Las fallas se producen o se inician en los puntos débiles o deficientes de alguna de las cuatro (4) partes fundamentales de la estructura general de la carretera, calle o pista de aeropuerto indicadas en el segundo capítulo, los cuales no pueden soportar eficientemente los efectos destructivos de alguno o varios de los factores señalados anteriormente, siendo a su vez, esas zonas potenciales de falla, la consecuencia de diseños inadecuados, mala calidad de los materiales utilizados, procedimientos de construcción defectuosos, falta de conservación eficaz y oportuna, etc.; de tal manera que las fallas en los pavimentos pueden tener su origen en el terreno de cimentación, en las terracerías, en las obras de drenaje o en los elementos constitutivos del propio pavimento. En el CUADRO No. 2 se presentan en forma muy resumida las causas que originan fallas en los pavimentos flexibles y que no son atribuibles directamente a los elementos que integran la estructura de dichos pavimentos.

En el CUADRO No. 3 se presentan las causas de fallas en los pavimentos flexibles que sí tienen su origen en los mismos y de las cuales se ha hecho una descripción tomando en cuenta cada una de las distintas capas que los constituyen. La manifestación de estas fallas en la superficie del pavimento puede ser muy diversa, pero corresponderán a alguno o algunos de los tipos señalados en el CUADRO No. 1.

### III.3 IDENTIFICACION DE LAS FALLAS.

La IDENTIFICACION de una falla, consiste en definir su tipo y la causa que la ha producido, a veces es una cosa relativamente sencilla y obvia para personas experimentadas en el ramo de la construcción de carreteras. En otros casos puede requerirse llevar a cabo un reconocimiento completo de la zona fallada, que abarque las distintas partes fundamentales que forman la estructura de la obra y hacer una serie de estudios y sondeos, recabar antecedentes de la construcción etc., para estar en condiciones de definir el origen de los deterioros y corregirlos oportunamente, no estando por demás recalcar aquí que es muy importante tratar siempre de subsanar completamente la deficiencia que está ocasionando las fallas, para corregir el problema de raíz y que no vuelva a presentarse en el mismo sitio, pues es común que se efectúen solamente arreglos provisionales o paliativos superficiales en la zona o subtramo fallado y se deje sin re-

resolver definitivamente el problema, atacándolo desde sus orígenes, con lo cual muchas veces los desperfectos progresan rápidamente y después resulta bastante más costosa la reparación.

En el CUADRO No. 4, se presentan ejemplos sobre tipos de fallas comunes en pavimentos flexibles y la identificación de estas fallas.

Cabe señalar que, en capítulos posteriores se indicarán los criterios probables de reparación para los diferentes tipos de fallas.

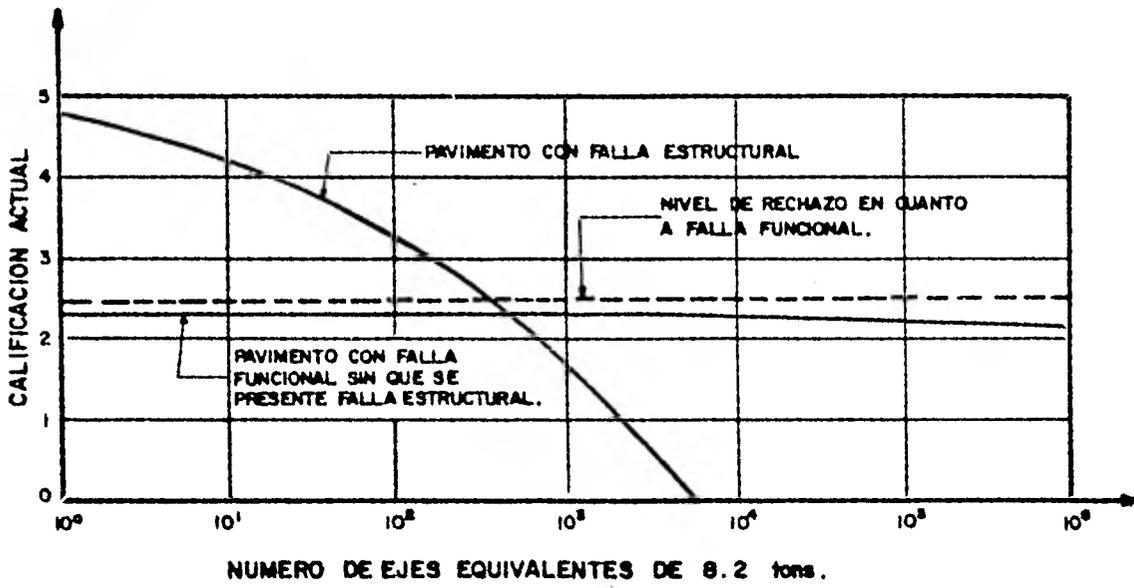


FIG. III. I. DIFERENCIA ENTRE FALLA FUNCIONAL Y FALLA ESTRUCTURAL.

## C U A D R O 1.

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

TIPOS DE FALLAS	FORMAS COMO SE MANIFIESTAN EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.
I.- DISTORSIONES	<p>Baches.            Asentamientos.            Ondulaciones.            Corrugaciones de la carpeta.            Desplazamientos o corrimientos de la carpeta.            Levantamientos del pavimento o bufamientos.            Rodadas marcadas en la carpeta.            Surcos.            Depresiones en zanjas no bien rellenadas.</p>
II.- AGRIETAMIENTOS	<p>Grietas longitudinales en las orillas o en el centro.            Grietas transversales por reflexión o por contracción.            Grietas en forma de mapa o de piel de cocodrilo, limitando piezas pequeñas de carpeta (10 a 40 cm de lado) o piezas grandes (más de 40 cm).            Grietas por corrimientos de la carpeta.            Grietas parabólicas en la carpeta (zonas de desaceleración).</p>
III.- DESINTEGRACIONES	<p>Desprendimientos del material pétreo de la carpeta o del riego de sello.            Desprendimiento de la película de <u>asfalto</u> del material pétreo.            Desprendimientos de la carpeta, como <u>capa</u>.            Rompimientos de las partículas del <u>material pétreo</u>, que propician su <u>desprendimiento</u>.</p>
IV.- DEFECTOS VARIOS	<p>Superficies lisas o derrapantes (afloramientos de <u>asfalto</u> o materiales que se pulen fácilmente).            Zonas con <u>asfalto</u> descubierto en <u>carpetas</u> de riegos o en riegos de sello (<u>desprendimientos</u> del material pétreo o ausencia original de éste).            Superficies "rayadas" en <u>carpetas</u> de riegos o en riegos de sello (falta de uniones correctas entre las fajas de riego o deficiencias en la aplicación del <u>asfalto</u>).</p>

C U A D R O 2.

CAUSAS QUE ORIGINAN FALLAS EN LOS PAVIMENTOS Y QUE NO PROVIENEN DIRECTAMENTE DE ESTOS.

PARTE FUNDAMENTAL DE LA OBRA EN QUE SE ORIGINAN LAS FALLAS.	MOTIVOS DE LAS FALLAS				
I.- TERRENO DE CIMENTACION	<p>Mala calidad del material (suelos orgánicos, suelos expansivos, suelos resilientes, etc.), asociada a variaciones en el contenido de agua, que producen cambios volumétricos perjudiciales.</p> <p>Baja capacidad de carga o falta de compactación del suelo.</p>				
II.- TERRACERIAS	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="551 835 742 1272">CORTES</td> <td data-bbox="742 835 1316 1272"> <p>Inestabilidad de los materiales de los taludes, que producen deslizamientos o derrumbes sobre el pavimento (por mala calidad del material, cambios volumétricos perjudiciales con las variaciones de humedad, materiales erosionables, presencia de estratos de suelos o mantos de roca con inclinación desfavorable, taludes no bien afinados o con poca inclinación, etc.). Espesor insuficiente de la capa subrasante, mala calidad del material de ésta y/o baja compactación.</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="551 1272 742 1633">TERRAPLENES</td> <td data-bbox="742 1272 1316 1633"> <p>Mala calidad de los materiales del cuerpo del terraplén y/o de la capa subrasante.</p> <p>Acomodo inadecuado de los materiales o falta de compactación.</p> <p>Exceso en el contenido de agua de los materiales y/o cambios volumétricos perjudiciales con las variaciones de humedad.</p> <p>Falta de escalones de liga cuando éstos son necesarios.</p> </td> </tr> </table>	CORTES	<p>Inestabilidad de los materiales de los taludes, que producen deslizamientos o derrumbes sobre el pavimento (por mala calidad del material, cambios volumétricos perjudiciales con las variaciones de humedad, materiales erosionables, presencia de estratos de suelos o mantos de roca con inclinación desfavorable, taludes no bien afinados o con poca inclinación, etc.). Espesor insuficiente de la capa subrasante, mala calidad del material de ésta y/o baja compactación.</p>	TERRAPLENES	<p>Mala calidad de los materiales del cuerpo del terraplén y/o de la capa subrasante.</p> <p>Acomodo inadecuado de los materiales o falta de compactación.</p> <p>Exceso en el contenido de agua de los materiales y/o cambios volumétricos perjudiciales con las variaciones de humedad.</p> <p>Falta de escalones de liga cuando éstos son necesarios.</p>
CORTES	<p>Inestabilidad de los materiales de los taludes, que producen deslizamientos o derrumbes sobre el pavimento (por mala calidad del material, cambios volumétricos perjudiciales con las variaciones de humedad, materiales erosionables, presencia de estratos de suelos o mantos de roca con inclinación desfavorable, taludes no bien afinados o con poca inclinación, etc.). Espesor insuficiente de la capa subrasante, mala calidad del material de ésta y/o baja compactación.</p>				
TERRAPLENES	<p>Mala calidad de los materiales del cuerpo del terraplén y/o de la capa subrasante.</p> <p>Acomodo inadecuado de los materiales o falta de compactación.</p> <p>Exceso en el contenido de agua de los materiales y/o cambios volumétricos perjudiciales con las variaciones de humedad.</p> <p>Falta de escalones de liga cuando éstos son necesarios.</p>				
III.- OBRAS DE DRENAJE	<p>Insuficiencia de alcantarillas y/o de puentes en cuanto a su capacidad o número.</p> <p>Ubicación incorrecta o inadecuada de las obras.</p> <p>Uso de materiales de mala calidad o inadecuados en la construcción de estas obras.</p>				

(CONTINUA CUADRO 2):

PARTE FUNDAMENTAL DE LA OBRA EN QUE SE ORIGINAN LAS FALIAS.	MOTIVOS DE LAS FALIAS
III.- OBRAS DE DRENAJE (continuación)	Defectos de construcción de estas obras. Falta de protección (recubrimiento) de cunetas y/o contracunetas o falta de estas obras. Falta de conservación y limpieza de las obras para remover azolves u otras obstrucciones, rehacer canalizaciones, etc. Falta de subdrenes donde se requieren o mal funcionamiento de los existentes.

## C U A D R O 3.

## CAUSAS QUE ORIGINAN FALLAS U OTROS DEFECTOS EN LOS PAVIMENTOS Y QUE PROVIENEN DIRECTAMENTE DE ESTOS.

TIPO DE PAVIMENTO.	CAPA O INTERFASE EN QUE SE ORIGINAN LAS FALLAS.	MOTIVOS DE LAS FALLAS
FLEXIBLE	SUB-BASE	<p>Mala calidad del material utilizado.            Baja compactación.            Falta de espesor.            Contaminación con el material de las terracerías.            Defectos de construcción y/o de acabados.</p>
FLEXIBLE	BASE	<p>Mala calidad del material utilizado.            Baja compactación.            Falta de espesor.            Falta de afinidad del material pétreo con el asfalto de impregnación.            Falta de limpieza y/o barrido de la superficie de la base al momento de impregnar.            Defectos de construcción y/o de acabados.            Defectos de la base impregnada por exposición excesiva al tránsito y a los efectos del clima, antes de protegerla con la carpeta.</p>
FLEXIBLE	RIEGO DE IMPREGNACION.	<p>Tipo inadecuado de asfalto o mala calidad del producto.            Cantidad excesiva de asfalto.            Cantidad escasa de asfalto.            Tránsito demasiado pronto sobre el riego de asfalto.            Asfalto frío (viscosidad alta) que impide su penetración en la base.            Defectos en la aplicación del asfalto (atribuibles a la petrolizadora o al operador).            Exceso de arena de "poreo", cuando éste se usa.</p>
FLEXIBLE	RIEGO DE LIGA EN CARPETAS DE MEZCLAS ASFALTICAS O DE RIEGOS.	<p>Tipo inadecuado de asfalto o mala calidad del producto.            Cantidad excesiva de asfalto.            Cantidad escasa de asfalto.            Asfalto muy frío o que ha perdido</p>

(CONTINUA CUADRO 3):

TIPO DE PAVI MENTO.	CAPA O INTERFASE EN QUE SE ORIGI- NAN LAS FALLAS.	MOTIVOS DE LAS FALLAS
FLEXIBLE	RIEGO DE LIGA EN CARPETAS DE MEZCLAS ASFAL- TICAS O DE RIE- GOS.(continua- ción)	su poder de aglutinación, al momen- to de tender la carpeta (de mezcla en el lugar) o de cubrirse con los materiales pétreos (carpetas de riegos). Defectos en la aplicación del asfal- to (atribuibles a la petrolizadora o al operador).
FLEXIBLE	CARPETA DE RIE- GOS.	Mala calidad de los materiales pé- treos empleados o granulometrías de- fectuosas de éstos. Falta de afinidad de los materiales pétreos con el asfalto. Cantidades escasas de los materia- les pétreos. Materiales pétreos demasiado húme- dos al momento de su aplicación. Tránsito sobre el riego de asfalto antes de cubrir con el pétreo. Tránsito demasiado pronto sobre el material pétreo aplicado, princi- palmente cuando los vehículos no circulan a velocidades bajas. Defectos de construcción de la car- peta (falta de rastreos, planchado o barrido de los materiales pétreos, traslapes incorrectos de los riegos, distribución no uniforme de los ma- teriales, etc.)
FLEXIBLE	CARPETA DE MEZ- CIA ASPALTICA EN EL LUGAR.	Mala calidad de los materiales pé- treos utilizados o defectos en su granulometría. Falta de afinidad del material pé- treo con el asfalto. Exceso de asfalto en la mezcla. Cantidad escasa de asfalto en la mezcla. Materiales pétreos demasiado húme- dos al momento de agregar el asfal- to. Tipo de asfalto inadecuado en la mezcla o mala calidad del producto utilizado. Contenido elevado de agua y/o de solventes en la mezcla, al momento de tender. Falta de uniformidad en la incorpo- ración del asfalto en la mezcla. Baja temperatura del asfalto al aplicarlo al pétreo.

(CONTINUA CUADRO 3):

TIPO DE RAVI MENTO.	CAPA O INTERFASE EN QUE SE ORIGI- NAN LAS FALLAS.	MOTIVOS DE LAS FALLAS
FLEXIBLE	CARPETA DE MEZ- CLA ASFALTICA EN EL LUGAR. (continuación)	Escaso espesor de la capa. Baja compactación de la mezcla. Defectos de construcción en el ten- dido y/o de acabados. Baja resistencia de la mezcla. Mezcla asfáltica muy permeable, sin proteger con algún tratamiento de sellado. Rigidez relativamente alta de la car- peta.
FLEXIBLE	CARPETA DE MEZ- CLA EN CALIENTE (CONCRETO ASFAL- TICO).	Mala calidad de los materiales pé- treos utilizados o defectos en su granulometría. Falta de afinidad del material pé- treo con el asfalto. Exceso de asfalto en la mezcla. Cantidad escasa de asfalto en la mez- cla. Tipo de asfalto inadecuado en la mez- cla o mala calidad del producto uti- lizado. Temperatura baja del asfalto y/o del material pétreo al elaborar la mez- cla. Temperatura excesiva de calentamiento del cemento asfáltico y/o del mate- rial pétreo al elaborar la mezcla. Defectos de tendido y/o de acabado de la mezcla. Mezcla relativamente fría al tonder y/o al compactar. Baja compactación de la mezcla. Espesor escaso de la capa. Baja estabilidad de la mezcla. Mezcla muy permeable (vacíos eleva- dos), sin proteger con un tratamien- do de sellado. Rigidez relativamente alta de la car- peta.
FLEXIBLE	RIEGO DE SELLO	Mala calidad de los materiales pé- treos utilizados o defectos en su granulometría. Falta de afinidad del material pé- treo con el asfalto. Exceso o escasez de material pétreo y/o de asfalto. Asfalto inadecuado o mala calidad del producto. Materiales pétreos demasiado húme- dos al momento de su aplicación. Tránsito sobre el riego de asfalto.

(CONTINUA CUADRO 3):

TIPO DE PAVIMENTO.	CAPA O INTERFASE EN QUE SE ORIGINAN LAS FALLAS.	MOTIVOS DE LAS FALLAS
FLEXIBLE	RIEGO DE SELLO (continuación)	<p>antes de cubrir con el pétreo. Asfalto muy frío o que ha perdido su poder de aglutinación, al momento de cubrirlo con el material pétreo. Defectos en la aplicación del asfalto (atribuibles a la petrolizadora y/o al operador). Tránsito demasiado pronto sobre el material pétreo aplicado, principalmente cuando los vehículos no circulan a bajas velocidades. Defectos de construcción (distribución no uniforme del material pétreo, falta de rastreos, planchado o barrido del material, traslapes incorrectos de los riegos, etc).</p>

C U A D R O 4.

EJEMPLOS SOBRE TIPOS DE FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES Y SUS POSIBLES CAUSAS.

GRUPO EN QUE SE CLASIFICA LA FALLA O DEFECTO	IDENTIFICACION DE LA FALLA	
	DESCRIPCION	SUS POSIBLES CAUSAS
DISTORSIONES	BACHES (Deformaciones locales en que se ha destruido parcial o totalmente el pavimento. Se asocian con agrietamientos y con altos contenidos de agua en los materiales).	Baja compactación de las capas inferiores del pavimento. Penetración del agua a la parte inferior del pavimento por acumulaciones de la misma en zonas con defectos de acabado, o deformadas. Contaminaciones de la sub-base y/o base con el material de las terracerías. Pavimento sub-diseñado para las cargas que por él transitan. Etc.
	ASENTAMIENTOS (Descensos en el nivel original de la superficie).	Compactación o reacomodo local de una o varias capas del pavimento, o de las terracerías, que produce un descenso pequeño y más o menos uniforme de la superficie.
	DESPLAZAMIENTOS O CORRIMIENTOS DE LA CARPETA (Principalmente en las orillas)	Baja estabilidad de la mezcla. Tránsito pesado antes de compactar debidamente la mezcla. Exceso en el asfalto del riego de liga.
	SURCOS O RODADAS MARCADAS.	Efecto de tránsito pesado en zonas subdiseñadas o deficientemente construídas del pavimento. Paso del tránsito de vehículos o del equipo de construcción sobre la carpeta recién tendida o sin la debida compactación.
	DEPRESIONES EN ZANJAS NO BIEN RELLENADAS.	Falta de acomodo adecuado o de compactación en los materiales del relleno o insuficiencia en el volumen de material.

(CONTINUA CUADRO 4):

GRUPO EN QUE SE CLASIFICA LA FALLA O DEFECTO	IDENTIFICACION DE LA FALLA	
	DESCRIPCION	SUS POSIBLES CAUSAS
AGRIETAMIENTOS	GRIETAS LONGITUDINALES EN LAS ORILLAS.	Cambios volumétricos de los materiales de terracerías con altos contenidos de arcilla, por efectos de humedecimiento y secado. Ampliaciones del camino o de la pista, no bien ligadas a la sección antigua. Ligeros movimientos o asentamientos de los terraplenes por efecto de las cargas, de su peso propio o de temblores. Etc.
	GRIETAS LONGITUDINALES EN EL CENTRO.	Defectos de tendido de la mezcla asfáltica, principalmente. Por reflexión de grietas en la capa subyacente, tratándose de una sobrecarpeta.
	GRIETAS TRANSVERSALES.	Reflexión de defectos existentes en la capa subyacente, que en ocasiones es un pavimentos rígido. Contracciones de la sub-base o base estabilizadas con cemento Portland.
	GRIETAS EN FORMA DE MAHA O DE PIEL DE COCODRILO.	Deflexiones excesivas o deformaciones en la carpeta por acción del tránsito pesado. Carpeta rígida. Capa subrasante, sub-base y/o base inestables, generalmente por altos contenidos de agua. Espesor insuficiente del pavimento, para las cargas que soporta. Etc.
	GRIETAS POR CORRIMIENTO DE LA CARPETA (EN LAS ORILLAS)	Baja estabilidad de la mezcla a los esfuerzos laterales originados por el tránsito. Exceso de asfalto en el riego de liga. Tránsito demasiado pronto sobre la carpeta recién tendida
	GRIETAS BARBOLICAS.	Corrimientos de la carpeta en zonas de desaceleración. Corrimientos de la carpeta por exceso o nulo asfalto de liga.

(CONTINUA CUADRO 4):

GRUPO EN QUE SE CLASIFICA LA FALLA O DEFECTO.	IDENTIFICACION DE LA FALLA	
	DESCRIPCION	SUS POSIBLES CAUSAS
DESINTEGRACIONES.	DESPRENDIMIEN TOS DEL MATE- RIAL PETREO DE LA CARPETA O DEL RIEGO DE SELLO.	Escasa cantidad de asfalto en la mezcla o en el riego de sello. Falta de afinidad del material pétreo con el asfalto. Falta de compactación de la mezcla o de planchado de los materiales pétreos, según el caso. Sobrecalentamiento de la mezcla, cuando ésta se hace en planta.
	DESPRENDIMIEN TOS DE LA PE- LICULA DE AS- FALTO DEL MA- TERIAL PETREO (MEZCLA ASFAL TICA).	Escasa o nula afinidad del material pétreo con el asfalto utilizado en la mezcla.
	ROMPIMIENTO DE LAS PARTICULAS DEL MATERIAL PETREO QUE PRO- PICIAN SU DES- PRENDIMIENTO.	Material suave, que no resiste la acción del tránsito.
	DESPRENDIMIEN- TO DE LA CARPE- TA, COMO CAPA.	Esfuerzos elevados en la interfase entre la carpeta y la base. Riego de liga insuficiente o anclaje deficiente de la carpeta con la base.
DEFECTOS VARIOS.	SUPERFICIE LI- SA O DERRAMAN- TE.	Materiales que se pulen fácilmente. Afloramientos de asfalto.
	ZONAS CON AS- FALTO DESCU- BIERTO EN CAR- PETAS DE RIE- GOS DE SELLO.	Desprendimientos del material pétreo. Defectos de construcción (cantidad insuficiente de asfalto regado, aplicación incorrecta o extemporánea de los pétreos, fallas de la petrolizadora, etc.).

= CAPITULO IV =

EVALUACION DE LAS CONDICIONES DE UN CAMINO.

IV.1 IMPORTANCIA DE LA EVALUACION  
DE PAVIMENTOS EN CAMINOS.

IV.2 EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO  
DE PAVIMENTOS EN CAMINOS.

BIBLIOTECA CENTRAL

#### IV. EVALUACION DE LAS CONDICIONES DE UN CAMINO.

##### IV.1 IMPORTANCIA DE LA EVALUACION DE PAVIMENTOS EN CAMINOS.

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

Aunque presente en todas partes, éste es un problema muy común en las Redes de Transporte de los países en vías de desarrollo, pues en ellos se dan las condiciones de rápida expresión del tránsito, tanto en lo referente al volumen como a las cargas de los vehículos, insuficiencia presupuestal en el mo-

mento de la construcción y falta de la adecuada conservación, son los principales factores que contribuyen a generarlo.

Ante estas circunstancias, los caminos se han visto seriamente dañados puesto que, originalmente, estos fueron diseñados con normas y factores de carga inferiores a los requerimientos actuales.

Actualmente, nos encontramos con serios problemas en cuanto al estado físico de la Red Carretera Nacional, a pesar del mantenimiento normal de que es objeto.

Debido a esto y con la necesidad de que la Red Carretera presta un servicio constante y seguro en cualquier época del año, surge la necesidad de reacondicionar la red existente.

Para poder llevar a cabo lo antes expuesto, es necesario hacer estudios tendientes a evaluar las características estructurales y la capacidad de servicio que presta un camino, con el objeto de definir las reparaciones, sustituciones y refuerzos necesarios para su rehabilitación, o sea, para devolver al mismo sus características de operación cómoda y segura, con una estructuración tal, que lo mantenga por arriba del nivel mínimo aceptable durante la vida útil que se le asigne.

Los problemas de rehabilitación, reacondicionamiento y diseño de refuerzo se describen en los capítulos siguientes.

## IV.2 EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS EN CA MINOS.

La evaluación de los pavimentos se puede realizar en eta  
pas, siendo éstas las que a continuación se indican:

IV.2.1 Recorrido Preliminar (Determinación de la  
capacidad de servicio).

IV.2.2 División del Tramo de trabajo.

IV.2.3 Ejecución de los trabajos de campo y laborau  
torio.

### IV.2.1 Recorrido Preliminar

El objetivo de esta etapa consiste en determinar las condiciones de la superficie de rodamiento de los pavimenu  
tos que se han construido con anterioridad y que se desea evau  
luar con miras a devolver a estos sus características iniciau  
les de operación. Este recorrido preliminar lo realiza persou  
nal con experiencia en la materia, el cual, con ayuda de equiu  
pos, valúa la capacidad de servicio de la superficie de rodau  
miento; también lo puede evaluar un grupo de personas (usuau  
rios) que transitan regularmente por el camino en estudio. El estado de servicio de un pavimento es una estimación personal bastante variable.

Para determinar las condiciones de la superficie de rodamiento de los pavimentos, la American Association of

States Highways Officials (AASHO), desarrolló un método de calificación para la superficie de rodamiento de los caminos; partiendo de que la finalidad del pavimento es servir al usuario, permitiendo el tránsito adecuado de los vehículos, y que la capacidad de servicio del pavimento disminuye con el tiempo, se ideó la forma de medir la capacidad de servicio de un pavimento mediante el "Índice de Servicio Actual" o con la "Calificación Actual", los cuales son numéricamente equivalentes.

Si se representa la disminución de la capacidad de servicio, mediante la valoración de la calificación o índice de servicio, respecto al tiempo o bien respecto a aplicaciones de cargas equivalentes, se obtiene "el comportamiento del pavimento", ver figuras III.1 y IV.1.

La diferencia entre los conceptos de "índice de servicio actual" y la "calificación actual", estriba en que el primero es un dato que se obtiene a través de mediciones objetivas sobre la superficie de rodamiento, en tanto que la segunda no requiere de esas mediciones, sino solamente de la información que proporcione uno o varios usuarios, esto es, se basa exclusivamente en la apreciación personal del usuario del camino, respecto a la facilidad que ofrece la carretera para ser recorrida en forma cómoda.

La escala establecida por la AASHO para el "Índice de Servicio Actual" o para la "Calificación Actual" varía

de cero (0) cuando el camino es intransitable a cinco(5), cuando presenta condiciones de rodamiento excelentes, contando con los siguientes puntos intermedios:

<u>Escala o Calificación</u>	<u>Estado del Pavimento</u>
5 - 4	Excelente
4 - 3	Bueno
3 - 2	Regular
2 - 1	Malo
1 - 0	Muy Malo

Los aspectos más importantes del pavimento que intervienen en el valor del "índice de servicio actual" o en la "calificación actual", son los siguientes:

- A) Las ondulaciones longitudinales.
- B) Las deformaciones transversales.
- C) La textura de la superficie.
- D) El porcentaje de baches y áreas reparadas.

En la determinación o apreciación del "índice de servicio actual" o de la "calificación actual" no intervienen factores de diseño geométrico de la carretera, estado de los acotamientos, señalamiento del camino, etc.

De acuerdo con estudios llevados a cabo durante la prueba AASHO y trabajos posteriores realizados en diferentes

partes del mundo, se ha encontrado que (Ref.3):

- 1o. Es práctica y suficientemente precisa la determinación de la calificación del estado de la superficie de la carretera, mediante un grupo de personas.
- 2o. Aún cuando la calificación individual varía ampliamente, el promedio permite una estimación adecuada de las condiciones de una carretera en el momento de la evaluación.
- 3o. El grupo calificador debe constar cuando menos de 5 a 10 personas para tener una estimación adecuada, siendo conveniente que la apreciación se realice individualmente y con el mismo tipo de vehículo que normalmente utiliza la persona que va a calificar. En general, se obtienen promedios congruentes utilizando personas de preparación muy diversa, siempre y cuando el trabajo se efectúe con responsabilidad. La calificación es más precisa a medida que aumenta el número de observadores, de tal manera que se puede definir como calificación actual verdadera, el promedio de las calificaciones que darían todos los usuarios del camino.

4o. Las carreteras principales con calificaciones de 2.5 o mayores y los caminos secundarios, con calificación de 2.0 o más, son aceptables, de acuerdo con la opinión media de los usuarios del camino.

5o. Las carreteras principales con calificaciones de 2.0 o menores y los caminos secundarios con calificaciones de 1.5 o menos, son inaceptables, de acuerdo con la apreciación media de los usuarios. Además, si la calificación es de 1.5 o menor, el camino está prácticamente destruido y requiere reconstrucción.

Las aplicaciones del concepto de calificación actual son variadas y en la actualidad se ha utilizado ampliamente como un medio para determinar las relaciones de reconstrucción que guardan distintos tramos entre sí. Por ejemplo, como puede apreciarse en la figura IV.1 dos pavimentos de igual calificación actual, pueden tener comportamiento totalmente diferentes; el pavimento 1, aún cuando originalmente tuvo un mejor acabado que el 2, tiende a deteriorarse más rápidamente, según lo muestra la forma de su curva de comportamiento. En esas condiciones, si estuviesen situados en un mismo camino o sometidos a iguales intensidades de tránsito, el pavimento 1 debe tener prioridad de reconstrucción sobre el

pavimento 2.

Es de subrayar que la calificación debe ser individual y que es necesario evitar que los calificadores se influencien entre sí o sean influidos por criterios ajenos al grupo. La calificación que en definitiva se usará para un determinado tramo, es la correspondiente al promedio del grupo, siendo de esperarse que haya variaciones fuertes en la calificación individual, sin significar esto que dicha calificación individual sea errónea.

Para lograr lo anterior, es conveniente, siempre que sea posible, que los calificadores recorran el tramo por separado. Además, es de recomendarse también, calificar a velocidades de recorrido lo más cercanas posibles a la velocidad de operación del tramo, pero sin exceder de 80 km/hora.

#### IV.2.2 División de los tramos de trabajo.

Siendo las carreteras obras lineales de gran extensión, es necesario dividir las para su estudio en tramos homogéneos; la división de los tramos de trabajo está en función de varios factores tales como calidad y cantidad del personal que laborará, del número y tipo de maquinaria que se va a utilizar, y además, atendiendo a tres grupos de criterios generales:

- A) Los ambientales.
- B) Los estructurales.
- C) Los superficiales.

A) Los ambientales.- Deberán contemplar los siguientes aspectos, además de algunos otros que en relación, los encargados de llevar a cabo estos estudios, juzguen per tinentes:

- A.1) Litología.
- A.2) Climatología.
- A.3) Hidrogeología.
- A.4) Estratigrafía.
  - A.4.1) Perfil del suelo.
  - A.4.2) Perfil de alteración.
- A.5) Morfología o Topografía.

B) Los estructurales.- Comprenderán los siguientes aspectos, además de los que por alguna razón especial, ya sea de construcción o por su ubicación, deban tomarse en cuenta:

- B.1) Cortes y Terraplenes.
- B.2) Tipos de Materiales.
- B.3) Estabilidad de los Taludes.
- B.4) Estabilidad del terreno natural.

B.5) Erosiones y deslaves.

B.6) Drenaje y subdrenaje.

C) Los superficiales.- Comprenderán lo indicado en el inciso referente al Recorrido Preliminar y algunos otros aspectos que los encargados de llevar a cabo el estudio, juzguen pertinentes:

C.1) Trabajos de mantenimiento realizados a la fecha.

C.1.1.) Posibles criterios de falla.

C.1.2.) Identificación de Zonas críticas.

C.2) Levantamiento de daños.

C.2.1) Grietas: mapeo, piel de cocodrilo, longitudinales, transversales, etcétera.

Teniendo en cuenta que si el porcentaje de grietas en la zona de estudio es superior al 20 ó 25% del área, se deberá considerar como un pavimento fallado. Este tipo de evaluación será siempre subjetiva y a juicio del ingeniero.

C.3) Roderas.

- Por deformabilidad de carpeta.
- Por defectos de construcción.
- Por deformación acumulada en todas las

capas.

En este caso se considera que si la deformación medida es superior a 0.5" ó 1", es una zona fallada.

C.4) Desprendimientos.

- Por falta de adherencia.
- Por agrietamiento.

Al hacer las observaciones, si el 20% o más del área se encuentra afectada, se deberá considerar como una falla en el pavimento.

C.5) Baches.

C.6) Ondulaciones Longitudinales.

- Por inestabilidad de carpeta.
- Por inestabilidad de terracerías.
- Por inestabilidad del terreno natural.

C.7) Baja Resistencia al derrapamiento.

Todo esto, para poder tener una visión global del problema, es conveniente presentarlo en un mapa de daños mediante el cual se pueden emitir juicios adecuados; así mismo en las siguientes etapas, también es el instrumento necesario para la programación y ejecución de la prueba a efectuar, tanto de campo como de laboratorio.

La TABLA que se muestra en la figura IV.2 presenta

un esquema utilizado por la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP) para efectuar el levantamiento de deterioros de pavimentos flexibles.

#### IV.2.3 Ejecución de los trabajos de campo y laboratorio.

En el presente inciso se describirá la metodología de evaluación de la capacidad estructural del pavimento así como de los factores complementarios necesarios en una exploración de caminos, con miras a su evaluación; entre los factores complementarios podemos encontrar sondeos con perforadora, sondeos a cielo abierto, ensayos de campo y laboratorio, aforo de tránsito, etc.

La capacidad estructural de un pavimento se ha relacionado, para fines de valuación, con la medición de la deflexión del pavimento cuya capacidad estructural se desea valorar.

En la actualidad se utilizan dos métodos para la evaluación estructural de los pavimentos flexibles construídos en carreteras, estos métodos son (Ref.2):

- A) Viga Benkelman (deflexión bajo carga estática).
- B) Método Dynaflect (deflexión bajo carga dinámica).

A) Viga Benkelman.- Método de la deflexión recuperada.

Este método consiste en la determinación de la deflexión recuperada, cuando se remueve una carga, del pavimento flexible en estudio.

La utilización de este método está limitada a pavimentos flexibles con espesores inferiores a 50 cm. (20"), ya que en mayores espesores pierde aproximación.

El equipo de prueba consiste en una viga Benkelman y un camión lastrado cuyo eje trasero pese 8.2 tons. (18,000 lbs.), distribuido uniformemente en dos pares de ruedas las cuales deberán tener una separación mínima de 5 cm. (2"), las llantas deberán ser de 10" X 20" infladas a una presión de  $5.6 \text{ kg/cm}^2$  ( $80 \text{ lb/pulg}^2$ ).

La viga Benkelman se muestra esquemáticamente en la figura IV.3 y consiste básicamente de una parte fija, una viga móvil, un extensómetro y un vibrador. El brazo fijo D se sitúa nivelado sobre el pavimento apoyado en tres puntos (un punto A y dos puntos B). La viga móvil  $D_1$  está acoplado al brazo fijo por una articulación rotatoria en el punto que se señala. Cuando las llantas de un camión cargado se colocan de manera que el punto C del brazo móvil quede centrado en ellas (nótese que no es ésa la posición que se muestra en el esquema), dicho punto bajará una cierta cantidad por la deformación provocada en el pavimento por el peso de

las llantas. Por tal causa, el brazo  $D_1$  girará en torno a la articulación con respecto al brazo  $D$ , previamente nivelado (se supone que las dimensiones de la viga son tales que la posición del brazo  $D$  no es afectada por la deformación causada por las llantas) y de esta manera el extensómetro que se señala hará una lectura. Si se retiran ahora las llantas cargadas, el punto  $C$  se recuperará en lo que a deformación elástica se refiere y por el mecanismo anterior el extensómetro hará otra lectura.

Con las dos lecturas del extensómetro es posible saber cuanto se movió (en dirección vertical) el punto  $E$  en la operación y con la geometría de la viga se obtendrá correspondientemente la recuperación elástica de  $C$  al quitar las llantas, tal como se ilustra en el croquis operativo que aparece en la misma figura IV.3, donde puede observarse que, la deflexión recuperada total del pavimento es el doble de la lectura del extensómetro durante la prueba (dos a uno es la relación usual de la viga Benkelman, sin embargo, algunos modelos pueden estar contruídos con una relación diferente).

Algunas de las distintas instituciones que han popularizado el método usan diferentes cargas en el sistema dual de llantas empleado.

## B) Método Dynaflect.

El Dynaflect es otra herramienta de gran utilidad en este tipo de problemas, aunque en México, no es usada con gran frecuencia. Este aparato también mide deformaciones en la superficie de un pavimento, aunque su forma de trabajo es diferente al de la viga Benkelman. Es un sistema electromecánico capaz de inducir un estado de vibraciones sinusoidal establecido mediante un generador dinámico; la fuerza dinámica se superimpone al peso estático del generador. La fuerza dinámica máxima es menor que el doble de la fuerza estática para asegurar siempre el contacto entre el equipo y el pavimento. Si se toma en cuenta la dificultad para contar con una referencia fija en las mediciones de deflexiones, la ventaja de contar con un estado de vibraciones constante es evidente, pues sólo es necesario medir la amplitud máxima de la onda de deformación, lo que se logra mediante un geófono que utiliza una referencia inercial, cuya corriente eléctrica de salida es proporcional a la deflexión.

El Dynaflect está montado en un trailer de dos ruedas que puede ser remolcado a una velocidad normal, mediante un automóvil convencional.

Para hacer las mediciones, el automóvil se detiene en el lugar de prueba, donde se hace descender el vibrador y los geófonos hasta tocar el pavimento. Estas mediciones se emplean para determinar la vida útil de los pavimentos y su

capacidad estructural mediante el uso de correlaciones con los deflectómetros estáticos.

Una ventaja importante del aparato es no requerir ningún punto de referencia fijo en la superficie en que se realizan las mediciones y otra es la operación automática, libre de errores de operación y susceptible de ser realizada a una velocidad relativamente alta del remolque.

Cabe señalar que existen otros métodos para valuar la capacidad estructural de un pavimento, que han sido sugeridos por varias instituciones, tales como Método LCN (Load Classification Number) denominado "Número de Clasificación por Carga" y el del Departamento del Transporte del Canada; dichos métodos son para analizar pavimentos construídos en aeropuertos (aeropistas) y/o también pavimentos rígidos.

Naturalmente que la valuación de la capacidad estructural de un pavimento deberá comprender también el análisis de la resistencia de los materiales que constituyen cada una de las capas, incluyendo la capa subrasante y, en algunos casos, el que forme la terracería propiamente dicha, además de algunos aspectos que en relación los encargados de llevar a cabo el estudio, juzguen pertinentes. Debido a esto, a continuación se describe en forma breve la práctica común que complementa una evaluación de caminos:

- A) Sondeos.
  - a) Con perforadora.
    - de carpeta.
    - de base.
    - de terracería.
  - b) Sondeos a cielo abierto.
    - de carpeta.
    - de base.
    - de sub-base.
    - de subrasante.
    - de terracería.

La ubicación de los sondeos se deberá hacer en base a un estudio estadístico de las zonas en que se haya dividido el camino, o bien en zonas críticas o de posibles problemas, esto, a juicio del ingeniero que vaya a realizar el estudio.

- B) Ensayes de campo y laboratorio:
  - a) Deflexiones.
  - b) Índice de resistencia VRS en el lugar.
  - c) Contenido de agua de equilibrio.
  - d) Índice de resistencia VRS en muestras inalteradas.
  - e) Ensayes de clasificación, (Granulometría, Límites de plasticidad, etc.)

- En terracerías con especial atención a los materiales finos.

- En pavimentos.

f) Grado de compactación.

- Permanencia de la compactación.

- Procedimientos de construcción.

g) Equivalentes de arena.

C) Trincheras exploratorias.

D) Levantamiento detallado de daños y ubicación.

E) Determinación del perfil transversal del pavimento en puntos críticos y muestreados.

F) Aforo de Tránsito.- La información deberá contener:

- a) Tránsito promedio diario mensual o anual.

- b) Clasificación vehicular por sentido.

- c) Tasa de crecimiento.

- d) Vehículos de características especiales.

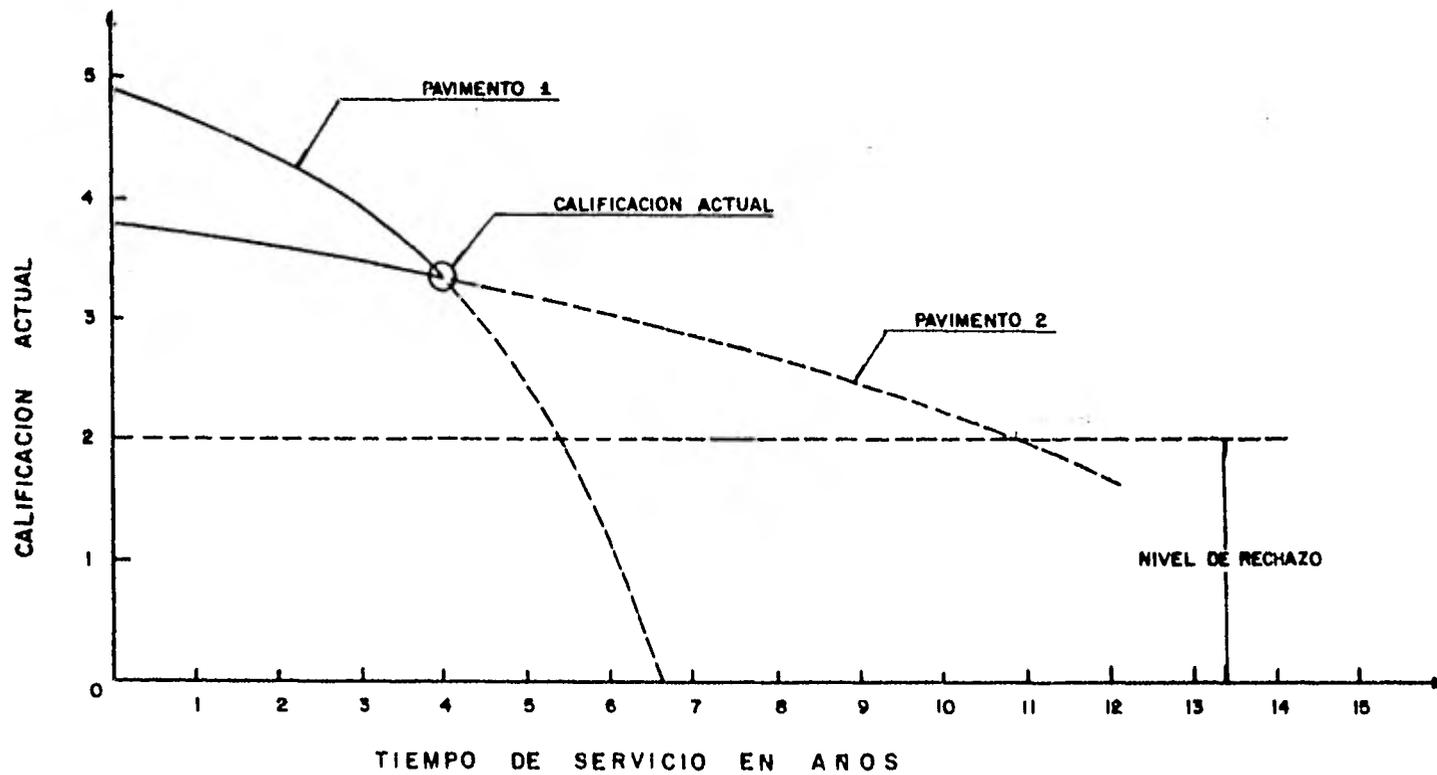


FIG. IV. 1. INFLUENCIA DEL TIEMPO DE SERVICIO EN LA CALIFICACION ACTUAL DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO DE DOS PAVIMENTOS.

### CONDICIONES SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

Camino o Aeropuerto : \_\_\_\_\_

Observador : \_\_\_\_\_

Fecha : \_\_\_\_\_

		Tramo de A	
0: Ninguna 1: Menor 2: Moderada 3: Mayor 4: Severa	GRIETA	Fisuración	
		Longitudinal	
		Transversal	
		Poliédrica (7.5 cm Aprox.)	
		Poliédrica (15 cm Aprox.)	
		En forma de mapa (>30cm)	
	TIPO	Reflexión	
		Menor que 0.3175 cm (1/8")	
		Menor que 0.635 cm (1/4")	
		Mayor que 0.635 cm (1/4")	
		Desprendimiento Local	
		Desprendimiento general	
-10 } Muy Bien -9 } A -8 } Bien -7 } -6 } B -5 } Regular -4 } C -3 } Pobre -2 } D -1 } Muy pobre 0 }	Deformación Transv. Marcada		
	Deformación Longitudinal		
	Distorsión		
	Asentamiento Subrasante		
	Bacheo Superficial		
	Bacheo profundo		
	Reconstrucción Localizada		
	Rugosidad Superficial		
	Drenaje Superficial		
	Subdrenaje		
	Condiciones generales		
	Calificación General		
Trabajos Requeridos			

**Observaciones ( Drenaje )**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

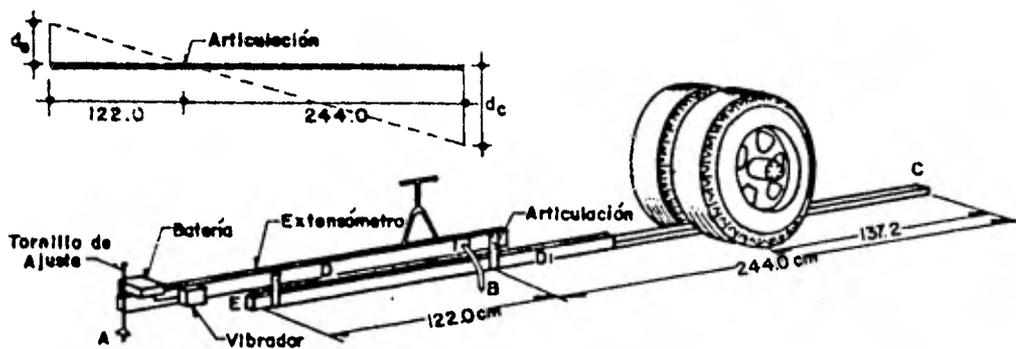
\_\_\_\_\_

**Observaciones :** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**FIG. IX . 2 ESQUEMA UTILIZADO POR LA SAHOP PARA EFECTUAR EL LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.**



**FIG. IV.3 ESQUEMA DEL DEFLECTOMETRO BENKELMAN**

= CAPITULO V =

DISEÑO DE REFUERZO, RECONDICIONAMIENTO Y REHABILITACION.

V.1 GENERALIDADES.

V.2 NORMAS DE CRITERIO PARA DEFINIR  
EL TIPO DE REHABILITACION.

V.3 DISEÑO DE REFUERZO.

## V. DISEÑO DE REFUERZO, REACONDICIONAMIENTO Y REHABILITACION.

### V.1 GENERALIDADES.

Para poder llevar a cabo la rehabilitación de un pavimento, es necesario hacer un estudio que nos indique cual es la causa de la falla, y así poder estar en condiciones de recomendar el tratamiento más adecuado.

Los sistemas utilizados para este estudio son diversos y, como se ha indicado con anterioridad, se apoyan principalmente en la ejecución de sondeos para conocer la estructuración y características de los materiales que integran el pavimento, combinándose este procedimiento con la determinación de deflexiones.

Con los datos anteriores y los correspondientes al tránsito, se aplican los métodos de revisión y proyecto con los que se tenga más experiencia en su manejo, determinándose así las necesidades que en cuanto a espesor y tipos de capas tiene el pavimento.

Ahora bien, los trabajos de rehabilitación de pavimentos pueden ser variados y van desde la colocación de riegos protectores (de "rejuvenecimiento"), pasando por la construcción de sobrecarpetas de refuerzo, hasta la reconstrucción integral del camino; también han de considerarse los trabajos referentes a las ampliaciones de sección. Cabe señalar aquí otra línea de acción, al parecer muy en boga en algunos países, que consiste fundamentalmente en ir adecuando la capacidad estructural del pavimento, por medio de la construcción "programada" de sobrecarpeta, a los incrementos en el volumen e intensidad de las cargas del tránsito.

Los ingenieros de caminos han adoptado el concepto de "reacondicionamiento" para definir los trabajos de rehabilitación que van desde riegos protectores hasta la colocación de carpetas de mezcla, ya sea en planta o en el lugar, con espesor pequeño; el reacondicionamiento se emplea para extender la vida útil de los pavimentos.

## V.2 NORMAS DE CRITERIO PARA DEFINIR EL TIPO DE REHABILITACION.

El planteamiento de un criterio de rehabilitación es, en rigor, un enlistado de las circunstancias que hacen insatisfactorio el servicio de un pavimento dado, insatisfactorio no implica la necesidad de una falla catastrófica; puede requerir rehabilitación un pavimento que esté soportando adecuadamente muy altos volúmenes de tránsito, pero en el que se gaste más de lo conveniente en conservación.

Las siguientes son las principales normas de criterio que suelen considerarse para definir la necesidad de una rehabilitación (Ref.2):

### A) Nivel de Servicio.

Como ya se mencionó en el capítulo IV, este concepto variará con el tipo de camino.

### B) Condición Estructural.

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

### C) Condiciones de la Superficie.

La apariencia del pavimento (deformaciones, grietas, etc.), no necesariamente está ligada a la capacidad estructural y desde luego no lo está ya que, si bien

es cierto que una falta de capacidad estructural se reflejará rápidamente en la apariencia del pavimento. Muchos defectos en las condiciones superficiales pueden corregirse con métodos que no producen mejoría real en las condiciones estructurales.

D) Seguridad.

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

E) Costo.

Se refiere no sólo a la erogación necesaria para pagar la rehabilitación, sino también a los costos de conservación y de operación a que se llegue.

Una vez que han sido valuados, en la forma en que se se ñaló en capítulos anteriores, el nivel de servicio, las condiciones superficiales del pavimento y la capacidad estructu ral, que pueden ser consideradas como las "constantes" del problema, debe pasarse a la siguiente etapa, quizá la más importante: tomar una decisión acerca del tipo de rehabilita ción más adecuado; es ahora cuando entran en juego todos aquellos conceptos a los que se podrá asignar el papel de "variables" y entre los cuales se encuentra el incremento esperado del volúmen e intensidad de las cargas del tránsito que circulará por el pavimento, el costo de los trabajos de rehabilitación y su relación con la disponibilidad de fondos

para su ejecución, la vida útil que deberá considerarse a la rehabilitación y el costo de su mantenimiento; otro factor importante, sobre todo en caminos cuyo tránsito representa movilización de bienes de consumo o que genera desarrollo económico, es el que se relaciona con la posibilidad de interrupción o retraso de dicho movimiento, que puede originarse con motivo de las obras de rehabilitación proyectadas y su repercusión en los costos de transporte para los usuarios.

### V.3 DISEÑO DE REFUERZO.

Habiendo analizado los factores indicados en el párrafo anterior y una vez que se ha determinado que el refuerzo del pavimento es la medida de rehabilitación más adecuada, se requiere cuantificar 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 subdrenaje y de todas aquellas que aseguren al máximo el comportamiento satisfactorio del pavimento.

Los procedimientos de diseño de refuerzo que se mencionan a continuación son aplicables cuando el pavimento por reforzar es de tipo flexible o asfáltico, aún cuando incluyan en su estructuración capas estabilizadas con materiales tales como asfalto, cal, cemento, etc. Además, los espesores de refuerzo deben ser proporcionados por medio de una sobrecarpeta de concreto asfáltico o una combinación de ésta y

capas de material granular que podrá ser estabilizado o tratado con los materiales anteriores señalados. Sobrecarpeta se puede definir como la capa o conjunto de capas constituidas por material pétreo y un producto asfáltico que se coloca sobre un pavimento deteriorado por el uso.

### V.3.1 Refuerzo requerido a partir de la información de las medidas de deflexión.

Los métodos aquí presentados utilizan las deflexiones medidas en la superficie del pavimento, utilizando la viga Benkelman bajo la acción de la carga correspondiente a un eje simple con arreglo de llanta dual; si las deflexiones son obtenidas con otro equipo, por ejemplo, el deflectógrafo dinámico (Dynalect), existen correlaciones que permiten transformar a deflexiones tipo Benkelman, las obtenidas mediante este procedimiento (fig.V.1.). Es necesario insistir aquí nuevamente en la reserva con que ha de manejarse estas correlaciones, debido a las condiciones locales con que han sido desarrolladas.

Algunos de los métodos para diseño de refuerzo que utilizan la información de las medidas de deflexión son:

#### V.3.1.1 Método de California (Ref.2).

Este método ha sido desarrollado con base en la observación del comportamiento de pavimentos reforzados y

su premisa fundamental consiste en establecer el límite máximo de deflexión que pueda permitirse a la estructura del pavimento, como una medida de su capacidad estructural; dicho 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 kgs. (5,000 lbs) que el pavimento ha de soportar.

En la figura V.2 se presenta una gráfica que permite determinar el nivel de deflexión tolerable en la superficie del pavimento; el conjunto de rectas corresponde a los diversos espesores de la capa asfáltica existente, o en su caso, al espesor de una base tratada con cemento; el eje de las abscisas corresponde al número de repeticiones de una carga por rueda de 2,270 kgs (5,000 lbs) y puede observarse que el límite máximo de deflexión permisible, que se obtiene en el eje de las ordenadas, es de 40 milésimos de pulgada.

Para valuar un pavimento utilizando el método de California se seguirán las siguientes etapas:

- 1.- Con ayuda de la gráfica de la figura V.2 y después de haber hecho el análisis de tránsito, hasta llegar al número de ruedas de carga equivalente de 2,270 kgs (5,000 lbs), podrá calcularse la deflexión tolerable, del tipo Benkelman.
- 2.- A continuación, deberán medirse las de-

flexiones que realmente tiene el pavimento en estudio. Para tal fin se utilizará una viga Benkelman ( si se utiliza equipo Dynaflect se hará uso de la correlación de la figura V.1) y de un camión lastrado con 6,810 kgs (15,000 lbs) en su eje trasero (dual). El intervalo de medición es recomendado por California en el orden de los 8m, pero seguramente puede variarse un poco de acuerdo con las condiciones del pavimento que se valúa.

3.- Obtenidas las deflexiones reales en el pavimento que se valúa, debe determinarse el valor de dicho concepto de tal manera que un 20% de las deflexiones medidas resulte mayor y el 80% restante, correspondiente, menor. Esta deflexión estadística se representará por  $\delta_{80}$ .

4.- El valor del  $\delta_{80}$  deberá compararse con la deflexión tolerable obtenida en el paso 1. Al hacer la comparación téngase presente que la máxima deflexión tolerable será 0.101 cm (0.040 pulg.). Si  $\delta_{80}$  es menor que la deflexión tolerable, se considera

en el método de California que aún no se requiere ningún refuerzo en el pavimento en estudio como no sea un riego de sello o un riego de rejuvenecimiento, pero si  $\delta_{80}$  resulta mayor que la deflexión tolerable, deberá determinarse un porcentaje de reducción en la deflexión medida, según la siguiente expresión:

$$R_{\delta} = \frac{\delta_{80} - \delta_{TOL}}{\delta_{80}} \times 100$$

5.- Con el valor de  $R_{\delta}$  deberá entrarse a la gráfica de la figura V.3, para obtener los espesores de grava equivalente que se requieren como refuerzo del pavimento en estudio. La tabla que se muestra en la figura V.4 permite establecer la correlación entre dichos espesores y los de las estructuras prácticas de refuerzo que con venga utilizar en un caso dado.

El método de California establece como aconsejable una revisión de los valores de refuerzo obtenidos por la secuela anterior; esta revisión terminará hasta que sa obtenga un espesor de grava equivalen-

te como refuerzo, que convertido en concre  
to asfáltico con los coeficientes de la ta  
bla que se muestran en la figura V.4 de un  
nivel de deflexión tolerable igual o mayor  
a la deflexión de campo.

V.3.1.2 Método del Instituto Norteamericano  
del Asfalto (Ref.2).

El procedimiento propuesto por el Instituto  
Norteamericano del Asfalto como metodología de diseño de re-  
fuerzo de los pavimentos flexibles o asfálticos, consiste en  
el establecimiento de un límite de deflexión a la estructura  
del pavimento, el cual es función del número e intensidad de  
aplicaciones de carga a que estará sujeto dicho pavimento.

A continuación se indica la secuencia que de-  
berá seguirse para la aplicación del método del Instituto  
Norteamericano del Asfalto utilizando la información de las  
deflexiones:

- 1.- El primer paso de éste método consiste en  
determinar el número de tránsito para di-  
seño (NTD).
- 2.- La siguiente etapa es obtener las defle-  
xiones del pavimento que se valúa por me-  
dio de la viga Benkelman o un método simi

lar (Dynalect). Esta información se deberá manejar estadísticamente, de donde la deflexión característica de diseño se establece según el Instituto Norteamericano del Asfalto, mediante la ecuación:

$$\delta_c = (\bar{X} + 2S) fc,$$

donde:

$\delta_c$  = deflexión característica.

$\bar{X}$  = media aritmética de los valores individuales de la deflexión en el tramo considerado.

S = 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.

La figura V.5 proporciona una gráfica que permite calcular el valor del coeficiente de ajuste por la temperatura de la carpeta.

La deflexión característica y el número de tránsito para diseño son los datos con los que puede entrarse en la gráfica de la figura V.6, en la que puede calcularse el espesor de concreto asfáltico que el pavimento necesita como refuerzo.

La figura V.7 proporciona una gráfica en la que, entrando con la deflexión característica que corresponde a un cierto camino en la actualidad, puede obtenerse el número de tránsito para diseño más alto que pueda tener el camino si no requiere reparación. Este número deberá compararse con el número de tránsito para diseño que realmente tenga el camino en cuestión; si este último es menor que el calculado con la gráfica, el pavimento 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 hecho, realizarse anteriormente.

Si el número de tránsito para diseño que tiene el pavimento es menor que el calculado con la gráfica de la figura V.7 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 re-

parado.

La tabla que se muestra en la figura V.8 puede servir para realizar los cálculos necesarios.

### V.3.2 Refuerzo requerido a partir de la información de las pruebas del valor relativo de soporte (VRS).

Existen en el momento diferentes modalidades en la forma de aplicar esta información, aunque en general todas ellas son conceptualmente iguales.

En este trabajo se manejarán los métodos usados por el Instituto Norteamericano del Asfalto y el del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. (I.I. DE LA UNAM.).

#### V.3.2.1 Método del Instituto Norteamericano del Asfalto.

El método del Instituto Norteamericano del Asfalto, utilizando la información del VRS, es prácticamente similar al método por deflexiones del mismo Instituto, indicando anteriormente, y consiste en lo siguiente:

Como primer paso es necesario calcular el número de tránsito de diseño (NTD); después con un VRS de diseño, representativo del tramo, se entra al nomograma de la figura V.9, propuesto por el propio Instituto y se encuentra

un espesor total de pavimento asfáltico.

El método es usado principalmente para diseño de pavimentos nuevos, aunque se puede usar para revisión de los ya construídos, haciendo una comparación de espesor entre el existente y el diseñado. Como este método da espesores totales de pavimento asfáltico, existen equivalencias de éste con las capas de base y sub-base. Estas equivalencias son las siguientes:

1" de concreto asfáltico = 2.7" de sub-base.

1" de concreto asfáltico = 2" de base.

1" de concreto asfáltico = 1.3" de base negra.

Con estas equivalencias es posible comparar si el pavimento en estudio se encuentra en condiciones favorables o si es necesaria la colocación de un refuerzo.

#### V.3.2.2 Método del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. (Ref.4).

En México se utiliza predominantemente la prueba del valor relativo de soporte (VRS) como base en los métodos de diseño en los pavimentos de carreteras. El más importante de ellos es el desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, debido a que se elaboró pensando en los problemas y carencias que existen en nuestro país.

El método consiste básicamente en la obtención de tres (3) conceptos:

- 1) Se maneja el número de repeticiones de carga ( $ZL$ ) que el pavimento, diseñado con un cierto espesor, podrá resistir antes de fallar, definiendo falla como la aparición de una deformación permanente de 2.5 cm en un 20% del área pavimentada.
- 2) Se acepta que el VRS se distribuya en el espesor de la sección resistente del pavimento en forma análoga a como se distribuyen los esfuerzos normales verticales, según la distribución de Boussinesq.
- 3) Con un sistema de trabajo como el anterior desaparece toda distinción formal entre capas de pavimento, subrasante y terracería, manejándose en forma racional un conjunto estructural único.

Para encontrar el número de repeticiones de carga o tránsito acumulado ( $ZL$ ), es necesario contar con el análisis de tránsito y sus coeficientes de daño. La información anterior se maneja como se ve en la tabla que muestra la figura V.10.

Para encontrar el VRS de diseño, es necesario tratar los datos obtenidos en el campo en una forma estadística de la manera como lo indica el Instituto de Ingeniería, esto es:

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

donde:

$VRS_D$  = Valor relativo de soporte de diseño.

$\overline{VRS}$  = Valor relativo de soporte promedio en el campo.

$C$  = Factor que depende del nivel de confianza establecido.

$V$  = Coeficiente de variación del VRS en el campo;  $V = \frac{S}{\overline{VRS}}$

$S$  = Desviación estándar.

Con los datos anteriores se entra en la gráfica de diseño figura V.11 tal como lo indica el Instituto, para obtener el espesor total requerido; este último se compara con el espesor existente tomando en cuenta las equivalencias de las capas constitutivas del pavimento, con el fin de obtener el espesor total equivalente de cada una de ellas.

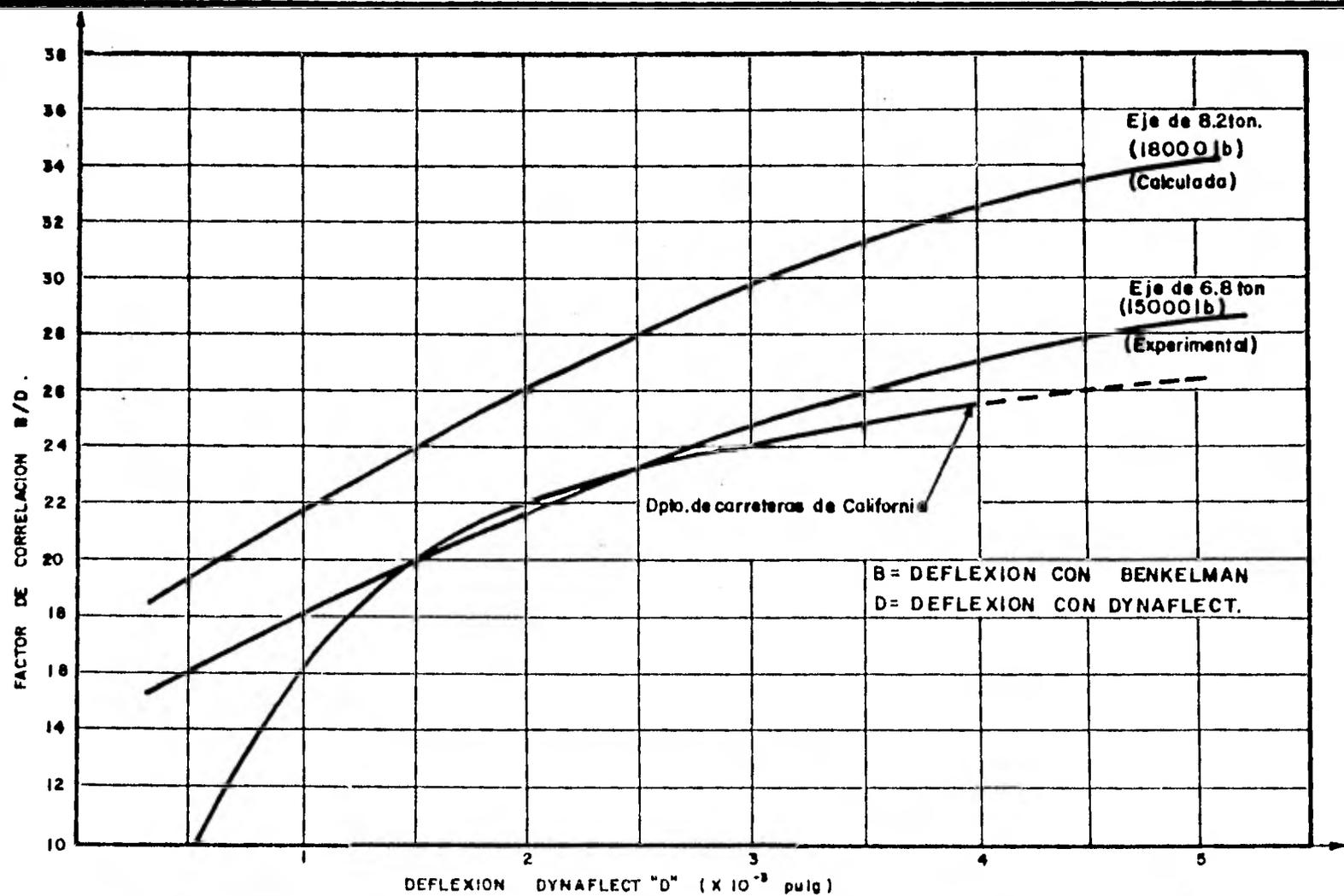
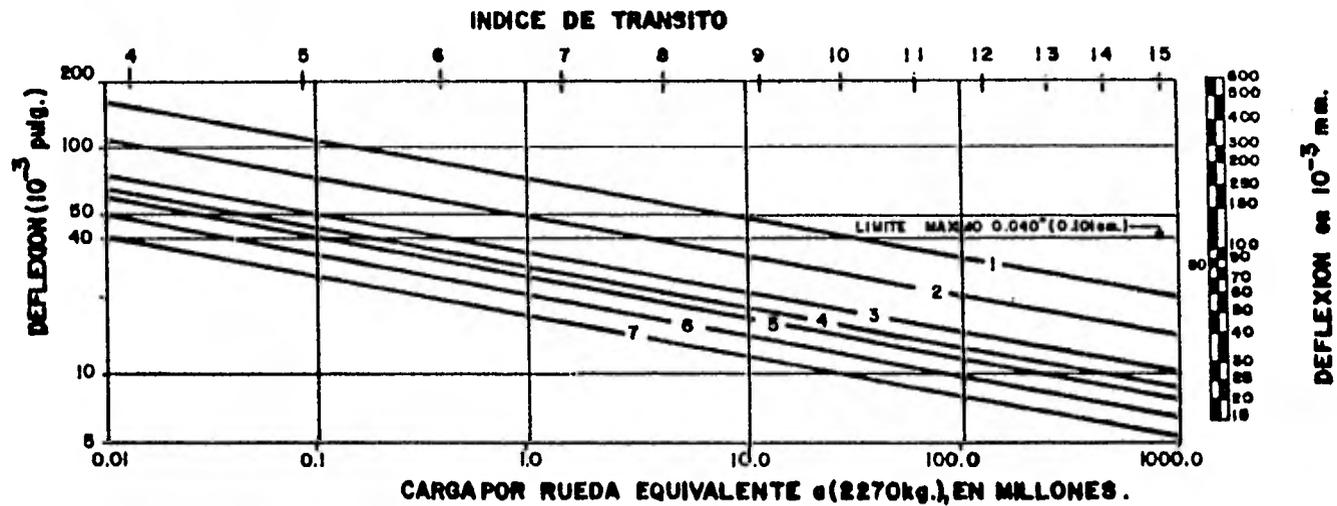
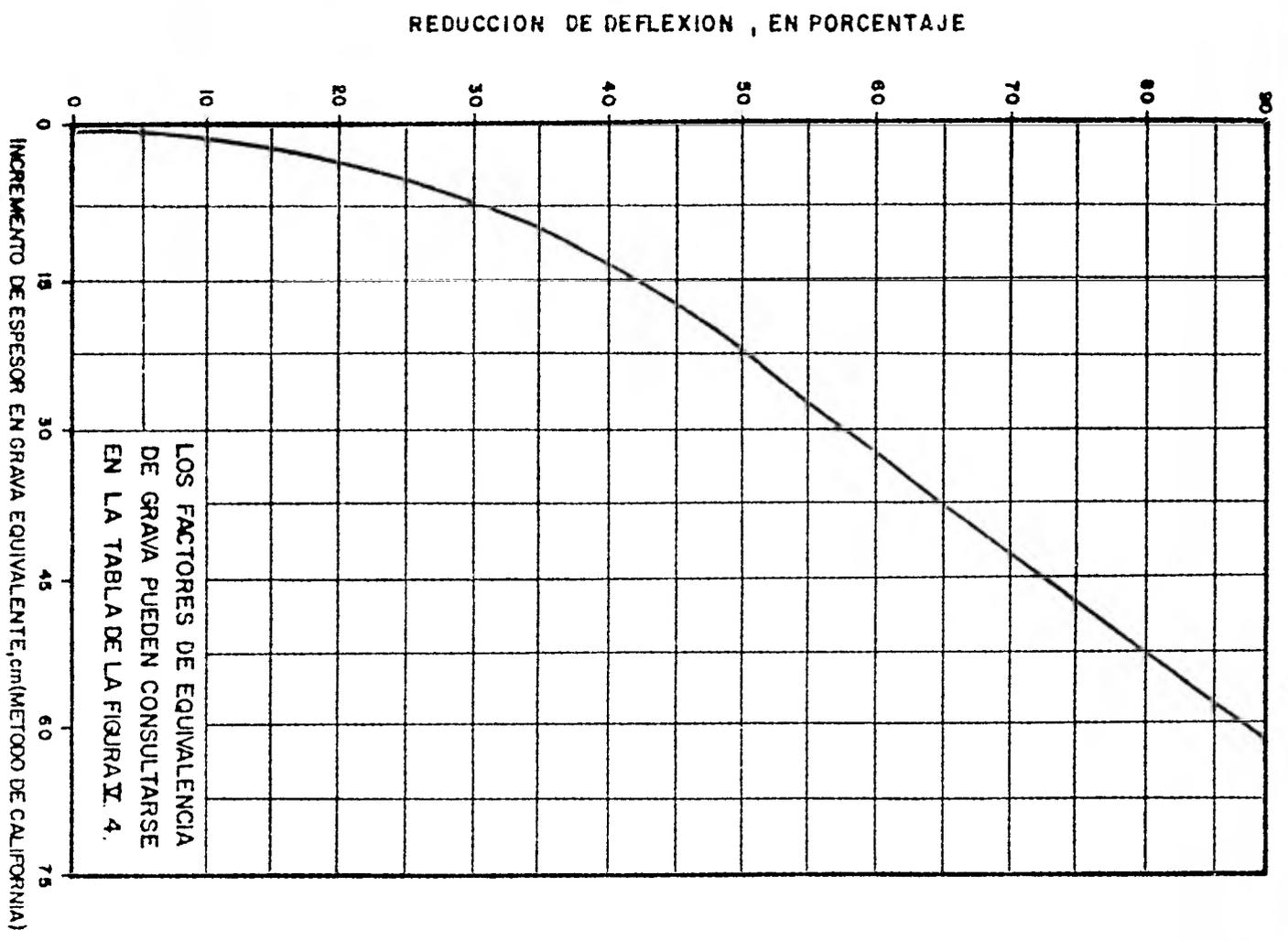


FIG. V. 1. CORRELACION OPERACIONAL ENTRE LA VIGA BENKELMAN Y EL DISPOSITIVO DYNAFLECT.



TIPOS DE SUPERFICIES DE RODAMIENTO	Espesor (cm)
1: Tratamiento Superficial _____	1.2
2: Concreto Asfáltico _____	3
3: Concreto Asfáltico _____	6
4: Concreto Asfáltico _____	7.5
5: Concreto Asfáltico _____	9
6: Concreto Asfáltico _____	10
7: Concreto Asfáltico _____	15
7: Base Tratada con Cemento _____	15

**FIG.V. 2 GRAFICA PARA LA DETERMINACION DEL NIVEL TOLERABLE DE DEFLEXION EN EL METODO DE CALIFORNIA**

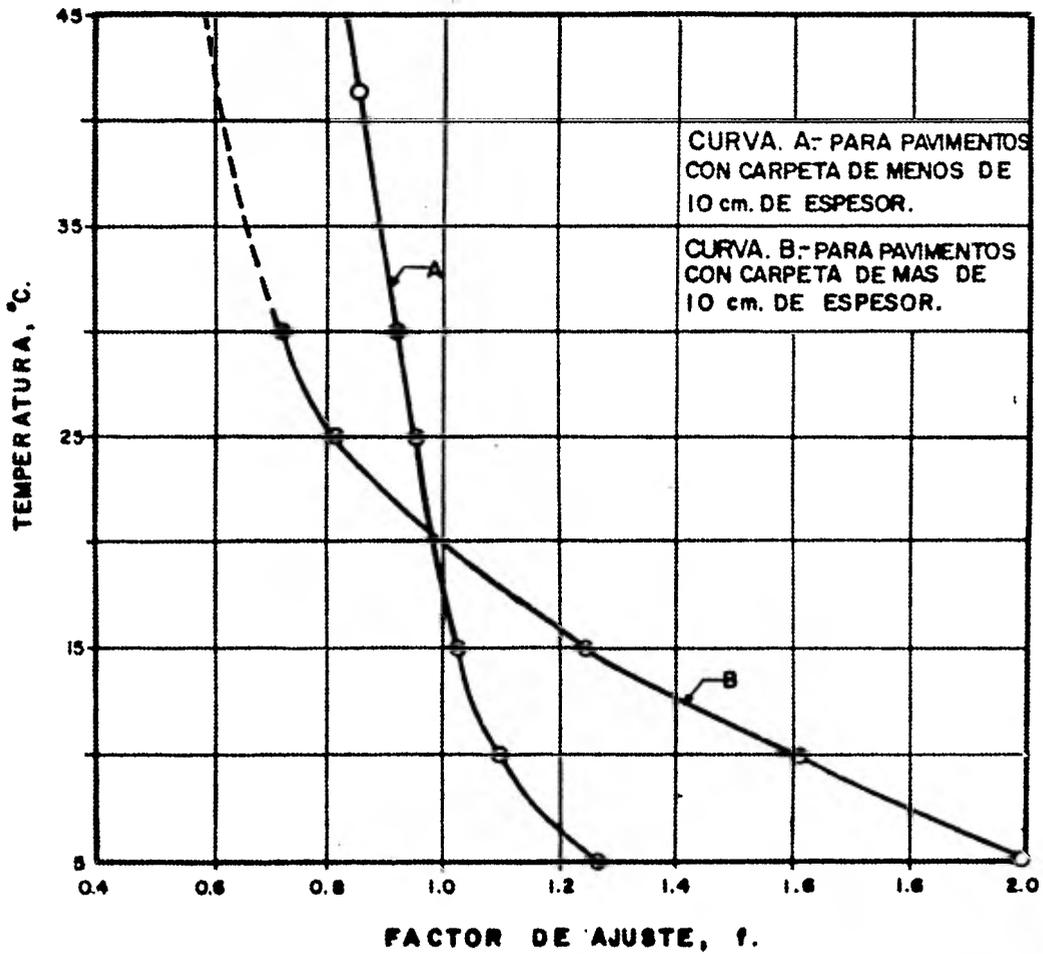


LOS FACTORES DE EQUIVALENCIA DE GRAVA PUEDEN CONSULTARSE EN LA TABLA DE LA FIGURA IX. 4.

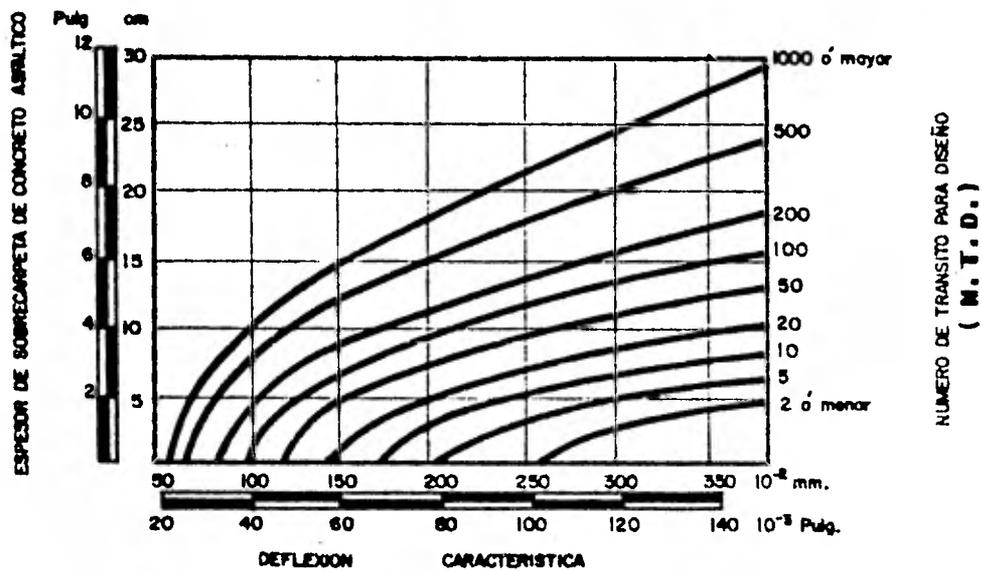
FIG. IX. 3. INCREMENTO DEL ESPESOR DE UN PAVIMENTO (GRAVA EQUIVALENTE) EN FUNCION DEL COEFICIENTE DE REDUCCION DE DEFLEXIONES.

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	1.6
	13	1.6
	14	1.5
BASES ESTABILIZADAS CON ASFALTO		1.2
BASES TRATADAS 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

**FIG.V.4. FACTORES DE GRAVA EQUIVALENTE PARA DIVERSAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.**



**FIG. V. 5. FACTORES DE CORRECCION POR TEMPERATURA EN LAS DEFLE-  
 XIONES DE VIGA BENKELMAN (METODO DE VALUACION DEL  
 INSTITUTO NORTEAMERICANO DEL ASFALTO).**



**FIG. V. 6** ESPESORES DE SOBRECARPETA DE REFUERZO, EN FUNCION DE LA DEFLEXION CARACTERISTICA DEL PAVIMENTO SEGUN EL INSTITUTO NORTEAMERICANO DEL ASFALTO.

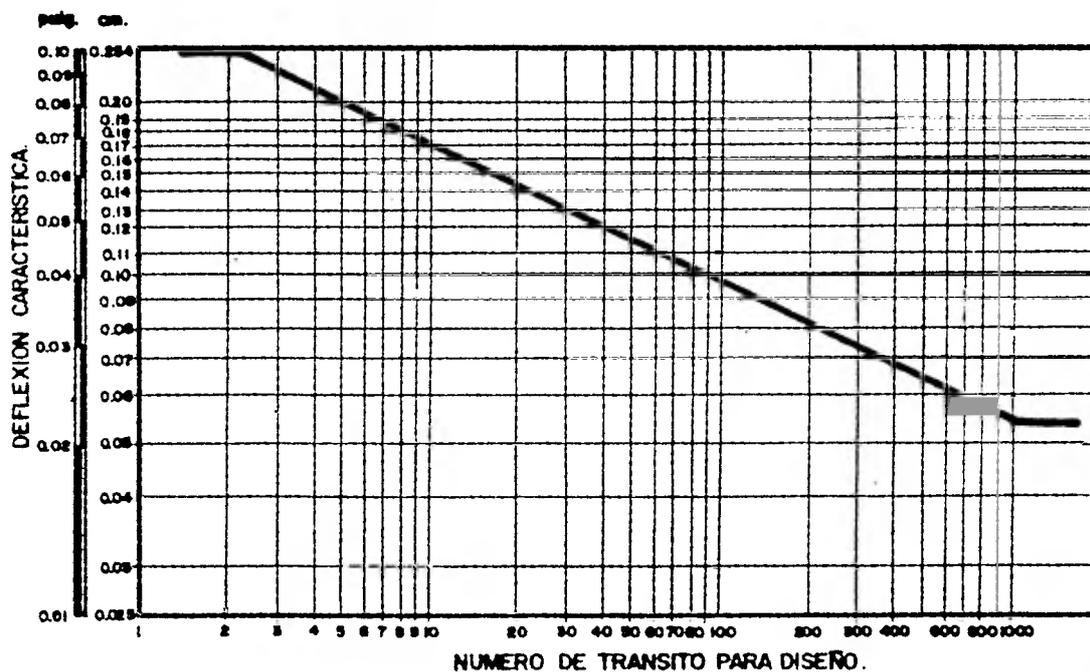
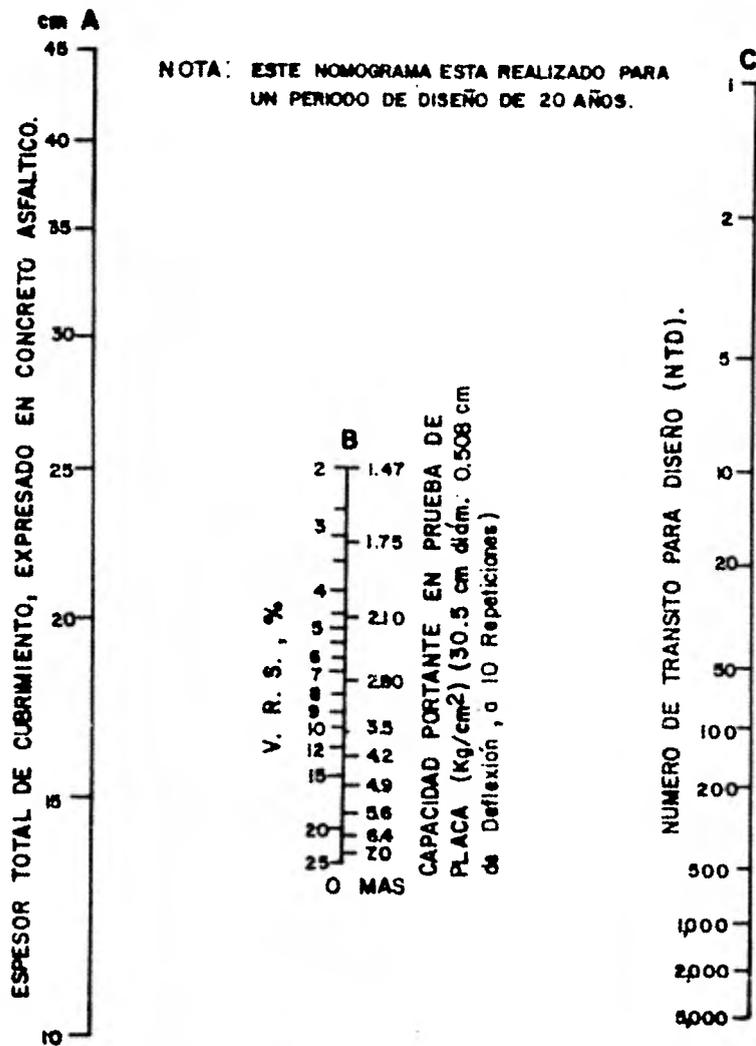


FIG. V. 7. NUMERO DE TRANSITO LIMITE ( A PARTIR DEL QUE SE REQUIERE REFUERZO) PARA UNA DEFLEXION CARACTERISTICA DADA.

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

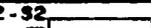
FIG.V. 8 FACTORES DE CORRECCION DEL NTI, PARA OBTENER EL N.T.D.



**FIG. VI. 9 NOMOGRAMA DEL INSTITUTO NORTEAMERICANO DEL ASFALTO PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON BASE EN V.R.S. O PRUEBAS DE PLACA.**

Carretera \_\_\_\_\_ Tramo \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

Notas \_\_\_\_\_

TIPO DE VEHICULO	Número de vehículos en ambas direcciones	Coeficiente de distribución	Número de vehículos en el carril de proyecto	Coeficiente de vehículos cargados o vacíos	Tiempo del vehículo cargado o vacío por carril (h, m)	Coeficientes de ajuste por tránsito $P_i, P'_i$		Número de ejes equivalentes de 8.2 ton. $N_i, N'_i$	
						Z=0cm	Z=15cm	Z=0cm	Z=15cm
A <sub>p</sub> 				C=		0.005	0		
				V=		0.005	0		
A <sub>c</sub> 				C=		0.34	0.042		
				V=		0.34	0.001		
B 				C=		2.0	1.150		
				V=		2.0	0.640		
C2 				C=		0.88	0.463		
				V=		0.88	0.027		
C3 				C=		0.88	0.675		
				V=		0.88	0.044		
T2-S1 				C=		3.0	1.740		
				V=		3.0	0.140		
T2-S2 				C=		4.0	1.570		
				V=		4.0	0.210		
T3-S2 				C=		5.0	1.300		
				V=		5.0	0.150		

NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES	COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN PARA EL CARRIL DE PROYECTO
2	50
4	40 - 50
6 o más	30 - 40

Total

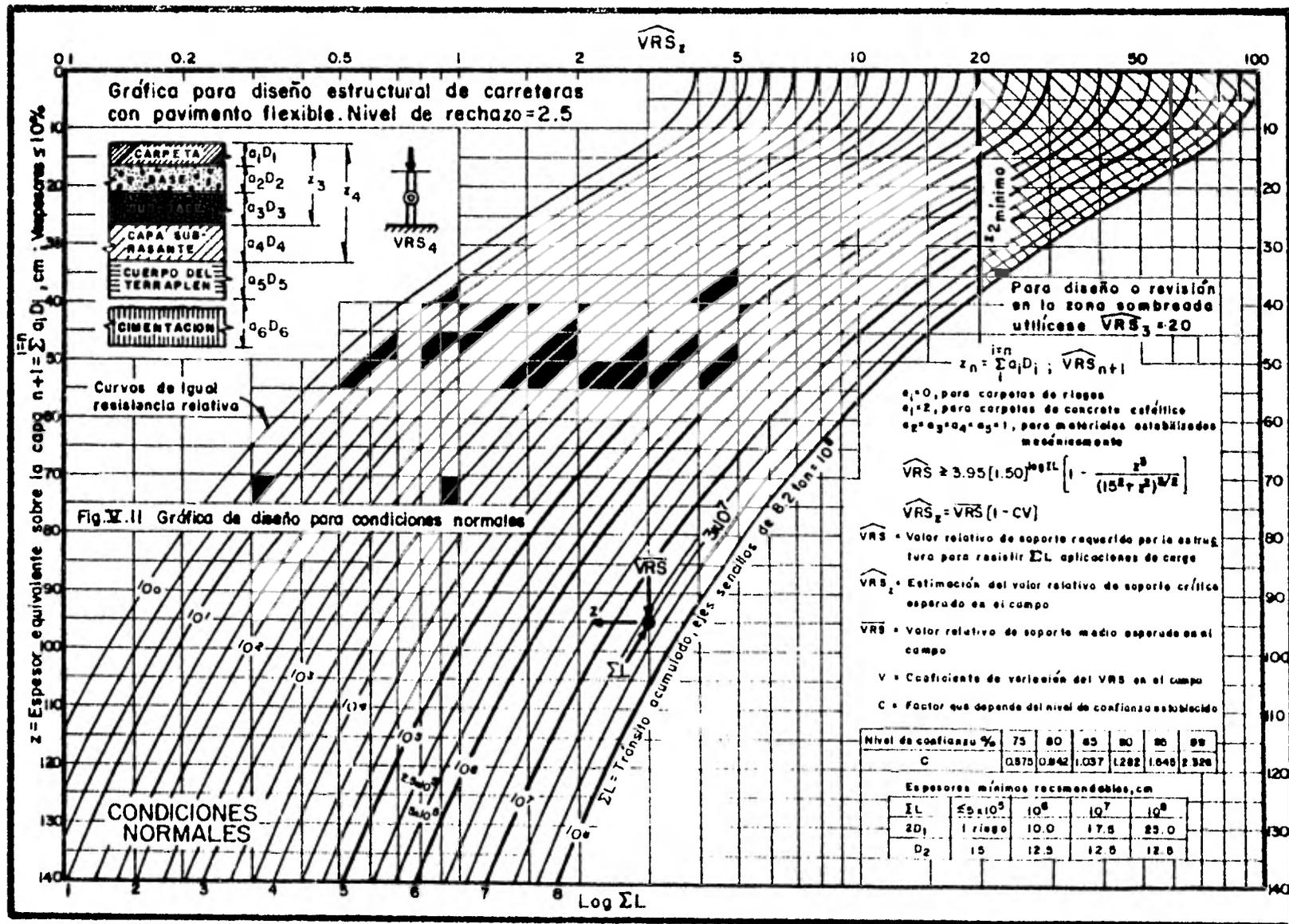
$T_0, T'_0$  = tránsito equivalente inicial

Años de servicio,  $n =$  \_\_\_\_\_ Tasa de crecimiento anual,  $r =$  \_\_\_\_\_

Coeficiente de acumulación del tránsito,  $C =$  \_\_\_\_\_

Tránsito acumulado,  $I_L = CT_0 \cdot C$  \_\_\_\_\_  $I'_L = CT'_0 \cdot C$  \_\_\_\_\_

FIG.V.10 TABLA PARA CALCULO DEL TRANSITO ACUMULADO EN FUNCION DE EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 8.2 ton.



= CAPITULO VI =

SISTEMAS DE CONSTRUCCION, PRACTICAS USUALES Y NUEVAS TECNICAS.

- VI.1 CONCEPTOS GENERALES.
- VI.2 MANTENIMIENTO TRADICIONAL DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES EN NUESTRO PAIS.
- VI.3 CRITERIOS PROBABLES DE REPARACION DE FALLAS MAS COMUNES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.
- VI.4 PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS MAS USUALES PARA LA RECONSTRUCCION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.
- VI.5 NUEVAS TECNICAS CONSTRUCTIVAS Y EQUIPOS APLICADOS PARA LA RECONSTRUCCION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

## VI. SISTEMAS DE CONSTRUCCION, PRACTICAS USUALES Y NUEVAS TECNICAS.

### VI.1 CONCEPTOS GENERALES.

Al iniciarse en nuestro país la construcción de carreteras se utilizaron procedimientos constructivos rudimentarios, pero acordes a las necesidades de la época, aún cuando en ciertos aspectos técnicos, como lo es el de la utilización de materiales, no se tenían las bases necesarias para optimizar su empleo.

Conforme pasó el tiempo los procedimientos y equipos de construcción fueron mejorando, aunandose a esto la implantación de técnicas de laboratorio, para efectuar un control de calidad en los materiales, lo que permitió se construyesen mejores obras viales.

Las fuertes cargas producidas por los vehículos automotores, su velocidad de tránsito, el número de sus repeticiones, etc., hicieron que las técnicas de construcción y reconstrucción de pavimentos hayan sufrido una evolución.

En la técnica de los pavimentos flexibles o asfálticos, y a los cuales nos referimos en éste trabajo, existen especificaciones respecto a la calidad de los materiales que vayan a ser usados en la construcción y reconstrucción de las diferentes capas que constituyen este tipo de pavimentos.

Ahora bien, unas de las principales inversiones posibles en los caminos es lo referente a la Conservación o Mantenimiento, ya que si esta es adecuada, no sólo garantiza la inversión inicial de la construcción, sino que alarga la vida tanto del camino como de los vehículos que lo usan.

La conservación es un problema tanto económico como técnico, y para la ejecución de los trabajos, estos deben efectuarse oportunamente con el fin de que los gastos que se hagan sean mínimos. Sin embargo, es necesario contar con recursos económicos disponibles y personal con experiencia, ya que sin ello todos los sistemas, materiales y equipo que se empleen, por buenos que sean, tendrán como resultado pérdidas económicas y trabajos defectuosos.

En este trabajo, se definirá Conservación Normal o Mantenimiento Normal al conjunto de trabajos constantes o periódicos que se ejecutan para evitar el deterioro o destrucción pre

maturó de los pavimentos y que los hacen mantenerse en su cali  
dad y valor.

En lo que se refiere a reconstrucción de caminos, en la actualidad se le presta gran atención a una nueva técnica que se ha denominado con el término de "Reciclado de pavimentos" o "Recirculación de pavimentos".

La reconstrucción de pavimentos asfálticos se continua ha  
ciendo, hasta la fecha, con los equipos de construcción tales como tractores, motoconformadoras, compactadores, plantas de mezcla asfáltica, etc., aunque recientemente se han incluido nuevos equipos que nos permiten el reaprovechamiento de las mezclas asfálticas existentes en el camino, y estos son las despavimentadoras o fresadoras y las plantas de mezcla asfáltica para reciclado.

#### VI.2 MANTENIMIENTO TRADICIONAL DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES EN NUESTRO PAIS.

Considerando que, de todos los elementos que constituyen un camino, la superficie de rodamiento es lo que más determina la posibilidad de un tránsito rápido, cómodo y seguro, será por demás importante el corregir oportunamente sus deterioros para evitar que progresen y obliguen a una reconstrucción total para su arreglo.

Desde hace ya algunos años, tradicionalmente se le ha da  
do mantenimiento normal a los pavimentos flexibles mediante ba

cheo, sellado de grietas, riegos y renivelaciones, que bien pueden utilizarse en forma aislada o combinada. A continuación se describen, en términos generales, cada uno de estos trabajos (Ref. 5):

- a) Relleno de grietas.- Los procedimientos constructivos a utilizar para efectuar la corrección de grietas están en función del tipo (aisladas o abundantes), del ancho y de la profundidad de las mismas; estos procedimientos van desde relleno de grietas utilizando un producto asfáltico, mortero asfáltico o bien tratamientos superficiales, hasta la programación de una carpeta nueva o sobrecarpeta.
  
- b) Renivelación.- Este concepto se puede definir como el conjunto de labores requeridas para reponer la porción de la superficie de rodamiento que ha sufrido alguna deformación y/o desplazamiento de su nivel original. La manera de efectuar la renivelación depende de la magnitud de la deformación; los trabajos para corregir dicha deformación puede ser el sistema de riegos superficiales o bien usando mezcla asfáltica.

c) Bacheo.- Es el conjunto de trabajos requeridos para reponer una porción de la superficie de rodamiento que ha sido destruida y removida por el tránsito. Estas porciones se dividen por su tamaño en "calaveras" y baches, según sea su dimensión mayor, respectivamente, inferior o superior a quince (15) centímetros. Los métodos para su corrección se basan en la forma de aparición de las "calaveras" y/o baches (aisladas o continuas) a lo largo del camino y de las dimensiones de las mismas. El procedimiento para su reparación deberá ser utilizando mezcla asfáltica.

d) Riego de Sello.- Es la aplicación de un material asfáltico que se cubre con una capa de material pétreo para impermeabilizar el pavimento, protegerlo del desgaste y proporcionar una superficie antiderrapante. El procedimiento constructivo se indica detalladamente en párrafos posteriores.

VI.3 CRITERIOS PROBALES DE REPARACION DE FALLAS MAS COMUNES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.

En el capítulo tercero de este trabajo se indican los tipos más comunes de fallas en pavimentos flexibles y sus posibles causas; a continuación se indican sus posibles criterios de probable reparación para cada una de estas fallas.

EJEMPLOS SOBRE TIPOS DE FALLAS MAS COMUNES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES Y CRITERIOS PROBABLES DE REPARACION.

GRUPO EN QUE SE CLASIFICA LA FALLA O DEFECTO	IDENTIFICACION DE LA FALLA.	CRITERIOS PROBABLES DE REPARACION.
	DESCRIPCION	
DISTORSIONES	BACHES (Deformaciones locales en que se ha destruido parcial o totalmente el pavimento. Se asocian con agrietamientos y con altos contenidos de agua en los materiales).	Cajear rectangularmente el área fallada, eliminando los materiales de mala calidad o que presenten humedad excesiva. Rellenar con materiales de características adecuadas, reponiendo la estructura del pavimento mediante capas debidamente compactadas. Las paredes de la caja deben hacerse verticales y dos (2) de sus lados serán normales a la dirección del tránsito. La caja debe abarcar cuando menos 30 cm. dentro de la zona aparentemente sana, adyacente al área fallada. Se procurará, mediante una regla, que el nivel superior del relleno quede bien perfilado respecto al resto de la sección transversal. Si los baches se manifiestan en zonas de cortes, es conveniente revisar y corregir previamente las deficiencias de drenaje.

GRUPO EN QUE SE CLASIFICA LA FALLA O DEFECTO.	IDENTIFICACION DE LA FALLA.	CRITERIOS PROBABLES DE REPARACION.
	DESCRIPCION	
DISTORSIONES (Continuación)	ASENTAMIENTOS (Degcensos en el nivel original de la superficie).	Renivelar con mezcla asfáltica, limpiando previamente la superficie y dando un riego de liga.
	DESPLAZAMIENTO O CORRIMIENTOS DE LA CARPETA. (Principalmente en las orillas).	Eliminar la carpeta desplazada, cajeando rectangularmente la zona afectada. Reponer la carpeta en forma adecuada y sellar la nueva capa.
	SURCOS O RODADAS MARCADAS.	Renivelar con mezcla asfáltica de características adecuadas; previamente, delimitar el área, limpiarla de materias extrañas y dar un riego de liga.
	DEPRESIONES EN ZANJAS NO BIEN RELLENADAS.	Renivelar adecuadamente con mezcla asfáltica, previa limpieza de la superficie y aplicación de asfalto de liga.
AGRIETAMIENTOS.	GRIETAS LONGITUDINALES EN LAS ORILLAS.	<p>Si las grietas son muy finas (de abertura muy pequeña), es bastante difícil rellenarlas y a veces sólo hay que limitarse a tenerlas en observación para ver la forma como progresan. Cuando es factible, se sellan con emulsión asfáltica o con asfaltos rebajados.</p> <p>Si las grietas tienen una abertura del orden de 3mm. o más, se pueden calafatear con un mortero asfáltico, o con una mezcla asfáltica, con rebajado y arena o bien con un cemento asfáltico.</p>

GRUPO EN QUE SE CLASIFICA LA FALLA O DEFECTO.	IDENTIFICACION DE LA FALLA.	CRITERIOS PROBABLES DE REPARACION.
	DESCRIPCION	
AGRIETAMIENTOS. (Continuación)	GRIETAS LONGITUDINALES EN LAS ORILLAS. (Continuación).	<p>La zona de las grietas por sellar debe barrerse con una escoba manual y de ser posible, conviene utilizar aire comprimido para limpiar mejor las aberturas por donde entrará el material sellante.</p> <p>El mortero asfáltico o la mezcla de asfalto rebajado y arena se aplicarán en forma alterna, cuidando que la última capa sea del primer material, y deben tener la fluidez adecuada para penetrar en las grietas. Puede ser necesario que sobre la superficie del sellante recién aplicado se riegue arena seca, para que el tránsito no lo levante.</p>
	GRIETAS LONGITUDINALES EN EL CENTRO.	Calafatear debidamente las grietas, de acuerdo con lo descrito en el caso anterior.
	GRIETAS TRANSVERSALES.	<p>Proceder en forma similar a los descritos en el caso del arreglo de grietas longitudinales.</p> <p>Puede ser conveniente aplicar un riego de sello que abarque toda el área agrietada.</p>
	GRIETAS EN FORMA DE MAMA O DE PIEL DE COCODRILO.	Si el agrietamiento no ha originado movimientos en los fragmentos de carpeta y el área no está muy deformada, podría procederse a un calafateo o tratamiento de las grietas longitudinales, pero

GRUPO EN QUE SE CLASIFICA LA FALLA O DEFECTO.	IDENTIFICACION DE LA FALLA. DESCRIPCION	CRITERIOS PROBABLES DE REPARACION.
AGRIETAMIENTOS (Continuación)	GRIETAS EN FORMA DE MAHA O DE PIEL DE COCODRILO. (Continuación)	<p>las más de las veces esto constituye sólo un arreglo temporal, incluso cuando se aplica mortero asfáltico o mezcla de rebajado y arena a toda el área agrietada.</p> <p>Por lo general, es necesario cajear, eliminar la carpeta agrietada y los materiales de mala calidad o con exceso de humedad de las capas inferiores y reponer los materiales extraídos con otros adecuadamente colocados, en forma similar a lo descrito en el caso del arreglo de baches.</p> <p>Si este tipo de fallas tiende a abarcar áreas más o menos grandes, es necesario analizar el diseño y la construcción del pavimento y el drenaje.</p>
	GRIETAS POR CORRI-MIENTO DE LA CARPETA (EN LAS ORILLAS).	<p>Si el agrietamiento se ha detenido y no se presentan desplazamientos notables o corrugaciones en la carpeta, puede ser suficiente con calafatear o tratar las grietas en la forma descrita para casos anteriores.</p> <p>Si la carpeta, además de agrietada, está desplazada, corrida y/o deformada, tendrá que levantarse y reponerse adecuadamente.</p>
	GRIETAS PARABOLICAS.	Proceder en forma similar al caso anterior.
DESINTEGRACIONES	DESPRENDIMIENTOS DEL MATERIAL PETREO EN LA CARPETA O DEL RIEGO DE SELLO.	Previo barrido de la superficie aplicar un riego ligero, bien distribuido y correctamente dosificado, de asfalto rebajado o

GRUPO EN QUE SE CLASIFICA LA FALLA O DEFECTO.	IDENTIFICACION DE LA FALLA. DESCRIPCION.	CRITERIOS PROBABLES DE REPARACION.
DESINTEGRACIONES (Continuación)	DESPRENDIMIENTOS DEL MATERIAL PETREO EN LA CARPETA O DEL RIEGO DE SELLO. (Continuación)	de emulsión asfáltica, para evitar que el material se continúe desprendiendo. Si el desprendimiento es atribuible a la poca afinidad del material pétreo con el asfalto, se procurará que el material asfáltico que se emplee satisfaga esta propiedad, bien sea solo o mediante el uso de algún aditivo adecuado. Si el desprendimiento del material es muy pronunciado, puede requerirse la aplicación de un nuevo riego de sello o de una sobrecarpeta y riego de sello, de características adecuadas.
	DESPRENDIMIENTOS DE LA PELICULA DE ASFALTO DEL MATERIAL PETREO (MEZCLA ASFALTICA).	Dar un riego, en proporción adecuada, con un producto asfáltico que tenga buena afinidad con el material pétreo, bien sea solo o mediante el uso de algún aditivo. Puede ser necesaria la aplicación de un riego de sello o de un mortero asfáltico, según sea el caso.
	ROMPIMIENTO DE LAS PARTICULAS DEL MATERIAL PETREO QUE PROPICIAN SU DESPRENDIMIENTO.	Proceder como el caso citado anteriormente de "Desprendimientos del material pétreo de la carpeta o del riego de sello".
	DESPRENDIMIENTO DE LA CARPETA, COMO CAJA.	Cajear rectangularmente los límites de la zona en que se ha desprendido la carpeta y reponer ésto con una mezcla asfáltica adecuada, previa limpieza de la superficie y aplicación del asfalto de liga.

GRUPO EN QUE SE CLASIFICA LA FALLA O DEFECTO.	IDENTIFICACION DE LA FALLA.	CRITERIOS PROBABLES DE REPARACION.
	DESCRIPCION	
DESINTEGRACIONES. (Continuación)	DESPRENDIMIENTO DE LA CARPETA, COMO CAPA. (Continuación)	Puede ser necesario renivelar, reponiendo la carpeta en las zonas en que se ha levantado y construir una sobrecarpeta.
DEFECTOS VARIOS.	SUPERFICIE LISA O DERRAMANTE.	<p>Si los materiales se pule<u>n</u> fácilmente, dar un riego de sello con materiales adecuados.</p> <p>Si la carpeta no presenta inestabilidad, puede ser suficiente con calentar superficialmente con quemadores y regar una cantidad adecuada de material pétreo de sello, fijándolo inmediatamente mediante planchado. Puede dar resultado también en vez de calentar superficialmente, agregar o regar el pétreo caliente y fijarlo mediante planchado.</p> <p>Si la carpeta es inestable puede ser necesario levantarla para retrabajarla y mejorarla y después sellarla o de lo contrario desecharla y reponerla por una nueva, a la que se aplicara un riego de sello.</p>
	ZONAS CON ASFALTO DESCUBIERTO EN CARPETAS DE RIEGOS DE SELLO.	Dar nuevo tratamiento que puede ser manual si el área es pequeña o difícil de corregir con máquina, consistente en nueva aplicación de asfalto y pétreos, a efecto de restaurar las condiciones originales o propuestas.

#### VI.4 PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS MAS USUALES PARA LA RECONSTRUCCION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

En muchas ocasiones los deterioros del pavimento pueden abarcar un área bastante grande y resultan antieconómicos los métodos de conservación normal, en estos casos es necesario aplicar los procedimientos de reconstrucción.

Los procedimientos más usuales de reconstrucción de pavimentos pueden ser varios y van desde la colocación de tratamientos superficiales, construcción de carpetas nuevas, construcción de sobrecarpetas, hasta reconstrucciones integrales. En seguida se describirán detalladamente los procedimientos más usuales (Ref. 5):

##### VI.4.1 RIEGO DE SELLO.

Este procedimiento se puede definir como la capa de material pétreo que se liga a la carpeta por medio de un producto asfáltico.

Atendiendo a la magnitud de los trabajos y organización establecida para efectuarlos, se considera el riego de sello como una labor de reconstrucción cuando la superficie tratada exceda de mil (1000) metros lineales continuos.

Los casos en los que se recomienda el riego de sello son los siguientes:

- 1) Cuando se requiera proporcionar una superficie de desgaste a una carpeta.
- 2) Cuando la carpeta existente esté agrietada y/o tenga textura muy abierta, para evitar que se introduzca agua y especialmente que ésta llegue a la base.
- 3) Dar rugosidad a la superficie para hacerla anti derrapante.
- 4) Reavivar el asfalto de una carpeta expuesta a la acción de la intemperie.
- 5) Proteger la carpeta cuando se inicia el proceso de desgranamiento y/o desgaste superficial.
- 6) Obtener en la superficie de rodamiento un color adecuado para mayor visibilidad nocturna.

#### PROCEDIMIENTO.

El procedimiento a seguir cuando se requiera la aplicación de algún riego de sello como solución de reconstrucción de un pavimento flexible es el siguiente:

- A) En la superficie por sellar deberán efectuarse previamente los trabajos de conservación normal que se requieran.

- B) La superficie por sellar deberá limpiarse de materia extraña y barrerse perfectamente para eliminar el polvo.
- C) Sobre la carpeta limpia se procederá a aplicar un riego de producto asfáltico del tipo y la cantidad por metro cuadrado fijados por el proyecto.
- D) Posteriormente y en el tiempo que indique el proyecto, se cubrirá el riego de producto asfáltico con el material pétreo.
- E) Inmediatamente después se pasará la rastra para eliminar ondulaciones, bordes o depresiones.
- F) Se procederá al planchado, el cual se iniciará con el rodillo liso; posteriormente y usándolo en forma alterna con la rastra, se planchará con el compactador de neumáticos el tiempo necesario para asegurar que el máximo del material pétreo se haya adherido al material asfáltico.
- G) Posteriormente, se procederá al barrido y recolección del material excedente que no se adhiera al ligante asfáltico.

Los materiales pétreos y los productos asfálticos que se utilizarán en riegos de sello deberán ajustarse a lo

indicado en la Referencia 1.

#### VI.4.2 RENIVELACION.

Los trabajos de renivelación pueden considerarse como conservación normal o como reconstrucción, según excedan o no en el volumen de doscientos (200) metros cúbicos de mezcla asfáltica por kilómetro.

Este procedimiento se define como el conjunto de operaciones requeridas para reponer al nivel original la porción de la superficie de rodamiento que ha sufrido alguna deformación y/o desplazamiento.

#### PROCEDIMIENTO.

La manera de efectuar las renivelaciones será la que a continuación se indica:

- 1) En caso de deformaciones pequeñas, del orden de uno (1) a tres (3) centímetros, estas podrán corregirse empleando el sistema de riegos de sello, indicados anteriormente.
- 2) Cuando las deformaciones sean superiores a los tres (3) centímetros, se usará para su corrección mezcla asfáltica, de acuerdo con los siguientes lineamientos:

- A) La zona por renivelar deberá limpiarse de materia extraña y efectuarse los trabajos de conservación normal correspondientes.
- B) Deberá definirse y marcarse el área por renivelar, siguiendo aproximadamente el perímetro que abarque en su totalidad la zona fallada.
- C) Una vez definida el área por renivelar, se abrirá una caja perimetral de aproximadamente cinco (5) centímetros de ancho y espesor, con el objeto de evitar espesores pequeños en las orillas de la renivelación, así como que la mezcla se "corra". Excepción hecha cuando la carpeta esté constituida por el sistema de un riego, deberá "picarse" la superficie de rodamiento en la zona por renivelarse, barriendo a continuación el material excedente.
- D) Se dará un riego de liga, con el tipo de producto asfáltico y temperatura que se indique en las especificaciones correspondientes.
- E) Habiendo realizado lo anterior, se procederá a rellenar el área por renivelar con mezcla asfáltica elaborada de acuerdo como lo indique el proyecto. Cuando la profundidad del

asentamiento exceda de siete (7) centímetros, deberá rellenarse en dos (2) o más capas; la capa superficial podrá tener hasta seis (6) centímetros de espesor suelto y las inferiores un máximo de diez (10) centímetros de espesor suelto.

F) Las capas deberán compactarse con rodillo o aplanadora. El pisón de mano sólo deberá usar se en compactación de renivelaciones poco profundas y cuya superficie no exceda de cuatro (4) metros cuadrados. En ningún caso deberá dejarse la zona renivelada a la acción del tránsito, sin antes proporcionarle la debida compactación.

G) Posteriormente y en el lapso de tiempo que indique el proyecto, se deberá sellar la zona renivelada.

#### VI.4.3. CONSTRUCCION DE UNA CARPETA NUEVA O DE UNA SOBRECARPETA.

Se denomina carpeta asfáltica a la capa o conjunto de capas que se colocan sobre la base, constituidas por material pétreo y un producto asfáltico, tal como se indicó en capítulos anteriores; su función primordial es la de proporció-

nar al tránsito una superficie estable prácticamente impermeable, uniforme y de textura apropiada.

La sobrecarpeta se define como la capa o conjunto de capas constituidas por material pétreo y un producto asfáltico que se colocan sobre un pavimento existente deteriorado por el uso; sus funciones principales son restituir las características adecuadas de servicio que tuvo el camino cuando fué originalmente terminado y aumentar la resistencia estructural del pavimento.

Cuando se pretenda construir una sobrecarpeta deberán efectuarse previamente los trabajos de conservación normal que requiera la carpeta existente.

Las carpetas o las sobrecarpetas asfálticas deberán satisfacer los siguientes requisitos:

- a) No deberán desplazarse ni desintegrarse por la acción del tránsito, durante su vida útil.
- b) Deberán tener resistencia al intemperismo.
- c) Deberán soportar, sin agrietarse, pequeñas deformaciones.

Las carpetas asfálticas, tal como se indicó en el segundo capítulo de este trabajo, empleadas para la construcción y reconstrucción de pavimentos asfálticos o flexibles, se pueden clasificar como se indica a continuación:

- 1) Por el sistema de riegos.
- 2) Por el sistema de mezcla en el lugar.
- 3) Por el sistema de mezcla en planta.

#### PROCEDIMIENTOS.

En seguida se describen las secuencias constructivas de cada uno de los tres métodos.

- 1) Utilizando el sistema de riegos.

Para la construcción de carpetas de riegos, en términos generales, se puede proceder de acuerdo con las etapas siguientes:

- A) Se barre la base impregnada.
- B) Sobre la base superficialmente seca se dará un riego de ligante asfáltico del tipo y en la cantidad fijada por el proyecto.
- C) Se cubre el riego del ligante asfáltico con una capa de material pétreo número 3, 2 ó 1, para carpetas de uno (1), dos (2) y tres (3) riegos, respectivamente.
- D) Se rastrea y se plancha el material pétreo.

- E) Unicamente para carpeta de dos (2) y tres (3) riegos. Se aplica un segundo riego de ligante, sobre el primero, y se cubre inmediatamente con material pétreo número 3 y 2, respectivamente.
- F) Se rastrea y se plancha el material pétreo.
- G) Unicamente para carpetas de tres (3) riegos. Sobre un segundo riego se hace un tercero de ligante asfáltico, cubriéndolo inmediatamente con material pétreo número 3.
- H) Se procede a su rastreo y compactación.
- I) Después de haber construido la carpeta, ya sea de uno (1), dos (2) o tres (3) riegos, se procederá a barrer y a recolectar el material pétreo que no se haya adherido.

La compactación y las recomendaciones para ello son similares a las que se indicaron en el caso del riego de sello.

- 2) Utilizando el sistema de carpeta asfáltica de mezcla en el lugar.

Cuando se trate de construir una carpeta nueva, deberá colocarse sobre una base debidamente construida e impregnada; cuando se quiera construir una sobrecarpeta, deberán

efectuarse previamente todos los trabajos de conservación normal que se requieran.

La secuencia que deberá seguirse para la aplicación de este sistema es la siguiente:

- A) Sobre la base impregnada, o sobre la carpeta existente, debidamente limpia, se deberá dar un riego de liga en toda la superficie que quedará cubierta por la carpeta o por la sobrecarpeta.
  
- B) Cuando el asfalto del riego de liga haya adquirido la viscosidad adecuada, se iniciará el tendido de la mezcla asfáltica. Previamente al tendido, los materiales que constituirán la carpeta o la sobrecarpeta asfáltica se mezclarán a lo largo del camino con la utilización de la motoconformadora.
  
- C) Inmediatamente después del tendido de la mezcla, el cual también se hace con la motoconformadora, se procederá a su compactación. En un principio la compactación se hará utilizando un rodillo liso, continuandola con un compactador neumático, posteriormente se volverá a usar el rodillo liso con el objeto de borrar las huellas que deje el compactador neumático.

3) Utilizando el sistema de mezcla en planta.

El proceso para efectuar la construcción de la carpeta o de la sobrecarpeta utilizando el sistema de mezcla en planta es el siguiente:

- A) Sobre la base impregnada, o sobre la carpeta existente, debidamente limpia, se dará un riego de liga en toda la superficie que quedará cubierta por la carpeta o por la sobrecarpeta.
- B) Esta etapa corresponde a la transportación de la mezcla asfáltica al lugar de tendido. Previamente a la transportación, deberá efectuarse el mezclado de los materiales que conformarán la carpeta en una planta estacionaria.
- C) Cuando los camiones que efectuarán la transportación de la mezcla asfáltica lleguen al sitio donde se realizará el tendido, estos deberán vaciar la dentro de la caja receptora de una máquina especial para este trabajo, denominada esparcidor, extendedora o terminadora. Esta máquina es de propulsión propia, con dispositivos para ajustar el espesor y el ancho de la mezcla tendida. La mezcla asfáltica deberá tenderse a una temperatura mínima de ciento diez grados centígrados (110°C).

- D) Inmediatamente después del tendido de la mezcla asfáltica, deberá compactarse por medio de un compactador liso; a continuación se empleará un compactador de neumáticos y por último, nuevamente el compactador liso.

#### VI.4.4 RECONSTRUCCION A PARTIR DE LAS CAPAS INFERIORES.

Las obras de reconstrucción de caminos que requieren capa de sub-base y/o de base son de dos tipos generales:

- a) Refuerzo de un pavimento existente.
- b) Ampliación del ancho de la corona.

#### PROCEDIMIENTO.

En la reconstrucción de carreteras, en términos generales, la secuencia de las operaciones necesarias en la ejecución de las capas de sub-base y de base es la siguiente:

- 1) Si se va a aprovechar el material de la carpeta asfáltica existente se procederá como se indica a continuación:
  - A) Se escarificará la carpeta y, en caso de que así se apruebe, un espesor determinado de la base existente. Se disgregarán ambos materiales y se mezclarán hasta obtener su homogeneidad.

BIBLIOTECA CENTRAL

- B) Este material se "acamellonará" de tal manera que quede descubierta la mayor superficie posible de la base existente, la que se conformará y compactará debidamente.
- C) Se pasará el material "acamellonado" a la superficie que se compactó, para a su vez conformar y compactar la que ocupaba el material suelto.
- D) Si el proyecto así lo indica, se procederá a añadir un nuevo material de base, el que se incorporará al producto antes indicado, construyendo la sub-base o la base en la forma especificada, por capas hasta alcanzar el espesor fijado en el proyecto.
- 2) Si el material de la carpeta asfáltica existente se va a desechar, se escarificará y recogerá, transportandolo al sitio que se señale. A continuación se conformará y compactará la superficie expuesta de la base existente y se procederá a la construcción de la nueva.
- 3) En caso de que solamente exista revestimiento y por su calidad y cantidad se determina que puede aprovecharse como parte de la sub-base, se

procederá como sigue:

- A) Se escarificará la parte aprovechable del revestimiento, cuidando de que no se contamine con el material de la terracería, y se "acamellonará", de tal manera que quede descubierta la mayor superficie posible de dicha terracería, la que se conformará y compactará debidamente.
  
- B) A continuación se pasará el material suelto del revestimiento a la superficie compactada, para a su vez conformar y compactar la superficie que ocupaba el material suelto.
  
- C) En seguida se procederá a añadir el nuevo material, mezclandolo con el del revestimiento y construyendo la sub-base como se especifica, por capas, hasta alcanzar el espesor de proyecto.

En los tres (3) casos expuestos anteriormente y si el proyecto así lo indica, una vez construida totalmente las capas de sub-baso y/o de base, se procederá a la construcción de la carpeta asfáltica, siguiendo las indicaciones que dicte el laboratorio para su ejecución.

#### VI.4.5 ESTABILIZACIONES.

Se denomina Estabilización de Suelos al proceso de someter a los suelos naturales a ciertos tratamientos para mejorar sus cualidades particulares, de manera que puedan soportar las condiciones adversas de clima, rindiendo en todo tiempo de su vida útil el servicio adecuado que de ellos se espera.

Las propiedades de los suelos se pueden alterar de muchas formas, aunque las más usuales pueden ser: por medios mecánicos, drenaje, medios eléctricos, cambios de temperatura o adición de agentes estabilizantes.

Debido a la gran variabilidad de los suelos, cada método resulta aplicable solamente a un número limitado de ellos.

El objeto de este tema es presentar, en forma muy breve, la utilidad que tiene la adición de los agentes estabilizantes a los suelos, durante la construcción y reconstrucción de pavimentos y, señalar, en términos generales, los métodos constructivos. Los otros tipos de estabilización (drenaje, medios eléctricos, térmicos, etc.) tienen su mejor aplicación en el campo de la Ingeniería de Cimentaciones, por lo cual no se incluyen en este trabajo.

Cuando por razones generales de índole económica se requiere emplear, en sub-bases Y/o en bases de pavimentos, materiales de la localidad que por sí solos no reúnen las características físicas satisfactorias para estos fines, se recurre a tratar dichos materiales adicionándoles algún producto elaborado para mo

dificar sus propiedades originales, haciendo que alcancen los valores establecidos respecto a las normas vigentes, esto es, se procede a su estabilización, lo cual puede ser usando productos asfálticos, cemento Portland o bien cal hidratada.

Los materiales empleados en las estabilizaciones deberán llenar los requisitos que se indican en la Referencia 1.

#### 1.- ESTABILIZACION CON CEMENTO PORTLAND.

Los fenómenos químicos que ocurren entre suelo y cemento, cuando ambos se mezclan con el apropiado contenido de agua, consisten en reacciones de cemento con los componentes silicosos de los suelos, que producen conglomerantes que ligan a la grava, arenas y limos; este es el efecto en los suelos gruesos. Además el hidrato de calcio que se forma como consecuencia del contacto del cemento con el agua, que la toma de la que existe entre las laminillas de arcilla; el resultado de este proceso es la disminución de la porosidad y la plasticidad de los suelos arcillosos.

#### PROCEDIMIENTO.

Las operaciones constructivas de una capa de suelo-cemento consta de las siguientes etapas:

- a) Escarificación, pulverización y prehumedecimiento del suelo, si fuera necesario.
- b) Dosificación y aspersión del cemento.

- c) Mezclado de los materiales; en seco.
- d) Incorporación de agua hasta obtener la humedad óptima.
- e) Tendido y compactación.
- f) Acabado.
- g) "Curado".

Una vez terminado el "curado" de la base se deberá proceder a la brevedad posible a efectuar su impregnación, así como también a la construcción de la carpeta asfáltica, la cual será del tipo y espesor que señale el proyecto.

## 2.- ESTABILIZACION CON CAL.

En términos generales, las técnicas de estabilización con cal hidratada son bastantes similares a las de la estabilización con cemento Portland, aunque hay dos aspectos de diferencia que conviene destacar. En primer lugar, la cal tiene mayor aplicación en los materiales arcillosos y, en segundo lugar, las estabilizaciones con cal se utilizan, generalmente, como un pre-tratamiento.

El efecto básico de la cal es la constitución de silicatos de calcio que se forman por acción química de la cal sobre los minerales de arcilla, para formar compuestos cementantes.

Las estabilizaciones con cal hidratada se usan regularmente cuando los suelos están excedidos de plasticidad y/o

se requiere mejorar su resistencia.

#### PROCEDIMIENTO.

La secuencia de construcción del suelo-cal es en principio a la del suelo-cemento, siendo las siguientes operaciones las necesarias para la estabilización de capas de pavimento con cal:

- a) Escarificación del material de apoyo.
- b) Pulverización del suelo.
- c) Dosificación y aspersión de la cal.
- d) Mezclado e incorporación del agua, para dar a la mezcla su humedad óptima de compactación.
- e) Tendido y compactación.
- d) Conformación.
- e) "Curado".

Al igual que en suelo-cemento; la superficie debe impregnarse y protegerse con una carpeta del tipo que indique el proyecto.

#### 3.- ESTABILIZACION CON PRODUCTOS ASFALTICOS.

Aunque las estabilizaciones con productos asfálticos resultan en general más caras que las estabilizaciones con cemento Portland, su empleo se ha difundido mucho en nuestro país, debido sin duda a las ventajas que presenta respec-

to a estas últimas.

La función del producto asfáltico (cemento asfáltico, asfaltos rebajados y emulsiones asfálticas) en este caso, estriba fundamentalmente en aglomerar las partículas del suelo, proporcionando a éste suficiente cohesión y resistencia una vez compactado.

Tratándose de materiales con cierto contenido de arcilla, la función del asfalto debe consistir además, en impermeabilizar las partículas de arcilla, para contrarrestar su actividad en presencia del agua.

La selección del tipo y cantidad del producto asfáltico debe de hacerse en función del tipo de suelo a estabilizar, del equipo de construcción disponible, del clima durante la construcción y de la facilidad para disponer de los materiales.

#### PROCEDIMIENTO.

El método constructivo de una estabilización de suelo con algún producto asfáltico comprende las siguientes etapas:

- a) Pulverización del suelo.
- b) Adición del agua necesaria para un mezclado apropiado.
- c) Adición del producto asfáltico y mezcla con el suelo.
- d) Aeración para llegar a un contenido de solven-

tes volátiles apropiado para la compactación.

- e) Compactación.
- f) Acabado.
- g) Aeración y "curado".

También, esta clase de suelo estabilizado debe ser protegida mediante la construcción de una carpeta asfáltica.

En la reconstrucción de pavimentos, la estabilización de suelos se debe generalmente a requisitos de diseño o bien cuando se requiere incrementar la calidad de las capas de sub-base y/o de base de un pavimento existente, que puede ser debido al elevado volumen de tránsito previsto.

#### VI.5 NUEVAS TECNICAS CONSTRUCTIVAS Y EQUIPOS APLICADOS PARA LA RECONSTRUCCION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

En vista de que la mayor parte de los fondos para la Conservación normal y reconstrucción de las carreteras se aplica a la reparación de la superficie del pavimento (carpeta asfáltica), se han hecho esfuerzos en el desarrollo de nuevas técnicas que económicamente y en forma práctica ayudan a resolver el problema.

Los beneficios principales que ofrecen las nuevas técnicas son las reducciones de costos, los ahorros de energía y la conservación de los recursos naturales. Otros beneficios que pueden ser aplicables a algunos proyectos son el control verti

cal con relación a las alturas libres de estructuras superiores, esto es, control de la rasante del camino, reducción del daño al pavimento en conexión con el acarreo del nuevo material al sitio de la obra y rectificación de las deficiencias en las mezclas existentes.

Dentro de los procedimientos constructivos que en este escrito se han definido como nuevas técnicas, debido a que su utilización en nuestro país tiene relativamente poco tiempo, se encuentran las siguientes:

- 1) Revitalización o rejuvenecimiento del pavimento asfáltico.
- 2) Reciclado de pavimentos asfálticos.

La selección de uno u otro métodos, como procedimiento de reconstrucción, debe hacerse tan sólo se estime como la mejor solución técnica y económica.

A continuación se describe cada uno de estos métodos.

#### 1.- REVITALIZACION O REJUVENECIMIENTO DEL PAVIMENTO ASFALTICO (Ref. 6).

El dar nueva vida o rejuvenecer a los pavimentos asfálticos mediante algunos agentes químicos es un método que día a día se va imponiendo en razón de lo práctico que resulta su

aplicación, así como su relativo bajo costo. Entre los agentes más comunes se encuentra el que se ha designado como "Reclamite". que es una emulsión especial de resinas y aceites del petróleo (químicamente una emulsión catiónica de maltenos). Este producto penetra en las mezclas asfálticas viejas transformándose en parte del ligante, revitalizándolas. Se pueden decir que las funciones del agente rejuvenecedor, en combinación con el procedimiento de escarificación en caliente que se describe en párrafos posteriores, son:

- a) Mejorar la cohesión de la mezcla y la adherencia del asfalto con el agregado.
- b) Devolver su plasticidad al asfalto envejecido y endurecido.
- c) Restaurar los componentes perdidos en el asfalto.

Estos efectos ocurren entre los 20 ó 25 mm superiores de la carpeta asfáltica, ya que es la parte que más se oxida y envejece.

#### PROCEDIMIENTO.

Son varios los procedimientos empleados para la aplicación de agentes rejuvenecedores y van desde un simple "rociado" en mezclas en caliente recién tendidas, hasta su empleo como parte del procedimiento de sobre encarpetao.

La secuencia constructiva del método más comunmente empleado es la que se indica a continuación:

- a) Es esencial que se desarrolle una buena dosificación del agente rejuvenecedor que deberá emplearse en la carpeta existente; para lograr esto, un número adecuado de muestras del pavimento deben ser obtenidas y efectuarles las pruebas de laboratorio correspondientes y/o efectuar pruebas en el sitio donde se desee aplicar este método.
- b) Efectuar la limpieza del pavimento a reparar, en el cual previamente se deberán realizar los trabajos de mantenimiento normal correspondientes.
- c) Se procede al calentamiento de la superficie del pavimento. Para ello se aplica sobre ésta, una especie de horno, una de cuyas paredes es la superficie de rodamiento (la carpeta). El calor se aplica mediante quemadores de gas, aunque puede hacerse mediante la aplicación de rayos infrarrojos; las llamas no se deben aplicar directamente sobre la mezcla asfáltica; la temperatura que debe alcanzar la mezcla asfáltica debe estar comprendida entre 110°C y 125°C en 25 mm de espesor. La velocidad del equipo de calentamiento está en función de la dureza y contenido de asfalto en la mezcla, así como de la temperatura ambiente.

- d) Esta etapa consiste en el escarificado de la superficie calentada. La escarificación se efectúa mediante líneas de pernos montados en el mismo equipo de calentamiento con el objeto de aprovechar su peso. Estos pernos o uñas se encuentran en forma traslapada para lograr un escarificado más efectivo y su montaje permite que, al encontrar dichos dispositivos un objeto duro, se produzca una especie de muelleo o resorteo que permite que se salve el obstáculo. Todo el sistema de escarificado está controlado por gatos hidráulicos. La profundidad de escarificado está en función de la temperatura de la mezcla asfáltica, su dureza, así como de la configuración de las uñas y la presión aplicada sobre éstas. Se debe tratar de no escarificar más allá de lo que el gradiente de temperatura lo permita para no destrozarse las capas inferiores, en cuyo caso podría requerirse una reparación costosa.
- e) La siguiente etapa consiste en restituir, en el pavimento escarificado, la geometría original mediante gusanos distribuidores o algún otro equipo que realice esta operación.
- f) Enseguida se aplica una ligera compactación con un rodillo tandem de acero. Esta operación puede

juzgarse como no necesaria si el proyecto así lo desea.

g) Habiendo realizado lo anterior, se aplica el riego del agente rejuvenecedor, en la proporción adecuada, empleando para ello una petrolizadora tradicional. Durante el período de absorción y si la superficie ha sido compactada, es recomendable "rociar" arena muy dura y angulosa, la cual proporciona una fricción aceptable y no interfiere con el proceso de absorción, sin embargo, no debe permitirse el tránsito antes de que transcurran 30 minutos a partir de la aplicación del agente.

h) La etapa final puede presentar variaciones, pudiendo éstas consistir en:

- Dejar a la superficie únicamente con el tratamiento del agente rejuvenecedor, compactando el espesor tratado. Esto se hace si estructuralmente no se requiere refuerzo y la superficie de rodamiento obtenida es adecuada.

- Aplicar un riego de asfalto rebajado a la superficie, cuando no se requiere refuerzo estructural, si existe insuficiencia de éste en la carpeta original.

- Construcción de un riego de sello; en cuya compactación se completa la del material subyacente.
- Construcción de una sobrecarpeta de concreto asfáltico cuando se requiera refuerzo estructural.

Ahora bien, en ocasiones puede existir condiciones que hagan que se altere o modifique la secuencia constructiva del procedimiento descrito anteriormente, entre las que pueden citarse las siguientes:

- En donde hay poco tránsito y la carpeta es muy permeable y tiene falla por oxidación del asfalto (envejecida), puede aplicarse el agente rejuvenecedor; posteriormente se deberá compactar y colocar arena.
- En pavimentos con fisuras de contracción se recomienda calentar, aplicar el agente, compactar y colocar arena.
- En pavimentos nuevos elaborados con mezclas asfálticas densas, en caliente, se puede aplicar el agente con el objeto de restituir los componentes perdidos o alterados durante el calentamiento.

- En pavimentos seriamente dañados, podría aplicarse el agente revitalizador, escarificarse con arados de disco, remover el material, adicionar agregado, asfalto y más agente, según lo juzgue conveniente el proyecto para lograr una buena mezcla que posteriormente se tienda y compacte.
  
- En el sellado de grandes grietas se ha llegado a aplicar el agente rejuvenecedor, sin diluir, en la grieta y un poco de arena en la superficie.

El proceso indicado tiene varias ventajas básicas sobre procedimientos convencionales para reconstruir pavimentos asfálticos:

- Asegura una mejor liga entre una carpeta antigua, provocando el ahorro de espesores adicionales de la misma.
  
- Elimina las grietas superficiales en el pavimento existente o, cuando menos, se incrementa el período de su reflejo en la nueva sobrecarpeta.
  
- Se evitan o reducen los desprendimientos por bajo contenido de asfalto.

En la aplicación de este procedimiento también es conveniente tomar en cuenta sus desventajas, entre las cuales pueden mencionarse las siguientes:

- No debe aplicarse en carpetas con exceso de ag falto o inestables.
- Si la carpeta es muy impermeable, lo cual evita la penetración del agente rejuvenecedor.
- Si existe una falla estructural en el pavimento.
- No debe usarse en el caso de que existan riegos de sello recientes.
- Las mezclas asfálticas por rejuvenecer deben ser elaboradas en planta o mezla en el lugar a base de asfaltos rebajados.
- Para la aplicación del método, la carpeta anti gua debe tener por lo menos un espesor de 7.5 cm ó 5.0 cm si se trata de un concreto asfáltico sobre concreto hidráulico.
- No aplicar estos sistemas en tiempos fríos o con mucho viento.

## 2.- RECICLADO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS.

En la actualidad, debido a la cada vez más crítica escasez de materiales para carpeta así como de energéticos, se le presta gran importancia, como procedimiento de reconstrucción, a una nueva técnica que en la literatura especializada le han denominado "Reciclado de Pavimentos Asfálticos", aunque algunos autores definen esta técnica como "Recirculación en caliente".

Cabe mencionar que, el término reciclado por definición se refiere a la reutilización de materiales; en este trabajo "Reciclado de Pavimentos Asfálticos" se definirá como la reutilización del material proveniente de la remoción de las carpetas asfálticas envejecidas, dicho material, con una granulometría apropiada, se transporta a una planta de mezclado en donde se lleva a cabo el reciclado propiamente dicho, mediante la adición de diversos tipos de agregados, aditivos y/o asfaltos; la mezcla obtenida es un material de pavimentación de igual o mayor calidad del removido y con gran aprovechamiento del mismo. Para la aplicación de este procedimiento se tuvieron que diseñar equipos de corte en frío, aunque pueden utilizarse los que operan con calor, descritos anteriormente, y plantas de asfalto (Recicladoras) que tuvieran la capacidad de admitir material nuevo y material recuperado, así como asfaltos y aditivos.

Como puede verse, por lo descrito anteriormente, la reutilización de materiales asfálticos, en forma simplista, se usa desde hace algún tiempo, mencionandose como la primera aplicación, la acción de re-aprovechar los materiales que conforman las carpetas asfálticas existentes dañadas; estos materiales se disgregan y se incorporan a alguna capa inferior existente para utilizarla como una de las nuevas capas del pavimento, dependiendo del diseño que resultara para los requerimientos del mismo. Este procedimiento aunque implica desperdicios en materiales, ya que se utiliza en una capa de menor calidad y de más bajo índice estructural, permite reutilizar un material que de otra manera se desperdicia. Con el transcurso del tiempo se ha mejorado en la tecnología de la reutilización de materiales asfálticos, hasta llegar a lo que hoy en día la literatura especializada define como "Reciclado de Pavimentos Asfálticos". A continuación se describe detalladamente la secuencia constructiva y algunos de los equipos utilizados en este último procedimiento (Ref.6 y Ref.7).

#### PROCEDIMIENTO.

a) En primer lugar se deberá efectuar el diseño de la mezcla, para ello un número adecuado de muestras del pavimento existente deben ser obtenidas y analizadas en el laboratorio. Estas pruebas indicarán la condición de la mezcla asfáltica recobrada y deberán revelar cualquier posible deficiencia de la

mezcla. También, en el diseño de la mezcla deberá indicarse la determinación de los tipos y las cantidades de los materiales (agregados nuevos, cemento asfáltico y agente rejuvenecedor de asfalto) que deben ser empleados para restaurar las cualidades del material recobrado a un nivel deseado y obtener una mezcla aceptable. La mezcla reciclada debe ser diseñada de forma que sea por lo menos el equivalente de una mezcla convencional usando materiales nuevos.

b) Efectuar la limpieza del pavimento a reparar y además, si la carpeta se va a remover únicamente en una parte de su espesor total se deberán realizar, previamente, los trabajos de mantenimiento normal correspondientes.

c) Esta etapa comprende la remoción de la carpeta asfáltica en el espesor que indique el proyecto.

La remoción del material se puede hacer con sistemas tradicionales (escarificadores); usando el proceso de calentamiento-escarificación, descrito anteriormente; con máquinas rebajadoras, fresadoras, desbastadoras o perfiladoras, como quiera llamarsele, que trabajan en frío. Este último sistema es el que, hasta la fecha, ha presentado mejores ventajas económicas y técnicas.

La remoción con sistemas tradicionales tiene la desventaja que se puede dañar la base lo cual es inconveniente, si no se requiere reconstruirla, además de los problemas que causan

al tránsito al realizar este tipo de trabajo. También, debido a que el material obtenido de la remoción utilizando estos equipos, es de tamaño muy variable, sería necesario, en su mayor parte, efectuar una operación de trituración o disgregación, lo cual elevaría el costo total.

En ocasiones se acostumbra efectuar la remoción del espesor de una carpeta asfáltica mediante el proceso de calentamiento-escarificación; este método tiene la desventaja de que reduce la calidad del asfalto que se encuentra en el material removido y además la mezcla (material removido) tiene que ser desechada o recalentada para su aprovechamiento.

El sistema de rebajado o desbastado es un método que permite reperfilear la superficie de los pavimentos mediante equipos abrasivos; es relativamente nuevo. Con el empleo de este método se logra una buena superficie de rodamiento minimizando las interrupciones u obstáculos al tránsito. El equipo que se usa para rebajar tiene un tambor rotatorio con dientes o cilindros giratorios de carburo de tungsteno que "cortan" la carpeta asfáltica a una profundidad predeterminada y reduce el tamaño del material recobrado. Este tambor está montado en un sistema de transporte móvil. El costo principal en este método se origina al reemplazar las herramientas de corte, aunque el rápido avance que se logra con este método hace que resulte económicamente competitivo contra los otros métodos.

En la reconstrucción de pavimentos con el empleo de los equipos para perfilar o rebajar pavimentos asfálticos en frío se puede lograr lo siguiente:

- Se eleva menos la rasante, factor muy importante sobre todo cuando no existen fallas de tipo estructural.
- La textura de la superficie de rodamiento que queda después de pasar el equipo es muy antiderrapante, por lo que en algunos casos puede dejarse descubierta al tránsito con este acabado.
- Se logra una mejor liga con la nueva capa de refuerzo.
- El material resultante que se obtiene con este equipo son agregados prácticamente triturados, aunque en ocasiones es necesario, en pequeño porcentaje del material, triturar aún más el material.

d) Esta etapa puede variar en su aplicación, según lo juzgue el proyecto y dependiendo de las condiciones en que quede la carpeta existente después de la remoción, esto es:

- Si es necesario remover todo el espesor de la carpeta asfáltica y no existen deficiencias estructurales en las capas inferiores, se procede a efec-

tuar la conformación, compactación, barrido, aplicación del riego de impregnación y aplicación del riego de liga, respectivamente.

- Si existen deficiencias estructurales en las capas inferiores del pavimento, en relación a la carpeta asfáltica, se deberá proceder a reconstruir las capas dañadas en la forma como determine el proyecto. Una vez que la capa de base este totalmente conformada y compactada, se procederá al barrido de la superficie, a la aplicación de los riegos de impregnación y de liga, respectivamente.

- Si no existe falla estructural en las capas del pavimento y si únicamente es necesario remover parte del espesor total de la carpeta asfáltica existente, se procederá a efectuar el barrido de la superficie del pavimento y la aplicación del agente rejuvenecedor, si es necesario.

e) Esta etapa corresponde a la transportación del material obtenido de la remoción de la carpeta a la Planta de Mezclado (Recicladora); el transporte se hace utilizando camiones de volteo.

f) Una vez que la mezcla asfáltica que se va a reutilizar (material removido) se haya transportado a la Planta de

Reciclado y mediante la adición de las cantidades de los materiales (agregado virgen o nuevo, cemento asfáltico y/o agente rejuvenecedor), previamente obtenidas en el diseño de la mezcla, se mezclarán en caliente en el interior de dicha Planta Recicladora, hasta obtener la mezcla de proyecto.

Las Plantas Recicladoras para la recirculación en caliente del material recuperado pueden ser tanto Plantas dosificadoras de mezcla de tipo discontinuo como Mezcladoras de tambor, siendo estas últimas las que han dado mejores resultados técnicos y económicos. Por lo general estos tipos de Plantas son estacionarias. A continuación se describen brevemente la operación de estas Plantas de Mezclado.

1.- Plantas dosificadoras de mezcla de tipo discontinuo.- En una operación de este tipo de plantas, el agregado virgen es secado y calentado en una secadora de contraflujo, tamizado en fracciones de varios tamaños, dispuesto proporcionalmente con cemento asfáltico caliente, y mezclado completamente.

La técnica que mejores resultados a obtenido en la recirculación por medio de una planta dosificadora de mezcla de tipo discontinuo es el "método de transferencia de calor". En este método, el agregado virgen es supercalentado en la secadora y transferido a la torre en forma corriente. La mezcla asfáltica recuperada que ha sido previamente reducida a un tamaño apropiado y acopiada a temperaturas ambientales, es transferida a la tolva pesadora en la torre mezcladora por un sistema transporta-

dor auxiliar. Luego es proporcionalmente vertida dentro del molino mezclador con el agregado virgen supercalentado, y se inicia la transferencia de calor por transmisión. La transferencia de calor continua según se mezclan los dos materiales en el molino mezclador incluyendo cemento asfáltico y/o agente rejuvenecedor de asfalto, se almacenan en el sistema de retención y descarga y se acarrean al sitio de la obra.

El método de transferencia de calor reduce a un mínimo la posibilidad de contaminación del aire y los problemas de acumulación de material. El porcentaje de material recobrado que puede ser utilizado depende de los siguientes factores:

- A) La temperatura a que se calienta el agregado virgen.
- B) La temperatura y el contenido de humedad de la mezcla asfáltica recobrada cuando se combina con el agregado virgen supercalentado.
- C) La temperatura que se desea en la mezcla final.

2.- Plantas Mezcladoras de Tambor.- En una operación corriente de mezclado en tambor, el agregado virgen es proporcionalmente dispuesto en el alimentador en frío; luego es secado, calentado y mezclado con cemento asfáltico en una secadora de flujo paralelo. Como el agregado es introducido en el extremo del tambor donde está el quemador, el mismo es expuesto inmediatamente a las temperaturas muy altas de la llama y de los gases

calientes.

Los primeros intentos de recirculación en caliente utilizando mezcladoras de tambor fueron realizadas en las plantas mezcladoras de tambor convencionales sin modificaciones, produciendo problemas de contaminación en el aire. A la fecha; los fabricantes de plantas de asfalto han desarrollado mezcladoras de tambor para producir mezclas recirculadas satisfactorias y con un mínimo de problemas de contaminación del aire.

En la recirculación en caliente empleando mezcladoras de tambor se tienen los siguientes sistemas:

- a) "Sistema Pyrocone".
- b) "Sistemas alimentados en el medio y alimentados en el extremo".
- c) "Sistema de tambor en tambor".
- d) "Sistema de dos tambores".
- e) "Sistema de calentador de aire".

a) "Sistema Pyrocone".

Este sistema controla la tasa de transferencia de calor en el extremo del tambor donde está el quemador para evitar el calentamiento excesivo de la mezcla asfáltica recobrada. El sistema consiste en una cámara de combustión cilíndrica con un protector térmico en forma de cono ("Pyrocone") en un extremo. La unidad se instala entre el quemador y la entrada del tambor moviendo el conjunto del quemador hacia atrás en el armazón del

BIBLIOTECA CENTRAL

tambor. La llama está contenida dentro de la cámara cilíndrica, en la cual un exceso de aire y los gases de combustión son mezclados para producir una mezcla de más baja temperatura y contnido de aire en abundancia. El exceso de aire fluye al interior de la cámara de combustión a través de ranuras en la pared de la cámara.

Las bajas tasas de calentamiento producidas por este sistema son el resultado de los tres factores siguientes:

- 1) El protector térmico reduce la radiación directa del calor, interrumpiendo el paso directo entre las llamas y el material a ser calentado.
  - 2) La energía térmica introducida en el tambor es distribuida más uniformemente en la sección transversal del tambor.
  - 3) La temperatura de los gases entrantes es reducida.
- b) "Sistemas alimentados en el medio y alimentados en el extremo".

En estos tipos de sistemas, el agregado virgen es introducido por el extremo donde está el quemador (entrada corriente), donde es secado y supercalentado; la mezcla asfáltica recobrada es introducido por algún punto posterior al quemador, alejado de la llama y de los gases a temperaturas muy altas.

La transferencia de calor (por transmisión) tiene lugar cuando los dos materiales son combinados, se añade más cemento asfáltico y/o un agente rejuvenecedor de asfalto, y se termina el mezclado en la mitad inferior del tambor. El material recobrado puede ser introducido por el extremo posterior del tambor, o directamente a través de aperturas en el casco del tambor en algún punto intermedio.

c) "Sistema de tambor en tambor".

En este sistema, la secadora de tambor corriente es modificada retirando el quemador del extremo del tambor principal e introduciendo un tambor más pequeño. El quemador descarga dentro del extremo delantero del tambor pequeño, el cual está colocado coaxialmente en el interior del tambor principal. El agregado virgen se introduce por el extremo del tambor pequeño donde está el quemador, y de esta forma está en contacto directo con la llama. La mezcla asfáltica recobrada se introduce por el espacio anular entre el tambor exterior y el tambor interior; estando por lo tanto protegido del contacto directo con la llama, pero es calentado al mezclarse contra el tambor interior caliente. El agregado virgen supercalentado sale a través del extremo trasero del tambor interior y se junta con el material recobrado parcialmente calentado.

Los dos materiales son entonces combinados con más cemento asfáltico y/o agente rejuvenecedor de asfalto, y el mezcla

do continúa a lo largo del resto del tambor principal (exterior).

d) "Sistema de dos tambores".

En este sistema, el agregado virgen es secado y supercalentado en una secadora de contraflujo. El agregado supercalentado es transferido a un segundo tambor (sin secador), donde es combinado con la mezcla asfáltica recobrada, previamente reducido a un tamaño apropiado. La transferencia de calor (por transmisión) ocurre cuando se mezclan los dos materiales. Los gases de escape calientes de la secadora de contraflujo son encauzados por un conducto directamente al segundo tambor para suministrar más calor. Se añade cemento asfáltico y un agente rejuvenecedor de asfalto en el segundo tambor, y los materiales combinados se mezclan antes de ser vertidos en un depósito de retención y descarga.

e) "Sistema de calentador de aire".

El componente básico de este sistema es un conjunto de una cámara de combustión y quemador ("calentador de aire"). El quemador se ajusta para mantener la temperatura de los gases que entran en la secadora a un grado que no cause sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica recobrada. El calentador de aire puede ser usado en secadoras de contraflujo o de flujo paralelo por igual, y en algunos casos se pueden circular de nuevo los gases de escape calientes en la operación.

Los sistemas que se han descrito pueden accionar usando una mezcla de material recobrado y agregado virgen (nuevo) en una proporción promedio hasta de 70 a 30, y tasas de producción del orden de 300 toneladas por hora con temperaturas de mezcla de hasta 150°C (grados centígrados). Las emisiones de humo, producidas por estas Plantas Recicladoras, han sido mantenidas dentro de los límites aceptables.

g) Una vez que el material removido con adición de agregado virgen, cemento asfáltico y/o agente rejuvenecedor se han mezclado, en la Planta estacionaria, se procede a la transportación de dicha mezcla al lugar de tendido. La mezcla deberá vaciarse dentro de la caja receptora de una máquina que deberá tenderla.

h) Esta etapa corresponde al tendido de la mezcla y, se aplicará en aquellos casos en que el proyecto indique la construcción de una nueva carpeta o bien la construcción de una sobre carpeta. Para iniciar las actividades de esta etapa será necesario que previamente se haya efectuado los riegos de impregnación, liga y/o de agente rejuvenecedor de asfalto en la capa subyacente.

La mezcla asfáltica deberá tener una temperatura mínima de 110°C (grados centígrados) al iniciar el tendido, el cual se efectuará con máquina especial para este trabajo, denominada esparcidor, extendedora o terminadora. Esta máquina es de propulsión propia, con dispositivos para ajustar el espesor y el ancho de la mezcla tendida, fijados previamente por el proyecto.

i) Inmediatamente después, deberá compactarse la mezcla tendida por medio de compactadores lisos; a continuación con compactadores neumáticos y por último, se emplearán nuevamente los compactadores lisos, adecuados para borrar las huellas que dejen los neumáticos.

El procedimiento constructivo, descrito anteriormente, tiene varias ventajas sobre procedimientos constructivos convencionales para reconstruir pavimentos flexibles o asfálticos, siendo algunas de ellas las siguientes:

- Reducción de Costos.
- Ahorros de Energía.
- Conservación de recursos naturales.
- Rectificación de problemas de base.
- La calidad de la mezcla reciclada puede ser igual o mejor que la mezcla convencional.
- Con este procedimiento se puede obtener las características y especificaciones que requiere un diseño de concreto asfáltico.

= CAPITULO VII =

EJEMPLO DE COMPARACION DE COSTOS ENTRE ALTERNATIVAS.

VII.1 ANTECEDENTES.

VII.2 TRABAJOS POR EJECUTAR.

VII.3 ANALISIS DE COSTOS DIRECTOS.

## VII. EJEMPLO DE COMPARACION DE COSTOS ENTRE ALTERNATIVAS.

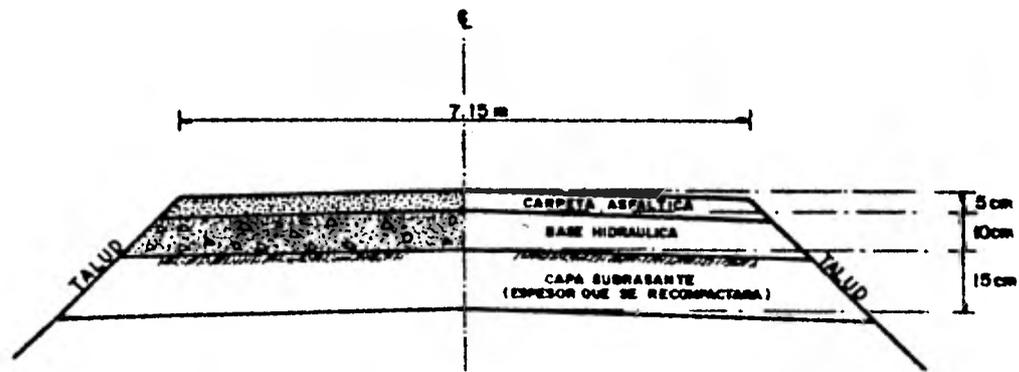
### VII.1 ANTECEDENTES.

En el presente capítulo se tiene por objeto hacer una comparación de costos entre dos procedimientos constructivos diferentes, propuestos para reconstruir un camino que esta constituido por un pavimento flexible de 15 cm. de espesor total, formado por las siguientes capas:

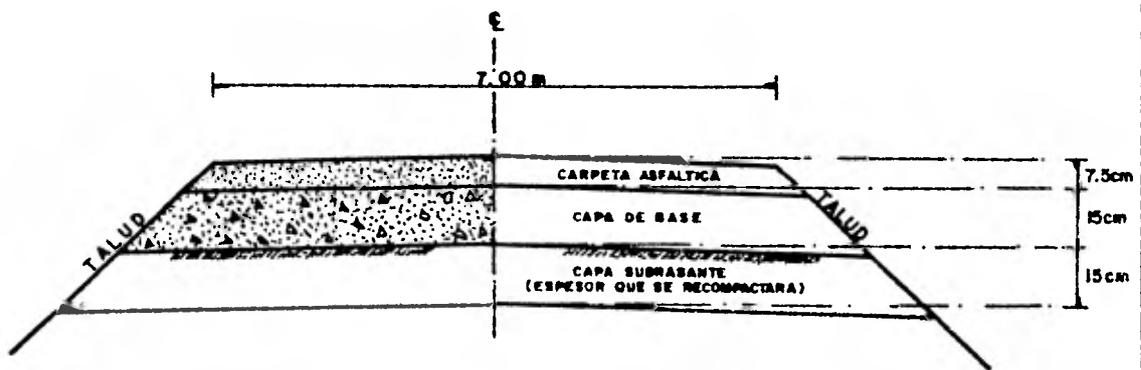
carpeta asfáltica = 5 cm. de espesor

base hidráulica = 10 cm. de espesor

en la figura VII.1-A se muestra esquemáticamente una sección transversal de este pavimento.



A.- SECCION TRANSVERSAL DEL PAVIMENTO EN ESTUDIO



B.- SECCION TRANSVERSAL DEL PAVIMENTO DE PROYECTO

**FIG.VII.1. SECCIONES TRANSVERSALES DE PAVIMENTOS FLEXIBLES**

## VII.2 TRABAJOS POR EJECUTAR.

En el análisis que se presenta, se considera que será necesario reforzar el espesor de pavimento (ver figura VII.1-B), tomando en cuenta las condiciones en que se encuentra el tramo de camino en estudio, y recompactar la última capa subrasante de terracerías; los trabajos de reconstrucción se podrán efectuar utilizando cualquiera de las dos alternativas que se mencionan a continuación:

### I. PRIMERA ALTERNATIVA.

I.a) Se escarificará y disgregará la carpeta actual hasta obtener tamaños no mayores de 38.10mm ( 1 1/2"), el producto del disgregado se "acamellonará" a la orilla del camino.

I.b) Se escarificará y disgregará la base hidráulica existente, colocando el material disgregado junto al material "acamellonado" de la carpeta.

I.c) Terminado lo anterior, se procederá a escarificar y recompactar la superficie descubierta (última capa de subrasante) en una profundidad de 15cm.

I.d) Al terminar la recompactación de la superficie descubierta, se procederá a la formación de la base de proyecto de 15cm de espesor con material proveniente de las capas de base y carpeta existente; una vez construida la base de

proyecto se le aplicará un riego de impregnación a razón de 1.5 litros por metro cuadrado de producto asfáltico FM-1.

I.e) Habiendo realizado lo anterior, se iniciará la construcción de la carpeta de concreto asfáltico de 7.5cm de espesor compacto elaborado en planta de mezclado, previa aplicación de un riego de liga, a razón de 0.5 litros por metro cuadrado de producto asfáltico FR-3.

## II. SEGUNDA ALTERNATIVA.

II.a) Se fresará la carpeta existente, transportando el producto del fresado a una planta de concreto asfáltico de mezcla en el tambor, en la cual se puede reciclar el material.

II.b) Se escarificará y disgregará la base hidráulica existente, colocando el material disgregado en la zona de terracerías.

II.c) Se procederá a escarificar y recompactar la superficie descubierta (última capa subrasante) en una profundidad de 15cm.

II.d) Al terminar la recompactación de la superficie descubierta, se procederá a la formación de la base de proyecto de 15cm de espesor; ésta capa estará constituida por

una mezcla de material disgregado de la base actual (material recuperado) y material de base nuevo, es decir, al material "acamellonado" de la base se le incorporará material nuevo y la mezcla formará la capa de base de proyecto. Una vez construida la base, se le aplicará un riego de impregnación, a razón de 1.5 litros por metro cuadrado de producto asfáltico FM-1.

II.e) Se procederá a construir una carpeta de concreto asfáltico de 7.5 cm de espesor compacto, elaborado en planta; esta capa estará formada por una mezcla de material recuperado (material fresado: 67.84%) y material "virgen" para carpeta (32.16%). Antes de construir la carpeta y sobre el riego de impregnación deberá aplicarse un riego de liga, a razón de 0.5 litros por metro cuadrado de producto asfáltico FR-3.

### VII.3 ANALISIS DE COSTOS DIRECTOS.

Dentro de las actividades de planeación para la construcción de una obra de ingeniería civil se encuentra lo referente a costos, entre otras.

En toda obra, es importante analizar y calcular los costos, para conocer el importe total de la misma.

El costo de una obra esta integrado por:

1.- Costo Directo.- El costo directo es el costo de los recursos que intervienen en la construcción de la obra, en forma directa, y son:

- a) Mano de Obra.
- b) Materiales.
- c) Maquinaria y equipo.
- d) Herramientas.

2.- Costo Indirecto.-

El costo indirecto está integrado por los gastos que el constructor realiza para construir la obra; gastos que no participan directamente en la ejecución, por ejemplo: gastos de concursos, asesorías, pasajes y gastos de hotel, mobiliario, papelería, etc.

3.- Utilidad.-

Es el importe de las ganancias para el constructor.

En las siguientes páginas se presenta el análisis de los conceptos o trabajos necesarios para el ejecución de cada una de las alternativas que fueron descritas anteriormente; éste análisis se presenta únicamente hasta Costo Directo, ya que el Costo Indirecto y la Utilidad son porcentajes que se apli-

carán al costo directo.

Conviene aclarar que los análisis aquí presentados se efectuaron con salarios, precios y valores de adquisición vigentes en 1981.

Como el objetivo es presentar la metodología de los costos de algunos de los métodos de reconstrucción, estos análisis son válidos para este fin.

A continuación, se presenta la formulación de un presupuesto a costo directo, que es un porcentaje del costo total de la obra por construir, integrado por la lista de los conceptos de obra, indicando la medida, el volumen por hacer, el costo directo y el importe de cada alternativa. Además, se presenta el análisis de los conceptos que se indican en ambas alternativas, a costo directo.

**RELACION DE CONCEPTOS, CANTIDADES DE OBRA, COSTOS DIRECTOS  
Y MONTO TOTAL PARA LA PRIMERA ALTERNATIVA.**

C O N C E P T O		UNIDAD	CANTIDAD/Km.	COSTO DIRECTO EN PESOS (₡)	IMPORTE EN PESOS (₡)
PRECIO No.	D E S C R I P C I O N				
I-1-	Escarificación, disgregado y acomelionado de la carpeta actual.....	M <sup>3</sup>	360	36.11	12,999.60
I-2-	Escarificación, disgregado y acomelionado de la base actual.....	M <sup>3</sup>	735	23.48	17,257.80
I-3-	Recompactación de la superficie descubierta al noventa y cinco por ciento (95%), en un espesor de 15 cm. ....	M <sup>3</sup>	1,140	18.75	21,375.00
I-4-	Mezclado, tendido y compactación de la base de proyecto con material obtenido de la escarificación y disgregación de los capas de base y de carpeta actual.....	M <sup>3</sup>	1,095	58.04	63,553.80
I-5-	Riego de impregnación, a razón de 1.5 litros por metro cuadrado (1.5Lts/m <sup>2</sup> ) de producto asfáltico FM-1.....	Lt.	10,500	2.23	23,415.00
I-6-	Riego de liga, a razón de 0.5 litros por metro cuadrado (0.5Lts/m <sup>2</sup> ) de producto asfáltico FR-3.....	Lt.	3,500	2.26	7,910.00
I-7-	Mezclado, tendido y compactación del material para formación de carpeta asfáltica.....	M <sup>3</sup>	530	627.41	332,527.30
I-8-	Cemento asfáltico Nº 8, a razón de 130 Kilogramos por metro cúbico (130Kg/m <sup>3</sup> )	Kg	68,900	2.00	137,800.00
I-9-	Acorreo de mezcla asfáltica elaborada en planta de mezclado, al centro de gravedad del esmalte.....	M <sup>3</sup> -Km	3,300	6.20	32,860.00
				MONTO TOTAL	<b>648,888.50</b>

U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	PRIMERA ALTERNATIVA.	HOJA 1/2
	CONCEPTO	FECHA 1981
PRECIO I - 1		

<p>ESCARIFICACION, DISGREGADO Y ACAMELLONADO DE LA CARPETA ACTUAL.</p> <p>ANALISIS DEL CONCEPTO.</p> <p>I.- MANO DE OBRA.</p> <p>1.- Disgregación manual de sobretamaños ( 3% promedio)</p> <p>    Cuadrilla: 3 peones; \$329.85/turno c.u.</p> <p>    Rendimiento: 6 m3/turno.</p> <p>    <u>\$ 329.85/t. x 3 peones x 0.03</u>     6 m3/turno.</p> <p style="text-align: right;">\$ 4.95/m3</p> <p style="text-align: right;">CARGO POR MANO DE OBRA.      \$ 4.95/m3</p> <p>II.- MATERIALES.</p> <p>III.- MAQUINARIA.</p> <p>1.- Escarificación.</p> <p>    Tractor D-8     Costo horario      \$ 1,361.70/hr.</p> <p>    Escarificador     Costo horario      \$ 182.78/hr.</p> <p style="text-align: right;">\$ 1,544.48/hr.</p> <p>    Rendimiento: 130 m3/hr.</p> <p>    <u>\$ 1,544.48/hr.</u>     130 m3/hr.</p> <p style="text-align: right;">\$ 11.88/m3</p> <p>2.- Disgregado.</p> <p>    Tractor D-8     Costo horario      \$ 1,361.70/hr.</p> <p>    Rejilla Hysler     Costo horario      \$ 280.62/hr.</p> <p style="text-align: right;">\$ 1,642.32/hr.</p>	
---	--

U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	PRIMERA ALTERNATIVA.	HOJA 2/2
	CONCEPTO	FECHA 1981

<p>Rendimiento: 130 m3/hr</p> <p><math>\frac{\\$ 1,642.32/\text{hr.}}{130 \text{ m3/hr.}}</math></p>	<p>\$ 12.63/m3</p>
<p>3.- Acamellonado.</p> <p>Motoconformadora.</p> <p>Costo horario \$ 838.66/hr.</p> <p>Rendimiento: promedio 130 m3/hr.</p>	
<p><math>\frac{\\$ 838.66/\text{hr.}}{130 \text{ m3/hr.}}</math></p>	<p>\$ 6.45/m3</p>
CARGO POR MAQUINARIA.	\$ 30.96/m3
<p>HERRAMIENTAS.</p> <p>4% costo mano de obra.</p>	
<p>0.04 x \$ 4.95/m3</p>	<p>\$ 0.20/m3</p>
CARGO POR HERRAMIENTAS.	\$ 0.20/m3
COSTO DIRECTO.	\$ 36.11/m3

U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	PRIMERA ALTERNATIVA	HOJA 1/2
	CONCEPTO	FECHA 1981
PRECIO I - 2		

<p>ESCARIFICACION, DISGREGADO Y ACAMELLONADO DE LA BASE ACTUAL.</p> <p>ANALISIS DEL CONCEPTO.</p> <p>I.- MANO DE OBRA.</p> <p>1.- Disgregación manual de sobretamaños. ( 3% promedio) Cuadrilla: 3 peones ; \$ 329.85/turno c.u Rendimiento: 6 m3/turno.</p> <p style="margin-left: 40px;"> <math display="block">\frac{\\$ 329.85/\text{turno} \times 3 \text{ peones} \times 0.03}{6 \text{ m}^3/\text{turno.}}</math> </p> <p style="margin-left: 40px;">\$ 4.95/m3</p> <p style="text-align: right;">CARGO POR MANO DE OBRA. \$ 4.95/m3</p> <p>II.- MATERIALES.</p> <p>III.- MAQUINARIA.</p> <p>1.- Escarificación y Disgregado.</p> <p>Tractor D-8 Costo horario \$ 1,361.70/hr.</p> <p>Escarificador Costo horario \$ 182.78/hr.</p> <p style="margin-left: 40px;">\$ 1,544.48/hr.</p> <p>Rendimiento: 130 m3/hr.</p> <p style="margin-left: 40px;"> <math display="block">\frac{\\$ 1,544.48/\text{hr}}{130 \text{ m}^3/\text{hr.}}</math> </p> <p style="margin-left: 40px;">\$ 11.88/m3</p> <p>2.- Acamellonado.</p> <p>Motoconformadora Costo horario \$ 838.66/hr.</p> <p>Rendimiento: promedio 130 m3/hr.</p> <p style="margin-left: 40px;"> <math display="block">\frac{\\$ 838.66/\text{hr.}}{130 \text{ m}^3/\text{hr.}}</math> </p> <p style="margin-left: 40px;">\$ 6.45/m3</p>	
--	--

U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	PRIMERA ALTERNATIVA.	HOJA 2/2
	CONCEPTO  PRECIO I - 2	FECHA  1981

	CARGO POR MAQUINARIA.	\$ 18.33/m3
HERRAMIENTAS. 4% costo mano de obra. 0.04 x \$ 4.95/m3	\$ 0.20/m3	
	CARGO POR HERRAMIENTAS.	\$ 0.20/m3
	COSTO DIRECTO.	\$ 23.48/m3

U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	PRIMERA ALTERNATIVA.	HOJA 1/2
	CONCEPTO	FECHA 1981.
PRECIO I - 3		

<p>RECOMPACTACION DE LA SUPERFICIE DESCUBIERTA AL NOVENTA Y CINCO POR CIENTO (95%), EN UN ESPESOR DE 15 cm.</p> <p>ANALISIS DEL CONCEPTO.</p> <p>I.- MANO DE OBRA.</p> <p>II.- MATERIALES.</p> <p>1.- Agua para recompactación. Se emplearán 200 lts/m<sup>3</sup>. Costo de extracción y acarreo del agua \$ 41.31/m<sup>3</sup></p> <p>0.200 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> x \$ 41.31/m<sup>3</sup> <span style="float: right;">\$ 8.26/m<sup>3</sup></span></p> <p style="text-align: right;">CARGO POR MATERIALES. <span style="float: right;">\$ 8.26/m<sup>3</sup></span></p> <p>III.- MAQUINARIA.</p> <p>1.- Conformación de la superficie descubierta e Incorporación de agua. Motoconformadora. Costo horario \$ 838.66/hr. Rendimiento: 200 m<sup>3</sup>/hr.</p> <p><math>\frac{\\$ 838.66/hr.}{200 m^3/hr.}</math> <span style="float: right;">\$ 4.19/m<sup>3</sup></span></p> <p>2.- Compactación de la superficie descubierta al 95%. Compactador CA-25-A Costo horario \$ 629.78/hr. Rendimiento: 100 m<sup>3</sup>/hr.</p> <p><math>\frac{\\$ 629.78/hr.}{100 m^3/hr.}</math> <span style="float: right;">\$ 6.30/m<sup>3</sup></span></p>	
---	--

U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	PRIMERA ALTERNATIVA	HOJA 2/2
	CONCEPTO PRECIO I - 3	FECHA 1981

CARGO POR MAQUINARIA.	\$ 10.49/m <sup>3</sup>
COSTO DIRECTO.	\$ 18.75/m <sup>3</sup>



U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	PRIMERA ALTERNATIVA.	HOJA 2/2
	CONCEPTO  PRECIO I - 4	FECHA  1981.

<p>2.- Compactación al 100%</p> <p>Compactador CA-25-A Costo horario \$ 629.78/hr. Rendimiento: 50 m<sup>3</sup>/hr.</p> <p><math>\frac{\\$ 629.78/hr.}{50 \text{ m}^3/hr.} = \\$ 12.60/m^3</math></p> <p style="text-align: right;">CARGO POR MAQUINARIA. \$ 46.15/m<sup>3</sup></p> <p>HERRAMIENTAS. 10% costo de mano de obra. 0.10 x \$ 3.30/m<sup>3</sup> = \$ 0.33/m<sup>3</sup></p> <p style="text-align: right;">CARGO POR HERRAMIENTAS. \$ 0.33/m<sup>3</sup></p> <p style="text-align: right;">COSTO DIRECTO. \$ 58.04/m<sup>3</sup></p>	<p>\$ 46.15/m<sup>3</sup></p> <p>\$ 0.33/m<sup>3</sup></p> <p>\$ 58.04/m<sup>3</sup></p>
--	--

U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	PRIMERA ALTERNATIVA.	HOJA 1/2
	CONCEPTO  PRECIO 1 - 5	FECHA  1981

RIEGO DE IMPREGNACION, A RAZON DE 1.5 LITROS POR METRO CUADRO (1.5 lts/m <sup>2</sup> ) DE PRODUCTO AS FALTICO FM-1 .		
ANALISIS DEL CONCEPTO.		
I.- MANO DE OBRA.		
1.- Protección y Limpieza.		
Cuadrilla: 2 peones; \$ 329.85/turno c.u		
Rendimiento: equivalente a 6,000 lts/turno.		
$\frac{\$ 329.85/\text{turno c.u.} \times 2 \text{ peones.}}{6,000 \text{ lts/turno.}}$	$\underline{\$ 0.11/\text{lt.}}$	
CARGO POR MANO DE OBRA.		\$ 0.11/lt.
II.- MATERIALES.		
1.- Costo del asfalto puesto en obra.		
	\$ 1.20/lt.	
2.- Mermas: 4% .		
0.04 x \$ 1.20/lt.	$\underline{\$ 0.05/\text{lt.}}$	
CARGO POR MATERIALES.		\$ 1.25/lt.
III.- MAQUINARIA.		
1.- Aplicación.		
Petrolizadora.		
Costo horario \$ 604.23/hr.		
Rendimiento: promedio 700 lts/hr		
$\frac{\$ 604.23/\text{hr.}}{700 \text{ lts/hr.}}$	$\underline{\$ 0.86/\text{lt.}}$	
CARGO POR MAQUINARIA.		\$ 0.86/lt.

U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	PRIMERA ALTERNATIVA.	HOJA 2/2
	CONCEPTO	PRECIO 1 - 5

HERRAMIENTAS.	
10% del costo de la mano de obra.	
0.10 x \$ 0.11/1t.	\$ 0.01/1t.
CARGO POR HERRAMIENTAS.	\$ 0.01/1t.
COSTO DIRECTO.	\$ 2.23/1t.

BIBLIOTECA CENTRAL

U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	PRIMERA ALTERNATIVA.	HOJA 1/2
	CONCEPTO  PRECIO I - 6	FECHA  1981.

RIEGO DE LIGA A RAZON DE 0.5 LITROS POR METRO CUADRADO (0.5 LTS/M2) DE PRODUCTO-ASFALTICO FR-3.		
ANALISIS DEL CONCEPTO.		
I.- MANO DE OBRA.		
1.- Protección y Limpieza. Cuadrilla : 2 peones; \$ 329.85/turno c.u. Rendimiento: equivalente a 6,000 lts/turno.		
$\frac{\$ 329.85/\text{turno c.u} \times 2 \text{ peones.}}{6,000 \text{ lts/turno.}}$	$\$ 0.11/\text{lt.}$	
CARGO POR MANO DE OBRA.		\$ 0.11/lt.
II.- MATERIALES.		
1.- Costo del asfalto puesto en obra.		\$ 1.23/lt.
2.- Mermas: 4% 0.04 x \$ 1.23/lt.		$\$ 0.05/\text{lt.}$
CARGO POR MATERIALES.		\$ 1.28/lt.
III.- MAQUINARIA.		
1.- Aplicación. Petrolizadora. Costo horario \$ 604.23/hr. Rendimiento: 700 lts/hr.		
$\frac{\$ 604.23/\text{hr.}}{700 \text{ lts/hr.}}$	$\$ 0.86/\text{lt.}$	
CARGO POR MAQUINARIA.		\$ 0.86/lt.

U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	PRIMERA ALTERNATIVA.	HOJA 2/2
	CONCEPTO  PRECIO I - 6	FECHA  1981

HERRAMIENTAS.  10% del costo de la mano de obra.  0.10 X \$ 0.11/lt.	\$ 0.01/lt.
CARGO POR HERRAMIENTAS.	\$ 0.01/lt.
COSTO DIRECTO.	\$ 2.26/lt.



U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	PRIMERA ALTERNATIVA.	HOJA 2/2
	CONCEPTO  PRECIO I - 7	FECHA  1981.

Planta de asfalto TM-20 Costo horario \$ 2,940.26/hr. Rendimiento: 16 m <sup>3</sup> /hr.		
$\frac{\$ 2,940.26/\text{hr.}}{16 \text{ m}^3/\text{hr.}}$		\$ 183.77/m <sup>3</sup>
3.- Tendido. Esparcidor SA-35 Costo horario : \$ 1,389.85/hr. Rendimiento: 16 m <sup>3</sup> /hr.		
$\frac{\$ 1,389.85/\text{hr.}}{16 \text{ m}^3/\text{hr.}}$		\$ 86.87/m <sup>3</sup>
4.- Compactación. Compactador CA-25-A Costo horario \$ 629.78/hr. Plancha 3 ruedas. Costo horario \$ <u>396.05/hr.</u> \$1,025.83/hr.		
Rendimiento: 16 m <sup>3</sup> /hr.		
$\frac{\$ 1,025.83/\text{hr.}}{16 \text{ m}^3/\text{hr.}}$		\$ 64.11/m <sup>3</sup>
	CARGO POR MAQUINARIA.	\$ 381.27/m <sup>3</sup>
HERRAMIENTAS 10% costo de mano de obra.		
0.10 x \$ 12.37/m <sup>3</sup>		\$ 1.24/m <sup>3</sup>
	CARGO POR HERRAMIENTAS.	\$ 1.24/m <sup>3</sup>
	COSTO DIRECTO.	\$ 627.41/m <sup>3</sup>

U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	PRIMERA ALTERNATIVA.	HOJA 1/1
	CONCEPTO	FECHA 1981
PRECIO I - 8		

CEMENTO ASFALTICO No. 6 A RAZON DE 130- KILOGRAMOS POR METRO CUBICO (130 kg/m <sup>3</sup> ).		
ANALISIS DEL CONCEPTO.		
I.- MANO DE OBRA.		
II.- MATERIALES.		
1.- Costo del asfalto puesto en obra.	\$ 1.19/kg.	
2.- Mermas: 4%		
0.04 x \$ 1.19/kg.	<u>\$ 0.05/kg.</u>	
CARGO POR MATERIALES.		\$ 1.24/kg.
III.- MAQUINARIA.		
HERRAMIENTAS.		
INSTALACIONES.		
1.- Almacenamiento y Pre calentamiento.	<u>\$ 0.76/kg.</u>	
CARGO POR INSTALACIONES.		<u>\$ 0.76/kg.</u>
COSTO DIRECTO.		<u><u>\$ 2.00/kg.</u></u>

U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	PRIMERA ALTERNATIVA.	HOJA 1/1
	CONCEPTO  PRECIO I - 9	FECHA  1981.

<p>ACARREO DE MEZCLA ASFALTICA ELABORADA EN PLANTA DE MEZCLADO, AL CENTRO DE GRAVEDAD DEL CAMINO.</p> <p>ANALISIS DEL CONCEPTO.</p> <p>I.- MANO DE OBRA.</p> <p>II.- MATERIALES.</p> <p>III.- MAQUINARIA.</p> <p>1.- Camión volteo de 6.0 m3 de capacidad.</p> <p>Costo horario \$ 317.99/hr. Velocidad media: 25 km/hr.</p> <p>Ciclo: vueltas y cambios de velocidad. 0.15 min.</p> <p>Distancia: 2 km. (ida y vuelta)</p> <p><math>\frac{2 \text{ km.} \times 60 \text{ min.}}{25 \text{ km./hr.}}</math> 4.80 min. 4.95 min.</p> <p><math>\frac{\\$317.99/\text{hr.} \times 1.35 \text{ (f.abund.)} \times 1.05 \text{ (f.desp.)} \times 4.95 \text{ min.}}{6.0 \text{ m}^3 \times 60 \text{ min./hr.}}</math> \$ 6.20/m3-km</p> <p style="text-align: right;">CARGO POR MAQUINARIA. \$ 6.20/m3-km.</p> <p style="text-align: right;">COSTO DIRECTO. \$ 6.20/m3-km.</p>	
--	--

RELACION DE CONCEPTOS, CANTIDADES DE OBRA, COSTOS DIRECTOS  
Y MONTO TOTAL PARA LA SEGUNDA ALTERNATIVA.

C O N C E P T O		UNIDAD	CANTIDAD/Km.	COSTO DIRECTO EN PESOS (\$)	IMPORTE EN PESOS (\$)
PRECIO No.	D E S C R I P C I O N				
X-1.-	Fresado y carga del material recuperado de la carpeta actual.....	M <sup>3</sup>	360	53.10	19,116.00
X-2.-	Acarreo del material recuperado de la carpeta actual a la planta de mezclado.....	M <sup>3</sup> -Km	3.600	6.20	22,320.00
X-3.-	Escorificación, disgregada y acamellonado de la base actual.....	M <sup>3</sup>	735	23.46	17,257.80
X-4.-	Recompactación de la superficie descubierta al noventa y cinco por ciento (95 %) en un espesor de 15 cm.....	M <sup>2</sup>	1,140	18.75	21,375.00
X-5.-	Suministro de material para base de proyecto.....	M <sup>3</sup>	360	148.24	53,366.40
X-6.-	Acarreo del material de base, del banco #1, al centro de gravedad del camino.....	M <sup>3</sup>	3.600	6.20	22,320.00
X-7.-	Mezclado, Tendido y Compactación de la base de proyecto con la mezcla de material obtenido de la escorificación y disgregación de la base actual y material de base nuevo.....	M <sup>3</sup>	1.095	58.04	63,553.80
X-8.-	Riego de impregnación, a razón de 1.5 litros por metro cuadrado (1.5 lit/m <sup>2</sup> ) de producto asfáltico FM-1.....	Li.	10,500	2.23	23,415.00
X-9.-	Riego de liga, a razón de 0.5 litros por metro cuadrado (0.5 lit/m <sup>2</sup> ) de producto asfáltico FR-3.....	Li.	3,500	2.26	7,910.00
X-10.-	Suministro de material para carpeta asfáltica.....	M <sup>3</sup>	170	232.53	39,530.10
X-11.-	Fabricación, tendido y compactación de la carpeta asfáltica.....	M <sup>3</sup>	530	246.34	130,580.20
X-12.-	Cemento asfáltico N° 6 a razón de 130 kilogramos por metro cúbico (130 Kg/m <sup>3</sup> ).....	Kg	22,100	2.00	44,200.00
X-13.-	Acarreo de mezcla asfáltica elaborada en planta de mezclado, al centro de gravedad del camino.....	M <sup>3</sup> -Km	5.300	6.20	32,860.00
				<b>MONTO TOTAL</b>	<b>497,784.50</b>

U.N.A.M. E.N.E.P. ACAILAN.	SEGUNDA ALTERNATIVA.	HOJA 1/1
	CONCEPTO  PRECIO II - 1	FECHA  1981.

<p>FRESADO Y CARGA DEL MATERIAL RECUPERADO DE LA CARPETA ACTUAL.</p> <p>ANALISIS DEL CONCEPTO.</p> <p>I.- MANO DE OBRA.</p> <p>II.- MATERIALES.</p> <p>III.- MAQUINARIA.</p> <p>1.- Fresado y Carga del Material.</p> <p>Perfiladora de pavimentos Roto-Mill PR - 375 Costo horario \$ 3,982.85/hr. Rendimiento: 75 m<sup>3</sup>/hr.</p> <p><u>\$ 3,982.85/hr.</u> 75 m<sup>3</sup>/hr.</p> <p style="text-align: right;">\$ 53.10/m<sup>3</sup></p> <p style="text-align: right;">CARGO POR MAQUINARIA. \$ 53.10/m<sup>3</sup></p> <p style="text-align: right;">COSTO DIRECTO. \$ 53.10/m<sup>3</sup></p>	
--	--

U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	SEGUNDA ALTERNATIVA.	HOJA 1/1
	CONCEPTO PRECIO II - 2	FECHA 1981

ACARREO DEL MATERIAL RECUPERADO DE LA-CARPETA ACTUAL A LA PLANTA DE MEZCLADO

Igual que el Precio I - 9  
de la Primera Alternativa.

\$ 6.20/m<sup>3</sup>-km.

U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	SEGUNDA ALTERNATIVA	HOJA 1/1
	CONCEPTO PRECIO II - 3	FECHA 1981

ESCARIFICACION, DISGREGADO Y ACAMELLONADO  
DE LA BASE ACTUAL.

Igual que Precio I - 2  
de la Primera Alternativa.

\$ 23.48/m3

U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	SEGUNDA ALTERNATIVA.	HOJA 1/1
	CONCEPTO PRECIO II - 4	FECHA 1981.

RECOMPACTACION DE LA SUPERFICIE DESCUBIERTA  
AL NOVENTA Y CINCO POR CIENTO ( 95% ) EN UN  
ESPESOR DE 15 cm.

Igual que el Precio I - 3  
de la Primera Alternativa.

\$ 18.75/m<sup>3</sup>

U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	SEGUNDA ALTERNATIVA.	HOJA 1/1
	CONCEPTO  PRECIO II - 5	FECHA  1981.

SUMINISTRO DEL MATERIAL PARA BASE DE PROYECTO.		
ANALISIS DEL CONCEPTO.		
I.- MANO DE OBRA.		
II.- MATERIALES.		
1.- Costo del material para base de 1/2" de tamaño máximo de las - partículas, puesto en obra.	\$ 143.93/m3	
2.- Mermas: 3%		
0.03 x \$ 143.93/m3	<u>\$ 4.31/m3</u>	
CARGO POR MATERIALES.		<u>\$ 148.24/m3</u>
COSTO DIRECTO.		<u><u>\$ 148.24/m3</u></u>

U.N.A.M. E.N.E.P. ACA'ILAN.	SEGUNDA ALTERNATIVA.	HOJA 1/1
	CONCEPTO  PRECIO II - 6	FECHA  1981.

ACARREO DEL MATERIAL DE BASE DEL-  
BANCO No. 1 AL CENTRO DE GRAVEDAD  
DEL CAMINO.

Igual que el Precio I - 9  
de la Primera Alternativa.

\$ 6.20/m<sup>3</sup>-km.

U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	SEGUNDA ALTERNATIVA.	HOJA 1/1
	CONCEPTO PRECIO II - 7	FECHA 1981

MEZCLADO, TENDIDO Y COMPACTACION DE LA BASE DE PROYECTO CON LA MEZCLA DE MATERIAL OBTENIDO DE LA ESCARIFICACION Y DISGREGACION DE LA BASE ACTUAL Y MATERIAL DE BASE NUEVO.

Igual que el Precio I - 4 de la Primera Alternativa.

\$ 58.04/m3

U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	SEGUNDA ALTERNATIVA.	HOJA 1/1.
	CONCEPTO  PRECIO II - 8	FECHA  1981.

RIEGO DE IMPREGNACION, A RAZON DE 1.5 -  
LITROS POR METRO CUADRADO (1.5 lts/m2 )  
DE PRODUCTO ASFALTICO FM-1.

Igual que el Precio I - 5  
de la Primera Alternativa.

\$ 2.23/lt.

U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	SEGUNDA ALTERNATIVA.	HOJA 1/1
	CONCEPTO  PRECIO II - 9	FECHA  1981.

RIEGO DE LIGA, A RAZON DE 0.5 LITROS  
POR METRO CUADRADO (0.5 lts/m<sup>2</sup>) DE-  
PRODUCTO ASFALTICO FR-3.

Igual que el Precio I - 6  
de la Primera Alternativa.

\$ 2.26/lt.

U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	SEGUNDA ALTERNATIVA.	HOJA 1/1
	CONCEPTO  PRECIO II - 10	FECHA  1981.

SUMINISTRO DE MATERIAL PARA CARPETA ASFALTICA.		
ANALISIS DEL CONCEPTO.		
I.- MANO DE OBRA.		
II.- MATERIALES.		
1.- Costo del material para carpeta asfáltica de 3/4" de tamaño máximo de las partículas, puesto en obra.	\$ 225.76/m3	
2.- Mermas: 3%		
0.03 x \$ 225.76/m3	<u>\$ 6.77/m3</u>	
CARGO POR MATERIALES.		<u>\$ 232.53/m3</u>
COSTO DIRECTO		<u>\$ 232.53/m3</u>

U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	SEGUNDA ALTERNATIVA.	HOJA 1/2
	CONCEPTO  PRECIO II - 11	FECHA  1981.

FABRICACION, TENDIDO Y COMPACTACION DE  
LA CARPETA ASFALTICA.

ANALISIS DEL CONCEPTO.

I.- MANO DE OBRA.

1.- Recorte de cuñas y afinamiento.

Cuadrilla: 3 peones; \$ 329.85/turno c.u

Rendimiento: equivalente a 80 m<sup>3</sup> de carpe  
ta por turno.

$\frac{3 \text{ peones} \times \$ 329.85/\text{turno c.u.}}{80 \text{ m}^3/\text{turno.}}$

\$ 12.37/m<sup>3</sup>

CARGO POR MANO DE OBRA.

\$ 12.37/m<sup>3</sup>

II.- MATERIALES.

III.- MAQUINARIA.

1.- Carga del material a la planta.

Cargador 45-B de 1.5 yd<sup>3</sup>

Costo horario \$ 744.44/hr.

Rendimiento: 30 m<sup>3</sup>/hr.

$\frac{\$ 744.44/\text{hr.}}{30 \text{ m}^3/\text{hr.}}$

\$ 24.81/m<sup>3</sup>

2.- Secado, dosificación, calentamiento y  
mezclado.

Planta de Asfalto OMI

Mod. UDM. 700 Roto-Cicler.

Costo horario \$ 3,822.33/hr.

Rendimiento: 30 m<sup>3</sup>/hr.

$\frac{\$ 3,822.33/\text{hr.}}{30 \text{ m}^3/\text{hr.}}$

\$ 127.41/m<sup>3</sup>

U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	SEGUNDA ALTERNATIVA.	HOJA 2/2
	CONCEPTO PRECIO II - 11	FECHA 1981.

<p>3.- Tendido.</p> <p>Esparcidor SA-35 Costo horario \$ 1,389.85/hr. Rendimiento: 30 m3/hr.</p> <p><u>\$ 1,389.85/hr.</u> 30 m3/hr.</p>		\$ 46.32/m3
<p>4.- Compactación.</p> <p>Compactador CA-25-A Costo horario \$ 629.78/hr. Plancha 3 ruedas Costo horario: <u>\$ 396.05/hr.</u> \$1,025.83/hr.</p> <p>Rendimiento: 30 m3/hr.</p> <p><u>\$ 1,025.83/hr.</u> 30 m3/hr.</p>		\$ 34.19/m3
	CARGO POR MAQUINARIA.	\$ 232.73/m3
<p>HERRAMIENTAS.</p> <p>10% costo de mano de obra.</p> <p>0.10 x \$ 12.37/m3</p>		\$ 1.24/m3
	CARGO POR HERRAMIENTAS.	\$ 1.24/m3
	COSTO DIRECTO.	<u>\$ 246.34/m3</u>

U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	SEGUNDA ALTERNATIVA.	HOJA 1/1
	CONCEPTO PRECIO II - 12	FECHA 1981.

CEMENTO ASFALTICO No. 6 A RAZON DE 130 KILOGRAMOS POR METRO CUBICO - ( 130 kg/m3 )	
igual que el Precio I - 8 de la Primera Alternativa.	\$ 2.00/kg.

U.N.A.M. E.N.E.P. ACATLAN.	SEGUNDA ALTERNATIVA.	HOJA 1/1
	CONCEPTO PRECIO II - 13	FECHA 1981.

ACARREO DE MEZCLA ASFALTICA ELABORADA  
EN PLANTA DE MEZCLADO, AL CENTRO DE -  
GRAVEDAD DEL CAMINO.

Igual que el Precio I - 9  
de la Primera Alternativa.

\$ 6.20/m<sup>3</sup>-km.

= CAPITULO VIII =

CONCLUSIONES.

#### VIII. CONCLUSIONES.

Las conclusiones del análisis de la información que en este trabajo se recopila son las siguientes:

La estructuración de una obra vial, carretera o camino generalmente está integrada por el terreno natural o superficie de apoyo, terracería, pavimento y obras complementarias de drenaje superficial y sub-drenaje; teniendo cada una de ellas una función específica.

La superficie de apoyo y/o la terracería constituyen la sub-estructura de una obra vial, en tanto que el pavimento es la super-estructura de la misma. Los pavimentos pueden ser de dos tipos, esto es, pavimentos rígidos o de concreto

hidráulico y pavimentos flexibles o asfálticos, teniendo como diferencia básica la estructuración de la superficie de rodamiento; generalmente la superficie de rodamiento de los pavimentos flexibles es una carpeta asfáltica y en los pavimentos rígidos es una losa de concreto hidráulico.

El pavimento está constituido por varias capas de materiales seleccionados, teniendo cada una de ellas su función particular, siendo la principal desde el punto de vista estructural, la de transmitir las cargas de los vehículos automotores en forma adecuada a la terracería o bien a la superficie de apoyo.

Los pavimentos flexibles o asfálticos, que son los de interés en este trabajo, generalmente están constituidos por las capas de sub-base; base y carpeta asfáltica, siendo esta última la que da lugar en su parte superior a la superficie de rodamiento.

Para el correcto funcionamiento de la estructura de un camino, deberá tomarse en cuenta que en él intervienen la calidad y espesores de los materiales que constituyen el pavimento, la terracería y la superficie de apoyo, por lo que la estructura debe analizarse en forma integral.

El drenaje superficial y el sub-drenaje, es uno de los factores que más influyen en el comportamiento de los pavimentos, ya que de no estar resuelto adecuadamente, la vida útil se reduce en forma considerable. En caminos, el drenaje super

ficial y el sub-drenaje, deberá proyectarse de tal manera que el agua que llegue o tienda a llegar se aleje lo más pronto posible.

La información de partida o parámetros de diseño que deben considerarse en el proyecto de un pavimento de una carretera son: intensidad y características del tránsito que va a circular sobre la estructura, características del sub-suelo y de los materiales de pavimentación, las características climatológicas y factores ambientales de la región donde se desea construir el camino.

Los parámetros de diseño deben relacionarse de tal manera que se cumpla la vida de proyecto del camino y se obtenga un comportamiento razonable durante ella.

Al efectuar un proyecto de pavimentos, deberá de percatarse de que el drenaje y/o el sub-drenaje esté suficientemente resuelto y en caso contrario deberán indicarse las recomendaciones adecuadas para que así sea, pues el comportamiento del pavimento no será adecuado aunque el espesor del mismo sea considerable.

La función básica de un pavimento desde el punto de vista operacional es permitir el fácil, cómodo y seguro tránsito de vehículos, por ello uno de los objetivos de los técnicos de pavimentos es evitar la aparición prematura de fallas que no dejan que se cumpla dicha función. Las fallas se presentan cuando el pavimento llega a perder las características de ser

vicio para las que fue proyectado; esta capacidad de servicio del pavimento disminuye con el tiempo.

En los pavimentos se distinguen dos tipos de fallas, las fallas funcionales y las fallas estructurales. Las fallas estructurales implican la incapacidad del pavimento para resistir los efectos de las cargas aplicadas, en tanto que las fallas funcionales se traducen en una incomodidad para el usuario; a este último tipo de falla se le asocia el índice de servicio.

Se puede establecer que cuando se presenta una falla estructural, también ocurrirá, posteriormente, la falla funcional. Además, una falla funcional que no se atienda en forma correcta y a su debido tiempo, puede conducir a una falla estructural.

La identificación de fallas es un concepto muy importante dentro de la evaluación y reconstrucción de caminos y consiste en definir el tipo y las causas que la han producido. Al identificar la falla en los pavimentos, es necesario subsanarla completamente con el fin de corregir el problema de raíz y que no se vuelva a presentar en el mismo sitio.

Para definir las reparaciones, sustituciones y/o refuerzos necesarios en los caminos que están contruidos con pavimentos flexibles, es necesario efectuar la evaluación de las condiciones actuales de los mismos. La evaluación consiste en definir las características estructurales de las capas que

constituyen el pavimento y conocer las condiciones de la superficie de rodamiento del camino en cuestión.

Si se ha determinado que el refuerzo del pavimento es la medida más adecuada, se requiere cuantificar la magnitud de dicho refuerzo.

Es práctica común diseñar el refuerzo para las condiciones estructurales más críticas que se hayan encontrado en el camino. Aunque, satisfaciendo la disponibilidad de fondos y conduciendo a procedimientos constructivos prácticos, se puede efectuar un proyecto que implique favorablemente un balance razonado utilizando estos dos criterios.

De los procedimientos de diseño de refuerzo que son aplicables cuando el pavimento por reforzar es de tipo flexible, el más usual en México es el del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México; este método se elaboró pensando en los problemas y carencias que existen en nuestro país. Aunque, puede utilizarse cualquier otro método de diseño con el que se tenga más experiencia en su manejo, determinandose así las necesidades que en cuanto a espesor y tipos de capas tiene el pavimento.

Para tomar una decisión del tipo de rehabilitación o reconstrucción más adecuado se deben de considerar los conceptos tales como: Nivel de servicio; condición estructural; condiciones de la superficie de rodamiento; la seguridad; el incremento esperado del volumen e intensidad de las cargas

del tránsito; el costo de los trabajos de rehabilitación o reconstrucción y, su disponibilidad de fondos para su ejecución. En casos particulares, también es necesario considerar los problemas viales y económicos que ocasionan las interrupciones durante los trabajos.

La selección del procedimiento constructivo necesario para el mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción de un pavimento flexible debe ser el que se estime como la mejor solución económica y técnica.

La reconstrucción de caminos construidos con pavimentos flexibles puede hacerse por alguno de los siguientes procedimientos constructivos: Riego de sello; renivelación; construcción de una carpeta nueva o de una sobrecarpeta; reconstrucción a partir de las capas inferiores; estabilización de capas de base y/o sub-base; revitalización o rejuvenecimiento del pavimento asfáltico y reciclado de pavimentos asfálticos.

Del ejemplo de comparación de costos entre alternativas desarrollado en este trabajo se puede apreciar que el método conocido como "Reciclaje de pavimentos asfálticos" consistente en utilizar las perfiladoras en frío para el desbastado de la carpeta vieja y la reutilización de este material para la elaboración de la nueva mezcla asfáltica en caliente, tiene un ahorro del 23.38% con respecto al método tradicionalmente utilizado.

El mantenimiento necesario para un pavimento, como para

cualquier obra, depende de la calidad de su diseño y de su construcción.

La Red Nacional de Carreteras pavimentadas debe ser revisada, vigilada y evaluada periódicamente. De este modo se puede obtener la información necesaria para planear y medir los gastos del mantenimiento y de reconstrucción de los caminos existentes.

En México es común que al identificar una falla en el pavimento de un camino dado se efectúen solamente arreglos provisionales superficiales en la zona o subtramo fallado y se deje sin resolver el problema en forma definitiva, provocando con ello incremento en los costos, a menos que el camino sea prácticamente intransitable.

Conforme pasa el tiempo y debido a diferentes aspectos tales como procesos inflacionarios y escasez de energéticos, el costo de los materiales para efectuar la reconstrucción de caminos es más elevado. Por ello hay que interesarse en el reaprovechamiento de los materiales que constituyen la carpeta asfáltica, principalmente, con el fin de reducir costos.

AUN LAS MEJORES CARRETERAS REQUERIRAN REPARACION EN ALGUN MOMENTO Y SE HACE EVIDENTE QUE HAY UN BUEN FUTURO PARA LOS HOMBRES QUE SEAN RECONSTRUIRLAS MEJOR.

REFERENCIAS.

1. Secretaría de Obras Públicas, ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION, Publicaciones de la Secretaría de Obras Públicas de México, México, 1973.
2. Rico Rodríguez, A. y Castillo Mejía, H. del., LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES. CARRETERAS, FERRO CARRILES Y AEROPISTAS., Volumen 2., 1a.ed., 1a. reimp., Ed. Limusa, S.A., México, 1977.
3. Sánchez Rosado, D., FALLAS EN PAVIMENTOS., Apuntes del curso de proyecto y construcción de pavimentos impartido en el Centro de Educación Permanente. IPN., México, 1980.
4. Corro Caballero, S. y Prado O. G., DISEÑO ESTRUCTURAL DE CARRETERAS CON PAVIMENTO FLEXIBLE. Publicación Técnica No. 325 del Instituto de Ingeniería de la UNAM., México, 1974.
5. Secretaría de Obras Públicas., NORMAS Y PROCEDIMIENTOS DE CONSERVACION Y RECONSTRUCCION DE CARRETERAS., 2a.ed., 2a. reimp., Publicaciones de la Secretaría de Obras Públicas de México., México, 1978.
6. Fernández Loaiza, C. y Limón Limón, R., REHABILITACION DE PAVIMENTOS MEDIANTE RECICLADO Y AGENTES REJUVENECEDORES., Apuntes del curso de diseño y construcción de pavimentos impartido en el Centro de Educación Continua. UNAM., México, 1980.
7. Douglas J. Brown. INFORME SOBRE RECIRCULACION EN CALIENTE., Publicación del Departamento de Transportación de los Estados Unidos de América., E.U.A., 1979.

BIBLIOGRAFIA.

1. Asociación Mexicana de Caminos., SEMINARIO SOBRE REHABILITACION Y RECONSTRUCCION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES., Patrocinado por la SAHOP de México., México, 1979.
2. Corro Caballero, S. y Prado O. G., DISEÑO ESTRUCTURAL DE CARRETERAS CON PAVIMENTO FLEXIBLE., Publicación Técnica No. 325 del Instituto de Ingeniería de la UNAM, México, 1974.
3. Corro Caballero, S., EVALUATION OF THE STRUCTURAL STRENGTH OF PAVEMENTS., Publicación Técnica No. E-36 del Instituto de Ingeniería de la UNAM, México, 1978.
4. Crespo Villalaz, C., VIAS DE COMUNICACION. CAMINOS, FERROCARRILES, AEROPUERTOS, PUENTES Y PUERTOS., Ed. Limusa, S.A., México, 1979.
5. Díaz Díaz, S., APUNTES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS (Inéditos)., ENEP. ACATLAN, UNAM, 1979.
6. Douglas J. Brown., INFORME SOBRE RECIRCULACION EN CALIENTE., Publicación del Departamento de Transportación de los Estados Unidos de América., E.U.A., 1979.
7. Fernández Loaiza, C. y Limón Limón, R., REHABILITACION DE PAVIMENTOS MEDIANTE RECICLADO Y AGENTES REJUVENECEDORES., Apuntes del curso de diseño y construcción de pavimentos, impartido en el Centro de Educación Continua, UNAM, México, 1980.
8. Juárez Badillo, E. y Rico Rodríguez, A., TEORIA Y APLICACIONES DE LA MECANICA DE SUELOS., Tomo II, 2a. ed., 1a. reimp., Ed. Limusa, S.A., México, 1979.
9. Quintero Nares, M., EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS EN CARRETERAS Y CRITERIOS PARA SU REHABILITACION., Apuntes del curso de diseño y construcción de pavimentos, impartido en el Centro de Educación Continua, UNAM, México, 1979.

10. Rico Rodríguez, A. y Castillo Mejía, H. del., LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES. CARRETERAS, FERROCARRILES Y AEROPUERTOS., Volumen 2, 1a. ed., 1a. reimp., Ed. Limusa, S.A., México, 1977.
11. Sánchez Rosado, D., FALLAS EN PAVIMENTOS., Apuntes del curso de proyecto y construcción de pavimentos, impartido en el Centro de Educación Permanente, IPN, México, 1980.
12. Secretaría de Obras Públicas., ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION., Publicaciones de la Secretaría de Obras Públicas de México, México, 1973.
13. Secretaría de Obras Públicas., NORMAS Y PROCEDIMIENTOS DE CONSERVACION Y RECONSTRUCCION DE CARRETERAS., 2a. ed., 2a. reimp., Publicaciones de la Secretaría de Obras Públicas de México, México, 1978.
14. The Asphalt Institute., MANUAL DEL ASFALTO., Traduc. Manuel Velázquez, 1a. ed., 4a. reimp., Ed. URMO., España, 1973.
15. Yoder E. J., PRINCIPLES OF PAVEMENTS DESIGN., John Wiley & Sons. Inc., U.S.A., 1967.