



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
‘ ‘ A R A G O N ’ ’

**Evaluación de pavimentos
flexibles en caminos**

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

Presenta:

JOSE CARLOS LOPEZ JUAREZ

SAN JUAN DE ARAGON, 1987



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Civ 75
S10+ 31429



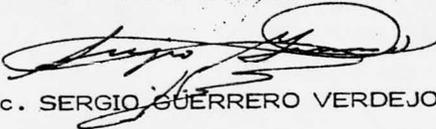
UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

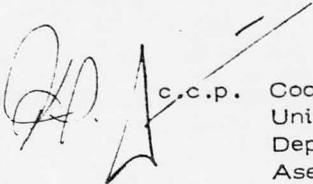
JOSE CARLOS LOPEZ JUAREZ
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 6 de octubre del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, M. en I. FERNANDO OLIVERA BUSTAMANTE pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado "EVALUACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN CAMINOS", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi atenta consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
San Juan de Aragón, Méx., octubre 16 de 1986.
EL DIRECTOR


Lic. SERGIO GUERRERO VERDEJO


c.c.p. Coordinación de Ingeniería (21).
Unidad Académica.
Departamento de Servicios Escolares.
Asesor de Tesis.

SGV'AMCP'11a.

A MIS ADORADOS PADRES

DE LOS CUALES RECIBI CON TODO AMOR
Y MUCHO SACRIFICIO: EL APOYO, EJEM
PLO, SU INFINITA BONDAD Y LO MAS -
IMPORTANTE; LOS PRINCIPIOS QUE VI-
VIRAN EN MI POR SIEMPRE, PARA HACER
ME UN HOMBRE DE BIEN.

A MIS QUERIDAS
HERMANAS:

MA. DE LOURDES Y LETICIA

QUE CON SU CARIÑO, UNION Y ESTIMU-
LO HICIERON QUE CRECIERA EN MI EL
DECEO MARAVILLOSO PARA LA CULMINA-
CION DE ESTA META.

A MIS ABUELOS, TIOS, Y PRIMOS:

LOS CUALES ME SIGUIERON AFECTUOSA-
MENTE EN EL DESARROLLO DE MI EDUCA
CION PROFESIONAL.

A TI:

ELVIRA

QUE GRACIAS A TU COMPRESION, AMOR
Y RESPETO HICISTE QUE BROTARA EN MI
ESE IMPULSO QUE ME GUIO CON ALEGRIA
EN TODO ESTE TIEMPO.

AL M. EN I. FERNANDO OLIVERA B.

POR LA AYUDA AMABLE Y CORDIAL, EN
LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO.

I N D I C E

INTRODUCCION	1
<u>CAPITULO 1.- PAVIMENTOS FLEXIBLES</u>	
1.1.- GENERALIDADES.	4
1.2.- SECCIONES DE CONSTRUCCION.	6
1.3.- ESTRUCTURACION.	8
1.4.- TERRENO DE CIMENTACION O TERRENO NATURAL.	19
1.5.- PRUEBAS PARA LOS MATERIALES DE TERRACERIAS Y PAVIMENTOS.	21
1.6.- ESPECIFICACIONES Y PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION DE TERRACERIAS, BASES, SUB-BASES Y CARPETA ASFALTICA.	22
<u>CAPITULO 2.- FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES</u>	
2.1.- GENERALIDADES.	41
2.2.- FALLA FUNCIONAL Y ESTRUCTURAL.	41
2.3.- CLASIFICACION DE FALLAS.	49
2.4.- CAUSAS QUE ORIGINAN LAS FALLAS EN PAVIMENTOS Y - QUE NO PROVIENEN DIRECTAMENTE DE ESTOS.	51
2.5.- CAUSAS QUE ORIGINAN FALLAS U OTROS DETERIOROS EN LOS PAVIMENTOS Y QUE PROVIENEN DIRECTAMENTE DE - ESTOS.	52
2.6.- EJEMPLOS SOBRE TIPOS DE FALLAS COMUNES EN PAVIMENTOS.	55
<u>CAPITULO 3.- EVALUACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES</u>	
3.1.- GENERALIDADES.	65
3.2.- ESTUDIOS DEL COMPORTAMIENTO - SERVICIO.	66
3.3.- CALIFICACION ACTUAL.	68
3.4.- INDICE DE SERVICIO ACTUAL.	83

<u>CAPITULO 4.- PROYECTO DE LA REHABILITACION Y RECONSTRUCCION DE CAMINOS.</u>	101
4.1.- METODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO PARA LA REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DE CARPETAS.	105
4.2.- METODO DE LA DEFLEXION DE CARRETERAS DEL ESTADO DE CALIFORNIA, E.U., PARA LA REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DE CAMINOS.	118
4.3.- METODO PARA LA REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EMPLEADOS POR LA S.C.T., EN BASE A LA PRUEBA PORTER MODIFICADA (PADRON).	130
<u>CAPITULO 5.- SISTEMATIZACION EN LA CONSERVACION DE CAMINOS.</u>	136
CONCLUSIONES.	147
BIBLIOGRAFIA.	149

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

Un renglón muy importante en la economía nacional, es la infra estructura carretera, la cual se debe mantener en óptimas condiciones, para permitir el tránsito de los vehículos que trans portan los productos nacionales hasta los diferentes puntos -- de nuestro país, así como el movimiento de personas que por mo tivos diferentes hacen uso de dicha red carretera.

Para tener una red carretera en óptimas condiciones de opera-- ción, es necesario realizar evaluaciones periódicas, que refle jen el comportamiento y las necesidades de los caminos en cuan to a conservación, rehabilitación o modernización. En el pre-- sente trabajo se tratará de explicar los diferentes tipos de - evaluaciones y conceptos que se necesitan para llevarlos a ca-- bo correctamente.

En el primer capítulo se define lo que es un pavimento flexible, las capas que lo componen y las capas inferiores a él, se menciona la tecnología Porter Modificada (Padrón), empleada para el - proyecto de pavimentos en nuestro país; se da un ejemplo de cál culo de espesores; se continúa con las especificaciones y proce dimientos de construcción que se requieren para la capa subra-- sante, base, sub-base y carpeta.

El segundo capítulo se refiere a lo que son las fallas en pavi-- mentos, definiendo lo que es una falla funcional y una falla -- estructural; clasificación de los tipos de deterioros, las cau-- sas que originan fallas en los pavimentos y que no provienen -- directamente de éstos, causas que originan fallas en los pavi-- mentos y que provienen directamente de éstos y se mencionan las posibles causas y criterios probables de reparación de las ----

fallas.

En el tercer capítulo se mencionan los diferentes tipos de evaluación como son la calificación actual que se realiza por medio de un grupo de personas, en donde se toma en cuenta únicamente la superficie de rodamiento y el índice de Servicio Actual el cual emplea aparatos para obtener la calificación del camino, ambos métodos, usan una escala del 0 al 5 para definir las condiciones en que se encuentra el camino, considerando --cero, como camino intransitable y cinco como excelente. Haciendo mención del método propuesto por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

El cuarto capítulo se refiere a los métodos para el proyecto de la rehabilitación y reconstrucción de caminos, así como problemas a manera de ejemplos.

En el capítulo quinto se plantea una sistematización para la conservación de los caminos, es decir la forma en que se deben llevar a cabo la conservación y rehabilitación de los caminos en base a prioridades, analizando necesidades y recursos con que se cuenta, así como las acciones técnico-administrativas de los diferentes niveles de mando.

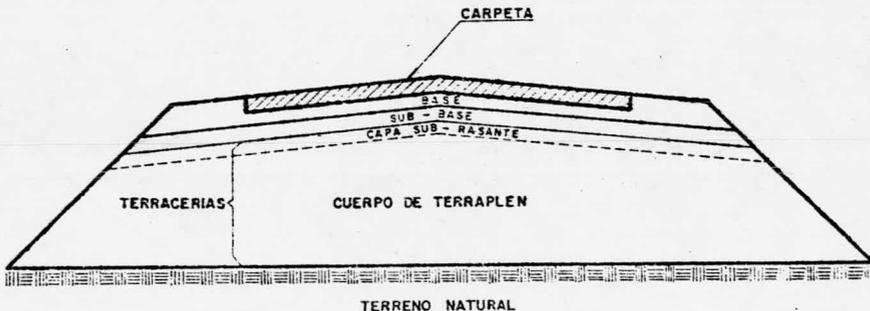
CAPITULO 1.- PAVIMENTOS FLEXIBLES.

1.1. GENERALIDADES.

Se entiende por pavimento al conjunto de capas construidas con materiales seleccionados, que reciben directamente las cargas de los vehículos y las transmiten al resto de la estructura vial, permitiendo el tránsito "rápido" y "comodo" de los vehículos.

Convencionalmente los pavimentos se clasifican en flexibles y rígidos. Los primeros son aquellos que como superficie de rodadura tienen una carpeta asfáltica, en cambio, los segundos, cuentan con una losa de concreto hidráulico, la cual trabaja monolíticamente y transmite los esfuerzos a una zona bastante más amplia de las capas inferiores en relación con los pavimentos flexibles.

Las capas que generalmente constituyen un pavimento flexible, mencionadas de las superiores a las inferiores son: carpeta asfáltica, base y sub-base. El pavimento se construye sobre las terracerías que están formadas por la capa subrasante y el cuerpo del terraplén y toda la estructura se apoya en el terreno natural. (Ver figura 1.1.)



CORTE EN TERRAPLEN
(Fig. 1.1)

En la construcción de las terracerías de un camino, el costo - está gobernado por los movimientos de éstas. Esto implica una serie de estudios que permitan tener la certeza de que los movimientos a realizar, sean los más económicos dentro de los requerimientos que el tipo de camino fija. Por lo anteriormente dicho se tiene que hablar del proyecto de la sub-rasante.

Antes se definirá que la subrasante es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la subcorona. Este - eje de la subcorona en alineamiento vertical se le llama línea subrasante.

Al iniciarse el estudio de la subrasante se debe analizar el - alineamiento horizontal, el perfil longitudinal, las secciones transversales del terreno, los datos relativos a la calidad de los materiales y la elevación mínima que se requiere para dar cabida a las estructuras.

La subrasante económica es aquella que ocasiona el menor costo de la obra, entendiéndose por ésto, los movimientos de tierras económicos durante la construcción del camino.

De acuerdo a lo anterior, se considera que los parámetros que definen el proyecto de la subrasante económica son los siguientes:

- a). Condiciones topográficas.
- b). Condiciones geotécnicas.
- c). Subrasante mínima.
- d). Costo de las terracerías.

1.2. SECCIONES DE CONSTRUCCION.

Son perfiles del terreno, normales al eje proyectado en planta, que se obtienen generalmente a cada 20 m. Estas secciones serán en corte o terraplén, ver figuras 1.2 y 1.3, según lo indique el perfil en el punto correspondiente, en el cual se mide la diferencia de cotas o espesor de cada una (espesor de corte o espesor de terraplén).

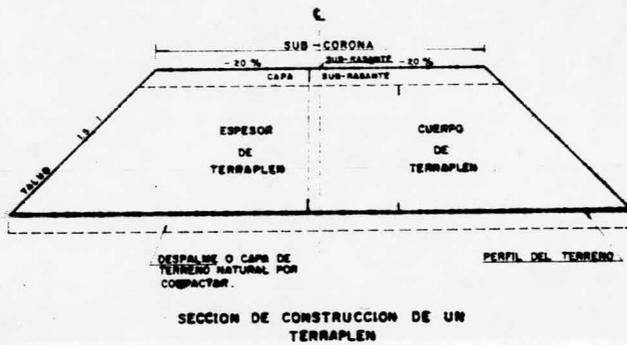


Fig. 1.2.

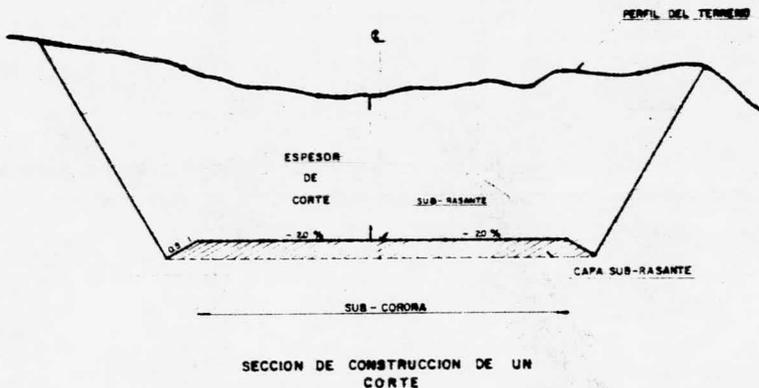


Fig. 1.3.

Habr  secciones en que al mismo tiempo tengan corte y terraplén (Sección "en balcón"), ver figura 1.4, las cuales se producen cerca y en los puntos de paso, que son los lugares donde la subrasante cruza el perfil del terreno al pasar de corte a terraplén o viceversa.

Los elementos y conceptos que determinan el proyecto de una --- sección de construcción son: propios de diseño geométrico y los impuestos a que debe sujetarse la construcción de las terrazas.

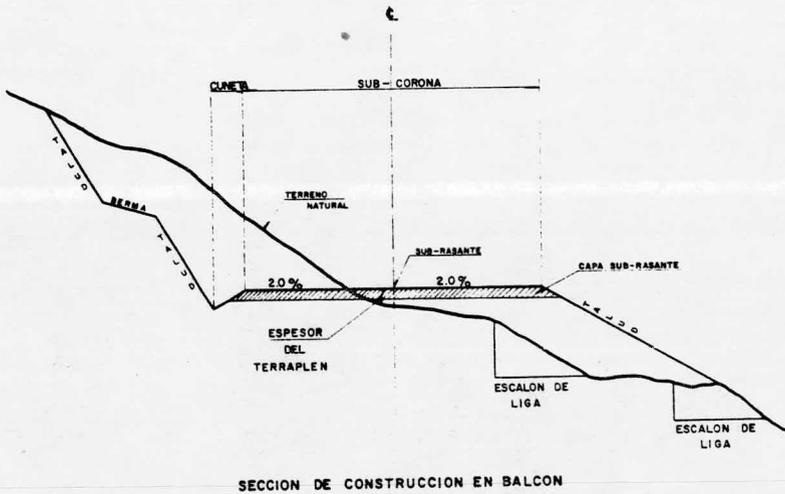


Fig. 1.4.

1.3. ESTRUCTURACION.

Para llevar a cabo la estructuración de los pavimentos es necesario calcular los espesores de las capas componentes, lo cual se realiza usualmente a través de los nomogramas que las oficinas de caminos han elaborado con base a consideraciones de carácter teórico, en una prueba considerada de resistencia y en las observaciones y correlaciones de campo.

Estos nomogramas sufren modificaciones a través del tiempo, -- conforme las condiciones del tránsito o a medida que se observa el comportamiento de los pavimentos construidos.

Existen en la práctica mundial numerosas pruebas de resistencia para el proyecto de espesores de pavimentos, algunas de ellas -- muy sencillas y otras bastante elaboradas. Se tienen las pruebas del estabilómetro y cohesiómetro de Hveen, las triaxiales de Texas o de Kansas, etc., sin embargo, probablemente la más antigua de las conocidas en la literatura es la prueba de CBR (California Bearing Ratio) que se usó en 1925 tanto para clasificar a los materiales, como para efectuar el proyecto de espesores, inicialmente en la agencia de carreteras de California, de acuerdo con lo establecido con el Sr. Porter se elaboraba el espécimen en forma estática.

El CBR es la resistencia en por ciento (%), que un suelo opone a la penetración de una aguja con sección transversal de 19.35 cm^2 , con respecto a la resistencia que opone un material considerado estándar (caliza triturada). Las resistencias que generalmente se relacionan son las correspondientes a la penetración corregida de 2.54 mm.

A principio de la década de los cuarenta los técnicos mexicanos

se interesaron por establecer o adoptar una prueba de resistencia que fuera sencilla pero eficaz para el proyecto de pavimentos, revisando los estudios realizados por el Sr. Porter y la técnica vigente en el Estado de California, a partir de lo cual se establecieron las pruebas que denominaron de Porter Modificadas (Padrón), ya que solo conservaron de aquellas la compactación estática, las dimensiones del molde y la forma de la penetración, con lo que se obtiene el valor relativo de soporte --- (VRS) de proyecto, término en español que se ha aceptado para el California Bearing Ratio (CBR).

En general, la prueba de Porter Modificada (Padrón) se lleva a cabo en especímenes que se compactan a diferentes pesos volumétricos y diferentes humedades, de tal manera que el proyectista puede obtener los especímenes que crea necesario para conocer el comportamiento del suelo que está estudiando, incluyendo el de las condiciones críticas que se presentan en la realidad.

Las especificaciones generales de construcción de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en su parte Novena, presenta -- como recomendación dos variantes a esta prueba como guía para los proyectistas. En la variante uno, señala que las pruebas se efectuen a diferentes pesos volumétricos, en función del peso volumétrico seco máximo (PVSM), pero contenido constante de humedad e igual a la óptima. Este tipo de pruebas se realizan a materiales que formarán parte de la estructura de un camino en zonas de muy baja precipitación o muy bien drenadas. En la variante dos, se indica que los especímenes se elaboran de la siguiente manera:

- a). Con 100% de PVSM y humedad óptima.
- b). Con 95% de PVSM y humedad óptima + 1.5%.

c). Con 90% de PVSM y humedad óptima + 3%.

(PVSM) = Peso volumétrico seco máximo.

Con esta serie mínima de pruebas el proyectista puede conocer el comportamiento del suelo al variar el peso volumétrico y la humedad en cuanto a valor relativo de soporte se refiere.

Las humedades que se indican para la elaboración de los especímenes son las que en promedio se encontraron al estudiar las humedades de equilibrio, tanto en especímenes de laboratorio - como en determinaciones de campo.

Para dar una idea de como utilizar los incisos anteriores en general, se tiene que: si el drenaje es bueno y la precipitación baja, se utilizarán los datos del inciso a); para drenaje y precipitaciones regulares, se utilizan los datos del inciso b); para aquellas zonas de drenaje malo o dudoso y precipitación alta se tiene los datos del inciso c).

Siendo las técnicas mexicanas entre las primeras en tomar en cuenta la humedad de equilibrio para el proyecto de pavimentos, y con el avance de la misma se ha considerado que lo más conveniente para el proyecto de estructuración de pavimentos es determinar la intensidad de tránsito, con el número de ejes equivalentes en función de un vehículo estándar a través de la vida útil de la obra.

A continuación se presentan tablas para el cálculo de pavimentos flexibles, que se utilizan en la Tecnología Mexicana basada en la prueba de Porter Modificada (Padrón). En la tecnología que aquí se presenta, el tipo y espesores de carpeta que se recomiendan, según el tránsito diario promedio anual, es --

como se indica en la tabla No. 1.1.

TIPO Y ESPEORES DE CARPETA.

Número de vehículos pesados	Tipo y espesores de carpeta asfáltica
Menos de 500	- Carpeta de un riego.
De 500 a 2000	- Carpeta de 2 riegos o mezcla en el lugar.
De 2000 a 3000	- Carpeta de 3 riegos o mezcla en el lugar de 7 a 10 cm.
Mas de 3000	- Carpeta de concreto asfáltico de 15 cm, sobre base hidráulica, o de 8 cm. mínimo sobre base tratada con cemento Portland.

Tabla No. 1.1

Quando se recomienda el uso de concreto asfáltico, se deberá proyectar una base rigidizada, a menos de que el espesor de -- carpeta sea del orden de 15 cm o más; de esta manera, se evita rán agrietamientos en la superficie de rodamiento pués se tiene una mejor sucesión de módulos de elasticidad entre las dife rentes capas.

Los materiales que han sido tratados con productos como asfal to, cal o cemento, tienen un valor estructural mayor que los - hidráulicos, por lo que para estabilizar su espesor, es necesá rio multiplicarlo por los valores de equivalencia que se dan en la tabla 1.2.

Respecto a los materiales hidráulicos, son todos los materiales

naturales, incluyendo aquellos que han recibido un tratamiento mecánico como mezcla con otro material natural o triturado.

FACTOR DE EQUIVALENCIA	
MATERIAL	FACTOR
Concreto asfáltico	2
Base tratada con cemento Portland	1.8
Base tratada con cal	1.5
Mezcla asfáltica o carpeta de 2 ó 3 riegos	1.3 - 1.5
Materiales naturales o tratados mecánicamente	1.0
Carpeta de un riego.	0

Tabla No. 1.2.

El espesor de capa subrasante, será la diferencia del espesor requerido por la capa subyacente a ella (terracería) y el que requiere el material con el cual va a ser formada; este espesor podrá disminuirse por consideraciones de espesor mínimo de construcción de las capas superiores (base, sub-base) pero no será inferior al mínimo especificado de 30 cm.

El espesor de pavimento, será el que se calcula en función del tránsito acumulado y el VRS de la capa subrasante.

A continuación se presenta el procedimiento de llenado de una hoja tipo de cálculo de espesores, comenzando por el cálculo de tránsito equivalente, ver figura No. 1.5, y un ejemplo como ilustración, de la tecnología Porter Modificada (Padrón).

1.- Se deduce o se calcula el tránsito diario promedio anual -

por medio de aforos.

- 2.- Se calcula el tránsito diario en el carril de diseño, que es el 50% si el camino es de cuatro carriles, o el 60% si solo hay dos carriles en el camino.
- 3.- Se indica el período de diseño en años (n) y la tasa de crecimiento (r).
- 4.- Se calcula el factor de proyección de tránsito al futuro por medio de la fórmula:

$$C = 365 \frac{(1 + r')^n - 1}{r'}$$

(r') en decimal.

- 5.- Se indica en la columna 2 la distribución actual del tránsito en (%), de acuerdo con los diferentes tipos de vehículos.
- 6.- Se realizan los cálculos para la columna 3, multiplicandose el número de vehículos en el carril de diseño por los porcentajes señalados en la columna 2.
- 7.- Se multiplican los coeficientes de equivalencia de la columna 4 por el número de vehículos correspondientes en la columna 3 con la que se obtienen los datos de la columna 5 correspondientes a ejes sencillos equivalentes.
- 8.- Se suman los valores de la columna 5 y se multiplican por el factor de proyección de tránsito al futuro con lo que se obtiene el número de ejes equivalentes acumulados que se tendrán en la vida útil del pavimento.

Fig. 1.5.

CALCULO DE ESPESORES PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES

METODO DE PORTER MODIFICADA (PADRON)

OBRA _____ FECHA _____

TRAMO _____ SUBTRAMO _____

DATOS PARA PROYECTO:

TRANSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL EN DOS SENTIDOS (TDPA) _____ VEH.
 TRANSITO EN EL CARRIL DE DISEÑO (%) _____ PERIODO DEL DISEÑO (n) _____ AÑOS
 TASA ANUAL DE CRECIMIENTO (r) _____ % FACTOR DE PROYECCION AL FUTURO (c) _____

TIPO DE VEHICULOS	DIST. DEL TRANSITO (%) (2)	DIST. DEL TRANSITO (VEHICULOS) (3)	COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA (4)	EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 8.2 T (5)
VEHICULOS HASTA DE 15 TON			.06	
AUTOBUSES			2.1	
CAMIONES (15 a 23 T)			2.1	
TRACTOR C/SEMIREMOLQUE (25 a 33 T)			4.1	
CAMION C/REMOLQUE (35 a 55 T)			6.4	
TRACTOR C/SEMI Y REMOLQUE (65 a 85 T)			8.4	
SUMA				
TRANSITO EQUIVALENTE ACUMULADO				
AL FINAL DE LA VIDA UTIL= FACTOR DE PROY. (C) X SUMA =				

CALCULO DE ESPESORES

VRS DE DISEÑO DEL CUERPO DEL TERRAPLEN _____ %
 D1 = ESPESOR DE CAPA SUBRASANTE + PAVIMENTO _____ CM. DE GRAVA
 VRS DE DISEÑO DE LA CAPA SUBRASANTE _____ %
 D2 = ESPESOR DE PAVIMENTO _____ CM. DE GRAVA

ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO

CAPA	TIPO	ESP. REAL	FACT. DE CONV.	ESP. DE GRAVAS (CM)		
				POR CAPA	DE PAV.	TOTAL
CARPETA DE						
BASE DE						
SUBBASE						
SUBRASANTE						

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

Para realizar la estructuración de una obra vial en base al - VRS que se obtiene de pruebas Porter Modificada (Padrón), se requiere de dos valores de VRS que son, el de la capa subrasante (VRS cs) y el del cuerpo del terraplén (VRS ct), además con la suma de ejes acumulados en millones.

Para realizar el ejemplo se dan los valores VRS de cada capa - como dato.

$$(VRS \text{ cs}) = 8$$

$$(VRS \text{ ct}) = 4$$

EJEMPLO:

Se tiene un tránsito diario promedio anual de 4,275 vehículos en ambos sentidos, considerando un camino de dos carriles, con una distribución de vehículos como sigue:

Vehículos hasta 15 toneladas	60%
Autobuses	15%
Camiones (15 a 23 toneladas)	14%
Tractor c/semirremolque (25 a 33 toneladas)	0%
Camión con remolque (35 a 55 toneladas)	11%
Tractor c/semirremolque (65 a 85 toneladas)	0%

Con un período de diseño $n = 20$ años y una tasa de crecimiento anual del 9% a 10 años, teniéndose estos datos se comienza a resolver el ejemplo.

$$TDPA = 4,275$$

$$TD_{CD} = 4,275 \times 60\% = 2,565$$

Factor de proyección de tránsito al futuro.

$$C = 365 \frac{(1 + r')^n - 1}{r'}$$

$$C = 365 \frac{(1+0.09)^{20} - 1}{0.09} = 18,673$$

1	2	3	4	5
Tipo de vehículo	Distribución de tránsito %	Distribución de tránsito (vehículos)	Coefficiente de equivalencia	ejes sencillos equivalentes de 8.2 toneladas.
Vehículos hasta 15 ton.	60	1,539	0.06	92.34
Autobuses	15	384.75	2.1	807.97
Camiones (15 a 23 ton.)	14	359.10	2.1	754.11
Tractor c/ semiremolque (23 a 33 ton.)			4.1	
Camión con remolque (23 a 55 ton.)	11	282.15	6.4	1805.76
Tractor con semi y remolque (65 a 85 ton.)			8.4	
TOTAL:				3,460.18

Tabla 1.5.a.

El factor de proyección al futuro se multiplica por el valor obtenido de la suma de la columna 5 de la tabla 1.5.a.

$$18,673 \times 3,460.18 = 64,611,941$$

Tránsito equivalente acumulado al final de la vida útil del pavimento 64,611,941.

Tomando los valores anteriormente dados de VRS:

$$\text{VRS}_{\text{CSR}} = 8 \quad \text{VRS}_{\text{CT}} = 4$$

Utilizando la figura No. 1.6 (gráfica de trabajo para el cálculo de espesores y estructuración del pavimento) con un VRS = 4 y 64,611,941 de ejes acumulados se obtiene el espesor sobre la capa considerada en centímetros, que en este caso da un valor de 84 cm.

Después empleando la misma tabla pero ahora con el VRS = 8 y - 64,611,941 de ejes acumulados se obtiene el espesor del pavimento que da un valor de 63 cm.

$$\begin{aligned} \text{Espesor} &= \text{Capa subrasante} + \text{pavimento} \\ 84 \text{ cm.} &= \text{Capa subrasante} + 63 \text{ cm.} \\ \text{Capa subrasante} &= 84 \text{ cm.} - 63 \text{ cm.} \\ \text{Capa subrasante} &= 21 \text{ cm.} \end{aligned}$$

Por especificaciones la capa subrasante no debe ser menor de - 30 cm. de espesor, por lo anterior la capa subrasante se considerará de 30 cm. en lugar de 21 cm.

$$\text{Capa subrasante} = 30 \text{ cm}$$

Para obtener el tipo y espesor de carpeta, se emplea la tabla No. 1.1 o la figura 1.6 con el tránsito actual mayor de 5 toneladas; para este caso el TDPA mayor de 5 toneladas es el 64% - del TDPA.

$$4,275 \times .64 = 2,736$$

De 2000 a 3000 vehículos pesados se utiliza carpeta de 3 riegos o mezcla en lugar de 7 a 10 cm.

DE PRUEBAS PORTER MODIFICADA

$D = a_1 d_1 + a_2 d_2 + a_3 d_3 + \dots$ a: FACTOR DE EQUIVALENCIA d: ESPESOR DE LA CAPA
 a: 2.0 CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO a: 1.3 a 1.6 MEZCLAS ASFALTICAS
 a: 1.8 BASE MEJORADA CON CEMENTO PT a: 1.0 MATERIALES NATURALES O TRATADOS MECANICAMENTE
 a: 1.5 BASE MEJORADA CON CAL a: 0 CARPETA DE UN RIEGO

TIPO Y ESPESORES DE CARPETA

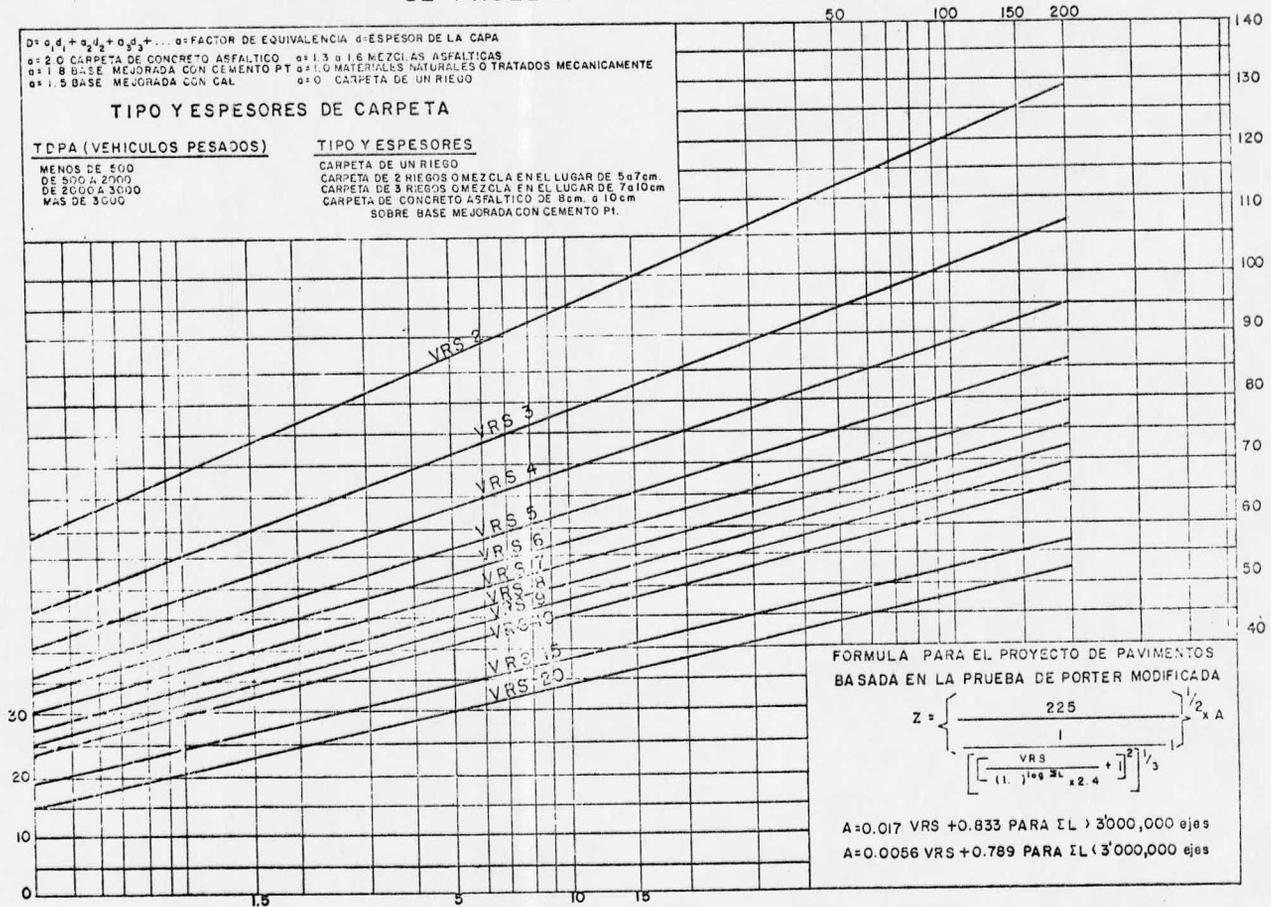
TDPA (VEHICULOS PESADOS)

MENOS DE 500
 DE 500 A 2000
 DE 2000 A 3000
 MAS DE 3000

TIPO Y ESPESORES

CARPETA DE UN RIEGO
 CARPETA DE 2 RIEGOS O MEZCLA EN EL LUGAR DE 5 a 7 cm.
 CARPETA DE 3 RIEGOS O MEZCLA EN EL LUGAR DE 7 a 10 cm
 CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO DE 8 a 10 cm
 SOBRE BASE MEJORADA CON CEMENTO P1.

D = ESPESOR SOBRE LA CAPA CONSIDERADA (INCLUYENDO CARPETA ASFALTICA)



FORMULA PARA EL PROYECTO DE PAVIMENTOS BASADA EN LA PRUEBA DE PORTER MODIFICADA

$$Z = \left\{ \frac{225}{I} \right\}^{1/2} \times A$$

$$\left[\frac{VRS}{(1.1)^{100 \times 2.4} + 1} \right]^{1/3}$$

A = 0.017 VRS + 0.833 PARA EL > 3'000,000 ejes
 A = 0.0056 VRS + 0.789 PARA EL < 3'000,000 ejes

EJES ACUMULADOS (MILLONES)

FIG.1.6.

Se opta por carpeta de 10 cm. de espesor construida de mezcla asfáltica en el lugar, con la fórmula siguiente, ver figura - 1.6, se obtiene finalmente el espesor de la sub-base.

$$D = a_1 d_1 + a_2 d_2 + a_3 d_3 + \dots$$

a = Factor de equivalencia.

d = Espesor de la capa.

$$D = 1.5 (10) + 1 (15) + 1 (SB).$$

$$63 = 15 + 15 + SB$$

$$SB = 63 - 30$$

$$SB = 33$$

De esta manera el espesor del pavimento será de 58 cm distribuyéndose así:

Carpeta = 10 cm.

Base = 15 cm.

Sub-base = 33 cm.

58 cm

1.4. TERRENO DE CIMENTACION O TERRENO NATURAL.

Es la faja del camino donde se van a desplantar terraplenes y que a la vez servirá de cimentación para la obra, al terreno - se le harán pruebas de resistencia y deformación para conocer sus propiedades y saber si es capaz de soportar eficientemente la carga, principalmente de la obra.

La interacción entre terreno natural y superestructura es tan importante que con frecuencia conviene buscar mejores condiciones de éste. Puede considerarse que la solución más inmediata para disponer de un mejor terreno de cimentación es cambiar el trazo, abandonando la zona mala por otra que presente mejores

condiciones. Naturalmente que ésta se aplica con frecuencia -- cuando es factible y económica.

Cuando la solución no es factible ni económica y se tiene que realizar la obra, existen dos tipos de terreno con los que es importante tener ciertos cuidados, debido a los problemas de resistencia y deformación que presentan, los cuales son: terrenos expansivos y terrenos blandos.

Las fallas más comunes que presentan los terraplenes al construirse sobre este tipo de suelo son: falla de pie de talud, falla por expansión debido a la incursión de agua en el suelo de apoyo, falla por bufamiento etc.

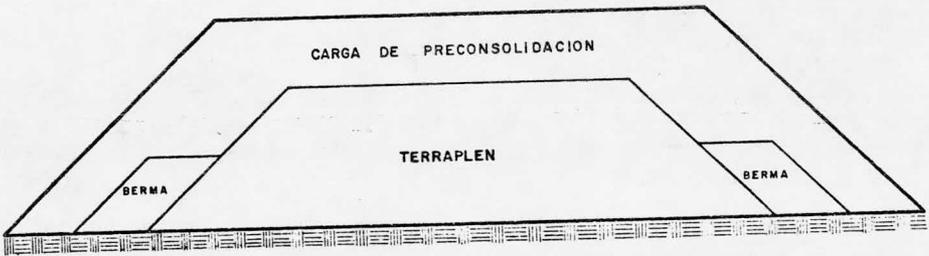
A continuación se dan algunas de las formas con que se puede evitar la falla: terraplén protegido con bermas, terraplén con carga de preconsolidación, terraplén apoyado en malla plástica (geotextiles), terraplén con taludes tendidos, remoción del material compresible etc., ver figura 1.7.a, 1.7.b. y 1.7.c.



T.N. BLANDO

**TERRAPLEN SOBRE TERRENO BLANDO PROTEGIDO CON
BERMA PARA DARLE MAYOR ESTABILIDAD.**

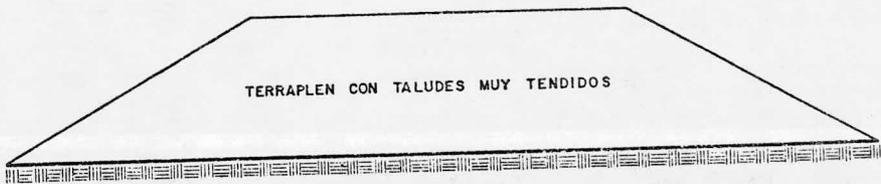
Figura 1.7.a.



T. N. BLANDO

TERRAPLEN SOMETIDO A CARGA DE PRECONSOLIDACION

Figura 1.7.b.



T. N. BLANDO

Figura 1.7.c.

1.5. PRUEBAS PARA LOS MATERIALES DE TERRACERIAS Y PAVIMENTOS.

A continuación se mencionan los tres tipos de pruebas para los materiales nombrados.

a).- Pruebas de clasificación.

Son pruebas cuyos resultados permiten clasificar el material a fin de establecer la posibilidad de su empleo, ya

sea en terracerías, sub-bases, bases y carpetas. Algunas pruebas que se aplican a los materiales pétreos son: de granulometría, obtención de los límites de atterberg, con tracción lineal, VRS, Porter Estándar, Pruebas Proctor, - valor cementante, pruebas de desgaste, afinidad con el -- asfalto, dureza, etc. Para materiales asfálticos: destilación, penetración, viscosidad, punto de encendido, punto de reblandecimiento, ductibilidad, solubilidad en tetracloruro de carbono, etc. Para mezclas asfálticas: estabilidad, flujo, porcentaje de vacíos, etc.

b).- Pruebas de control.

Son aquellas por medio de las cuales se revisa si se cumplió con la calidad especificada para la construcción de la obra. Las pruebas que se aplican son: Porter Estándar y Proctor para la compactación de suelos, prueba de ---- Marshall, determinación del contenido de asfalto en mezclas y carpetas y las mencionadas en el inciso anterior.

c).- Pruebas de proyecto.

Son pruebas de resistencia que nos sirven para determinar los espesores de los pavimentos. Las pruebas que se realizan son: Porter Modificada (Padrón), Pruebas de Hveen, -- triaxiales de Kansas o de Texas, etc. (según el método que se use).

1.6. ESPECIFICACIONES Y PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION DE TERRACERIAS, BASES, SUB-BASES Y CARPETA ASFALTICA.

A continuación se hablará de las funciones, características, - especificaciones y procedimientos de construcción, de cada capa de la sección estructural que se ilustró en la figura 1.1,-

iniciando de la capa inferior (cuerpo del terraplén) hasta llegar a la carpeta asfáltica.

TERRACERIAS.

Son los volúmenes que se extraen (corte) o que sirven del relleno (terraplén) para la construcción de un camino. Las terracerías se componen de dos capas que son: cuerpo del terraplén y capa subrasante.

Para obtener un buen resultado al usar los materiales para terracerías se debe considerar que para el cuerpo del terraplén no se emplearan materiales finos que tengan un límite líquido mayor de 70% ($L_l \leq 70\%$), ni fragmentos de roca mayores de 75 cm.

Las principales funciones de la capa subrasante son:

- a).- Resistir los esfuerzos debido al paso de los vehículos, que le son transmitidos por el pavimento.
- b).- Transmitir los esfuerzos anteriores, al resto de las terracerías, distribuidos de tal manera que puedan ser resistidos por los materiales subyacentes.
- c).- Evitar la contaminación de la parte inferior del pavimento con los materiales que forman el cuerpo del terraplén.
- d).- Evitar la incrustación del pavimento en el terraplén, en caso de que esté formado por fragmentos de roca.
- e).- Evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes en roca, se reflejen en la superficie del camino.

f).- Disminuir el costo de las capas del pavimento uniformizando en lo más posible dichas capas, principalmente cuando se tienen terracerías de baja calidad.

En los casos en que se tengan terrenos naturales con bajo valor relativo de soporte, es conveniente colocar la subrasante mejorada con cal o cemento, para distribuir los esfuerzos en zonas mucho más amplias y éstos lleguen muy disminuidos a las capas inferiores.

Las características de los materiales que forman el cuerpo del terraplén y la capa subrasante de un camino, tienen un papel fundamental en el comportamiento y espesor requerido de un pavimento flexible.

Los materiales para la capa subrasante deben cumplir los siguientes requisitos:

- a).- Deben ser materiales compactables.
- b).- Se recomienda no emplear en la construcción de dicha capa materiales que tengan una expansión mayor de 5%.
- c).- Los materiales que se utilicen deben tener un valor relativo de soporte del 15% mínimo.
- d).- La capa subrasante deberá tener como mínimo un espesor de 30 cm.

El procedimiento de construcción de la capa subrasante se adapta a los siguientes requisitos:

- a).- Elección de bancos.
- b).- Ataque de bancos.

- c).- Tratamiento, trituración y cribado o estabilización.
- d).- Acarreo y acamellonamiento en el camino.
- e).- Extendido y compactado.

SUB-BASES Y BASES.

Son capas sucesivas de materiales seleccionados que se construyen sobre la capa subrasante. Sus funciones principales son:

- a).- Tener en todo tiempo la suficiente resistencia estructural para soportar las cargas que le son transmitidas por los vehículos estacionados o en movimiento.
- b).- Distribuir las presiones que le son transmitidas a la capa subyacente de tal modo que no exedan la resistencia estructural de ésta.
- c).- La sub-base debe proteger a la base aislándola de las terracerías cuando éstas sean formadas por material fino y plastico y cuando la base sea de textura abierta. De no existir el material de sub-base el material de la terracería se introduciría en la base, y provocaría cambios volumétricos perjudiciales.
- d).- La base debe estar constituida por materiales que presenten buena afinidad con el asfalto de riego de impregnación.

A los materiales para emplearse en la construcción de las sub-bases y bases deben practicarseles las siguientes pruebas:

- a).- De contracción lineal, valor cementante, valor relativo de soporte, equivalente de arena, y para el caso de base también se considera el límite líquido. Los valores son los indicados en los cuadros I, II y III.

Características	Zonas en que se clasifica el material de acuerdo con su granulometría.		
	1	2	3
Contracción líneal en Por ciento.	6.0 max.	4.5 max.	3.0 max.
Valor cementante en kg/cm ² para materiales angulosos	3.5 mín.	3.0 mín.	2.5 mín.
Valor cementante en kg/cm ² para materiales redondeados y lisos.	5.5 mín.	4.5 mín.	3.5 mín.
Valor relativo de soporte estándar saturado en porciento	50 mín.		
Equivalente de arena en por ciento.	20 mín. (tentativo)		

CUADRO NO. I - PARA SUB-BASES

Características.	Zonas en que se clasifica el material de acuerdo con su granulometría.		
	1	2	3
Límite líquido en porciento	30 máx.	30 máx.	30 máx.
Contracción líneal en porciento.	4.5 máx.	3.5 máx.	2.0 máx.
Valor cementante en kg/cm ² para materiales angulosos	3.5 mín.	3.0 mín.	2.5 mín.
Valor cementante en kg/cm ² para materiales redondeados y lisos.	5.5 mín.	4.5 mín.	3.5 mín.

CUADRO NO. II - PARA BASES

Intensidad de tránsito en un solo sentido, considerando todo tipo de vehículo.	Valor relativo de soporte estándar.	Equivalente de arena (tentativo)	Indice de durabilidad (tentativo).
Hasta 1000 vehículos pesados al día. (valores mínimos).	80	30	35
Más de 100 vehículos pesados al día. (valores mínimos).	100	50	40

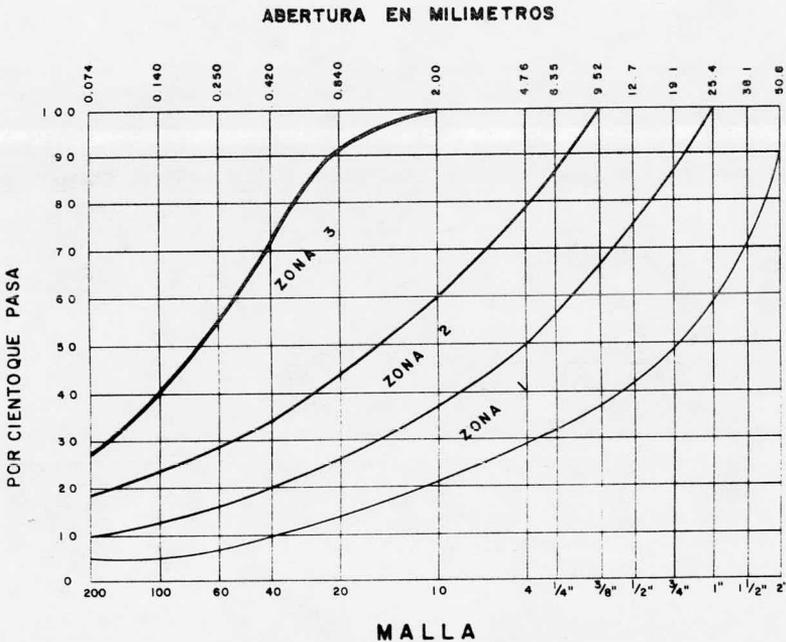
NOTA: Los vehículos pesados incluyen autobuses, y camiones en todos sus tipos.

CUADRO NO. III - PARA BASES

b).- En cuanto a afinidad con el asfalto, deberá cumplir cuando menos con dos de las siguientes pruebas:

Desprendimiento por fricción	25% máximo
De cubrimiento con asfalto (Método Inglés)	90% mínimo
Desprendimiento de la película	25% máximo

c).- De granulometría, la curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3, sin presentar cambios bruscos de pendiente. Tomando en cuenta que el tamaño máximo del material no deberá ser mayor de 2 pulgadas. (ver cuadro IV).



**CUADRO IV - GRANULOMETRIA
PARA SUB-BASES Y BASES**

Respecto a la especificación anterior se puede decir que la granulometría no es determinante para aceptar o rechazar el material para la construcción de bases y sub-bases, puesto que si cumple las especificaciones de valor relativo de soporte, contracción lineal y valor cementante, el material se puede utilizar para la construcción de dichas capas.

e).- De grado de compactación, el material deberá compactarse al 95% mínimo de su peso volumétrico seco máximo, salvo que el proyecto indique un grado de compactación diferente.

PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION DE SUB-BASES Y BASES.

Desde el punto de vista del procedimiento constructivo, es indistinto referirse a la sub-base o a la base, pues los procedimientos de construcción son los mismos.

En México, las sub-bases y bases se construyen en general, con un material seleccionado mezclando un cemento natural (limo, caliches, etc), y agua.

La construcción de la sub-base o de la base se iniciará cuando la capa subrasante o la sub-base, según sea el caso, estén ya terminadas.

- a).- Tratamiento previos (trituration y cribado).
- b).- Acarreo y acamellonamiento en el camino.
- c).- Estabilización (Mecánica o química).
- d).- Humedecimiento, tendido y compactación.

El espesor de la capa de base no deberá ser menor de 12 cm. en

camino con tránsito inferior de 1000 vehículos pesados; de 15 cm en caminos con tránsito superior de 1000 vehículos pesados, ni de 20 cm en caminos con tránsito superior a 5000 vehículos pesados.

En el caso de la capa de base, una vez que se ha compactado y que este seca y barrida, se le aplica un riego de material asfáltico, que generalmente es un asfalto de fraguado medio de grado uno (FM-1) en proporción de 0.7 lt/m² en promedio, a este riego se le llama riego de impregnación. Este riego se proporciona con objeto de favorecer la adherencia entre la carpeta asfáltica, a la vez que impermeabiliza y/o estabiliza a la base.

La superficie impregnada debe presentar un aspecto uniforme y el material asfáltico deberá estar firmemente adherido, la penetración del riego debe ser mayor de 4 mm.

CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES PETREOS Y ASFALTICOS PARA -- LAS CARPETAS.

Los materiales pétreos para las carpetas asfálticas deben tener las siguientes características principales.

- a).- Granulometría.- Deben cumplir con un control riguroso.
- b).- Tener la resistencia suficiente para soportar sin sufrir fracturas, por las cargas producidas por las aplanadoras metálicas durante la construcción.
- c).- Tener buena adherencia con el asfalto.
- d).- Tener baja absorción y alta densidad.
- e).- No presentar tendencia a fracturarse en forma de laja, -

principalmente si se van a emplear en tratamientos superficiales.

- f).- Tener las partículas de material una superficie exenta de arcilla o limo, que pueda impedir una buena adherencia entre el agregado pétreo y el asfáltico.

Materiales asfálticos.- Son materiales bituminosos con propiedades aglutinantes, sólidos o semisólidos, que se licúan gradualmente al calentarse, cuyos componentes básicos son hidrocarburos. Las funciones de los materiales asfálticos son:

- a).- Aglutinar el material pétreo en las carpetas de rodamiento.
 b).- Impermeabilizar y aglutinar superficialmente las bases de pavimento.
 c).- Cementar los materiales granulados finos en trabajos de estabilización de sub-bases y base de pavimento.

Los tipos de materiales asfálticos son:

- a).- Cemento asfáltico.- Son los productos de la destilación del petróleo al que se le han eliminado sus solventes volátiles y parte de sus aceites. Dichos cementos en estado natural son sólidos o semisólidos, de color café oscuro y altamente viscosos.
 b).- Asfaltos rebajados.- Son cementos asfálticos a los cuales se han adicionado solventes para obtener un producto asfáltico líquido de fácil manejo durante la construcción de pavimentos.
 c).- Emulsiones asfálticas.- Son dispersiones estables en agua, de un cemento asfáltico.

CARPETAS ASFALTICAS, DEFINICION.

Es la capa superior del pavimento de espesor determinado, construida sobre la capa de base y constituida por la combinación de un material pétreo y un material asfáltico; éste último sirve - como aglutinante, manteniendo unidas las partículas de material pétreo y facilitando la transmisión de cargas producidas por -- los vehículos, a las capas inferiores. Las carpetas asfálticas se clasifican en los tipos siguientes:

- 1). Carpetas construidas por el sistema de riegos.
- 2). Carpetas elaboradas por el sistema de mezcla en el lugar.
- 3). Carpetas elaboradas en caliente en planta estacionaria o de concreto asfáltico.

Las principales características de las carpetas asfálticas son:

- No deben desplazarse, ni desintegrarse por la acción del tránsito.
- Ser prácticamente impermeables.
- Presentar una superficie uniforme y de textura ligeramente áspera para hacerlas antiderrapantes.
- Tener una superficie que estando seca no refleje los rayos luminosos.

Las funciones principales que debe satisfacer la carpeta asfáltica son las siguientes:

- a).- Proporcionar una superficie de rodamiento adecuada que permita en todo tiempo un tránsito fácil y cómodo de los vehículos.

- b).- Impedir la infiltración del agua de lluvia hacia las capas inferiores del pavimento, que ocasionaría una disminución en su capacidad para soportar cargas.
- c).- Resistir la acción destructora de los vehículos y de los agentes del intemperismo.

El tipo de carpeta se elige de acuerdo al tránsito que circulará por la carretera (ver tabla 1.1.).

- 1).- Carpetas construidas por el sistema de riego.

Son las que se construyen mediante uno, dos o tres riegos de materiales, cubiertos sucesivamente con capas de materiales pétreos de diferentes tamaños triturados y/o cribados.

El procedimiento de construcción de carpetas asfálticas de dos riegos es como lo presenta la secuela siguiente:

- a).- Sobre la base superficial seca se dará un riego de material asfáltico de tipo y cantidad predeterminado, (antes se barre la base impregnada).
- b).- Se cubre el riego de material asfáltico con una capa de material pétreo en la cantidad fijada.
- c).- Se rastrea y plancha el material pétreo.
- d).- Se aplica sobre el material pétreo un segundo riego de material asfáltico del tipo y cantidad fijados con anterioridad.

e).- Se cubre el segundo riego de material asfáltico con una capa de material pétreo de granulometría menor en la cantidad fijada.

f).- Se rastrea y plancha el material pétreo.

El tendido de los materiales pétreos se hará con esparcidores. Inmediatamente después de tendido el material pétreo, para tener mejor distribución del mismo, se le pasará una rastra ligera con cepillos de fibra de raíz, dejando así la superficie exenta de ondulaciones, bordos y depresiones.

Los materiales tendidos y rastreados se plancharan inmediatamente con rodillo liso ligero, únicamente para acomodar las partículas de material.

2).- Carpetas elaboradas por el sistema de mezcla en el lugar.

Se llama de mezcla en el lugar por que se incorpora el asfalto, se mezcla, se tiende y compacta en el sitio donde se va a utilizar, los materiales pétreos se mezclan con un rebajado asfáltico o una emulsión asfáltica.

Procedimiento de construcción de la mezcla asfáltica elaborada en el lugar.

a).- Se obtiene el contenido óptimo de asfalto, para dicha obtención, generalmente se basa en la prueba de compresión sin confinar, que consiste en realizar diferentes especímenes con diferentes contenidos de asfalto y se llevan a la ruptura.

b).- Acarreo al tramo.

- c).- Acamellonamiento y medición del material.- Con el material sobre la capa de base, se procede a acamellonarlo y sacar secciones transversales del camellón para tener la seguridad de que el volumen acarreado es igual al del proyecto para dar el espesor requerido y para recibir la cantidad de cemento asfáltico fijado.
- d).- Agregado de asfalto y mezclado.- Una vez verificado el volumen de material pétreo, se extiende un tercio y se le aplica con petrolizadora parte del asfalto requerido, se revuelve, se repite el paso anterior, hasta tener el material pétreo y el asfalto adicionado en su totalidad, se procede de nuevo a revolver hasta que la mezcla alcanza una consistencia (uniformidad en color).
- e).- Riego de liga.- Este riego se aplica sobre la base impregnada y se da con un asfalto rebajado (FR3) a razón de -- 0.4 lt/m² en promedio con petrolizadora. Este riego debe realizarse cuando la base este seca y barrida.
- f).- Extendido y compactación.- Se comienza a extenderlo cuando se tiene el máximo de solventes permitido por especificaciones. Se extiende el ancho requerido y se procede a compactar con aplanadora de 3 ruedas y rodillos neumáticos. Tomando en cuenta que la compactación en tangente se hará de las orillas hacia el centro, en curva de la parte interior hacia la parte exterior.
- 3).- Carpetas elaboradas en caliente en planta estacionaria o de concreto asfáltico.

Las mezclas asfálticas en caliente son las que proporcionan las carpetas de mayor calidad, las cuales estan forma

das de un material pétreo bien graduado y cemento asfáltico como ligante. Se elabora en una planta que caliente el material pétreo a 160°C ó a 150°C y el asfalto a una temperatura de 140°C , se dosifica, se mezcla y tiende conservando aún una temperatura elevada.

Procedimiento de construcción de la mezcla en planta estacionaria:

- a).- Obtención del contenido óptimo de asfalto.
- b).- Tratamiento.- Trituración y cribado.
- c).- Proporcionamiento en frío.- En este punto, propiamente se comienza la elaboración de la mezcla elaborada en planta. En este paso se procede a la alimentación de las tolvas - con material pétreo por medio de cargadores o de bandas, en este paso se pretende dar la granulometría requerida, de ahí pasa a una banda o elevador según se requiera, colocando un colector de finos antes de pasar a calentar el material pétreo.
- d).- Calentamiento.- En este paso se calienta el material pétreo a 160°C , (el mecanismo donde se calienta el material pétreo se le llama secador), este debe tener una capacidad suficiente para secar una cantidad de material pétreo igual o mayor a la capacidad de producción de concreto asfáltico de la planta. A la salida del secador debe haber un pirográfo para registrar automáticamente la temperatura del material pétreo. Por medio de un elevador se lleva el material pétreo hasta las cribas en caliente para clasificarlo en tres tamaños.
- e).- Proporcionamiento en caliente.- Después de clasificar el

material pétreo caliente, se almacena el material en tolvas, protegidas de lluvia y el polvo, a continuación se pasa a la unidad pesadora en donde se clasifican los materiales pétreos por peso. También se debe dosificar el cemento asfáltico para la cantidad de pétreos con los que se va a mezclar, en este paso el material asfáltico ha sido calentado a 140°C.

f).- Mezclado.- La mezcladora o amasadora debe contar con un dispositivo para el control del tipo de mezclado, también debe contar con dispositivos para agregar finos cuando la mezcla lo requiera.

g).- Acarreos al tramo.

h).- Riego de liga.- Este riego se da antes del tendido de la mezcla, para evitar movimientos de la carpeta y fijarla a la base durante el proceso de compactación.

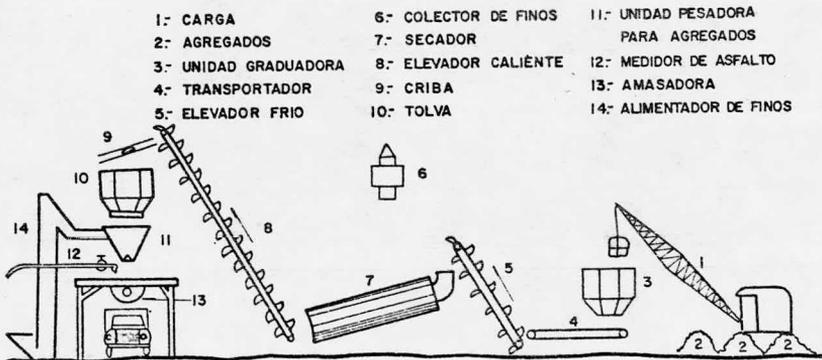
i).- Extendido.- Para el tendido de la mezcla se cuenta con las máquinas llamadas extendedoras - acabadoras, que son auto-impulsadas y cuentan con aditamentos necesarios para tender el material en capas uniformes, sin que se presente segregación por tamaños de la misma. El tendido de la mezcla se inicia inmediatamente a la temperatura que llega la mezcla al camino, aunque se tenga que esperar un poco para comenzar la compactación.

j).- Compactación.- Para la compactación de las mezclas asfálticas se requiere que la temperatura sea de 100°C. El equipo que generalmente se utiliza es el siguiente:

- Aplanadora metálica de 5 toneladas.
- Aplanadora metálica tandem o de tres ruedas de 10 a 12 toneladas y el rodillo neumático de 10 a 12 toneladas.

Con una mezcla bien proyectada y utilizando el equipo anteriormente descrito, a la temperatura; se obtiene una compactación satisfactoria.

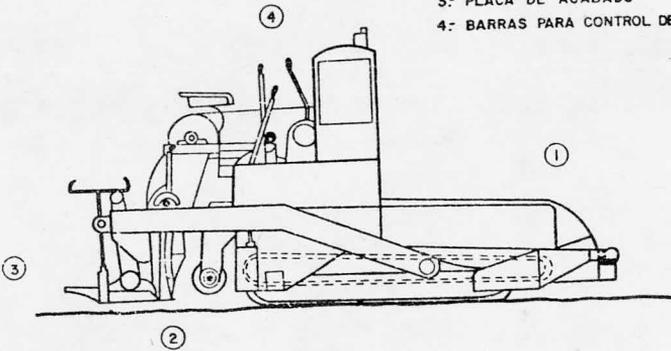
En la figura 1.8 se ilustra una planta de asfalto y sus partes esenciales, el procedimiento de trabajo se obtiene desde el punto c de los procedimientos de construcción anteriormente descritos hasta el punto f en los cuales se trata de detallar el procedimiento de construcción de la mezcla en planta. También se presenta una extendidora pavimentadora, ver figura 1.9 y un compactador con rodillo vibratorio, ver figura 1.10.



PLANTA DE ASFALTO

Figura 1.8.

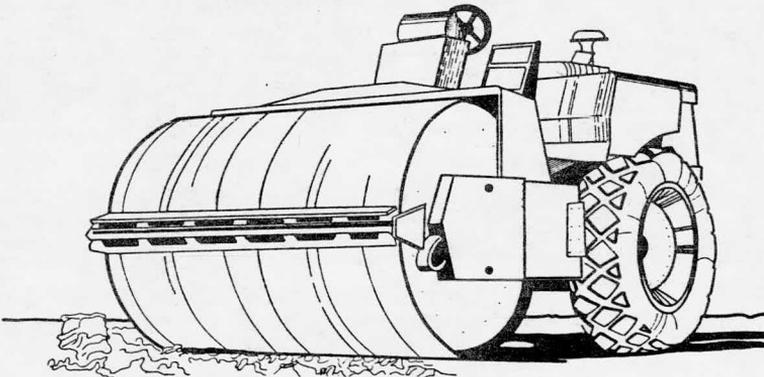
- 1- TOLVA
- 2- DISTRIBUIDOR DE MATERIAL
- 3- PLACA DE ACABADO
- 4- BARRAS PARA CONTROL DE ESPESOR



EXTENDEDORA PAVIMENTADORA

Figura 1.9

COMPACTADOR VIBRATORIO DE RODILLO LISO



MEDIANTE ESTA VIBRACION SE AGREGA A LA ACCION ESTATICA
OTRA ACCION DINAMICA QUE REACOMODA LAS PARTICULAS DEL
SUELO.

Figura 1.10

ESPECIFICACIONES PARA CARPETAS ASFALTICAS.

- a). De granulometría.
- b). De contracción lineal. 2% máximo
- c). De forma de partícula. 35% máximo
- d). Desgaste de los angeles. 30% máximo
- e). Afinidad con el asfalto. Desprendimiento por fricción 25% máximo.
- f). De cubrimiento con el asfalto. 90% máximo
- g). Equivalente de arena. 55% mínimo
(Carpetas de mezcla en el lugar y de concreto asfáltico).

Para mezclas en el lugar el cemento asfáltico debe cumplir resistencia y porcentaje de vacíos.

CARACTERISTICAS	Tránsito diario en ambos sentidos de vehículos pesados.		
	Menos de 500	De 500 a 1000	Mas de 1000 en general no deben usarse este tipo de mezclas.
Resistencia mínima en kg/cm ² .	2.5	4.0	

Para carpetas de concreto asfáltico.

CARACTERISTICAS	Tránsito diario en ambos sentidos de vehículos pesados.	
	Hasta 2000	Mas de 2000
Número de golpes por capa	50	75
Estabilidad mínima kg.	450	700
Flujo en milímetros	2-4.5	2-4

CAPITULO 2.- FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.

2.1. GENERALIDADES.

Según el criterio de la AASHTO (American Association of States Highways and Transit Officials), falla es la condición que se presenta en un pavimento cuando éste llega a perder las características de servicio para las que fué diseñado.

Entre las finalidades más importantes de la prueba AASHTO, realizada en la Ciudad de Ottawa, Illinois, E.U., en los años de 1960 a 1962, puede citarse el tratar de definir en qué consiste la falla de un pavimento y de relacionar las variables de diseño (tránsito, clima, materiales, etc.), con el comportamiento del propio pavimento.

Se estableció al principio que la función básica del pavimento la constituye el permitir un tránsito adecuado de vehículos sobre la carretera.

Al estudiar el comportamiento de un pavimento, es necesario -- hacer la distinción entre lo que es una falla funcional y una falla estructural, aunque el término de falla, se ha venido -- usando indistintamente para designar los deterioros que presente un pavimento.

2.2. FALLA FUNCIONAL Y ESTRUCTURAL.

La falla funcional es aquella que tienen los caminos cuando las deformaciones son sensibles al tránsito, de tal manera que provocan una disminución notable en la velocidad de recorridos y de la comodidad. El criterio para determinarla varía de acuerdo al tipo de camino de que se trate, ya que puede haber una superficie de rodamiento con deformaciones que son aceptables

para caminos secundarios pero que puede considerarse inconveniente para autopistas y por lo tanto en este caso ha llegado la falla funcional, mientras que en el primero son aceptables.

La falla estructural es aquella que implica una destrucción de la estructura del pavimento y en general es debida a que el tránsito que ha soportado es mayor al que se calculó para su vida útil; si este es el caso, se puede considerar que la estructura cumplió su cometido. En otras ocasiones la falla estructural se presenta prematuramente, es decir, mucho antes que termine la vida útil y entonces, en general se debe a espesores reducidos de pavimento; a que los materiales usados fueron de mala calidad, a menudo combinados con un mal drenaje; baja compactación y mal proyecto de construcción.

POSIBLES CAUSAS DE LAS FALLAS.

Las causas de las fallas son muy numerosas y diversas, de índole cuantitativo (tránsito), cualitativo (tipo de material que constituye el cuerpo del pavimento por ejemplo) o bien aleatorio (lluvias, humedad, etc.).

Estos factores son a la vez causa y efecto, es decir, cuando las fallas evidentes se vuelven la causa de nuevas fallas, éstas se desarrollan rápidamente.

Cada factor tiene un efecto preponderante pero temporal y aleatorio y conviene ser muy prudente en cuanto al valor de esta influencia. Al realizar un balance de estos factores en función de los diferentes tipos de falla, no se tiene más que una aproximación del problema. No obstante es posible clasificar las causas de las fallas de acuerdo a cuatro criterios a saber.

1.- El tránsito.

El tránsito es un parámetro cuya influencia segura todavía no ha podido definirse debidamente. Los ensayos de la AASHTO han mostrado que la evolución de las deformaciones, del agrietamiento, etc., estaban asociadas a la carga de los ejes, a la duración de su aplicación y al número de pasadas, pero que estos resultados sólo podían aplicarse a un pavimento determinado, apoyado sobre un suelo dado y en condiciones climáticas precisas. Por consiguiente, es necesario ser muy prudente al interpretar estos resultados y aplicarlos a un pavimento cualquiera.

2.- Condiciones climáticas.

En este rubro dentro de los parámetros que más influye en el cuerpo del pavimento destaca la presencia de agua en mayor cantidad que la normal.

3.- El diseño del pavimento.

Hace algunos años el diseño de las capas del pavimento intervenía de manera menos sensible en las causas de las fallas, el tránsito pesado era menos intenso y la carga media por eje, menos elevada.

4.- La calidad de los materiales y su colocación.

Estos dos criterios son esenciales. Al establecer un balance de las fallas, se observa que dos terceras partes de las mismas provienen de: materiales inadecuados como granulometría incorrecta, porcentaje elevado de elementos redondeados, insuficien

te dureza de los agregados, agregados sucios. Fabricación deficiente, porcentaje incorrecto de asfalto o de finos, insuficiente mezclado; colocación que no satisface las condiciones requeridas, insuficiente compactación, excesiva compactación, insuficiente temperatura de colocación.

Para determinar el estado de servicio de un pavimento se conocen dos formas de evaluación las cuales son: Índice de servicio actual y calificación actual.

Índice de servicio actual.- Se adoptó dicho concepto para presentar la capacidad de un pavimento para dar servicio al tránsito en un momento dado, de tal forma que el comportamiento de un pavimento pueda representarse por su historia de índice de servicio, contra aplicaciones de cargas equivalentes o contra sus años de servicio. Se obtiene este índice de servicio por medio de aparatos como el perfilómetro, el rugómetro etc., que registran y acumulan los defectos de la superficie de rodamiento.

La escala establecida por la AASHTO, para el índice de servicio y la calificación actual es la siguiente:

INDICE DE SERVICIO	ESTADO DEL PAVIMENTO
4 - 5	Excelente
3 - 4	Bueno
2 - 3	Regular
1 - 2	Malo
0 - 1	Muy malo

Dentro de la escala anterior, existe un índice de servicio mínimo de la superficie de rodamiento que puede aceptar el -----

usuario para un tipo de camino dado, de acuerdo con la velocidad que puede desarrollar y las condiciones geométricas del camino; esta aplicación se denomina "nivel de rechazo". Para un camino secundario en condiciones favorables se puede tolerar un nivel de rechazo de 2.0 y para un camino en condiciones normales de 2.5.

Calificación actual.- Este método se basa exclusivamente en la apreciación del camino que se lleva a cabo por un grupo de personas respecto a la facilidad que ofrece la carretera para ser recorrida en forma cómoda, siendo este método numéricamente -- igual al índice de servicio actual.

Es de recalcar que la calificación debe ser individual y que es necesario evitar que los calificadores no se influyan 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 que dicha calificación individual sea errónea.

Como se puede ver, la diferencia entre ambos conceptos, estriba en que el primero es un dato que se obtiene a través de mediciones sobre la superficie del camino con la ayuda de aparatos modernos que nos registran los defectos del pavimento, en tanto que la segunda no requiere de esas mediciones sino solamente de la información que proporciona un grupo de observadores sobre el tramo de camino por calificar.

Los aspectos más importantes del pavimento que intervienen en el valor de 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.

Tomando en cuenta que el índice de servicio o la calificación actual del pavimento se refiere únicamente a las condiciones de la superficie de rodamiento para proporcionar un tránsito cómodo a los usuarios. En su determinación o apreciación no intervienen factores como diseño geométrico de la carretera, estado de los acotamientos, señalamiento del camino, etc.

Volviendo un poco a los conceptos descritos anteriormente de - falla funcional, falla estructural y comportamiento de un pavimento, en la siguiente figura se muestra gráficamente la diferencia entre los dos tipos de falla, observando las variaciones que experimenta el pavimento y como se puede rehabilitar un pavimento antes de llegar a tener una falla estructural.

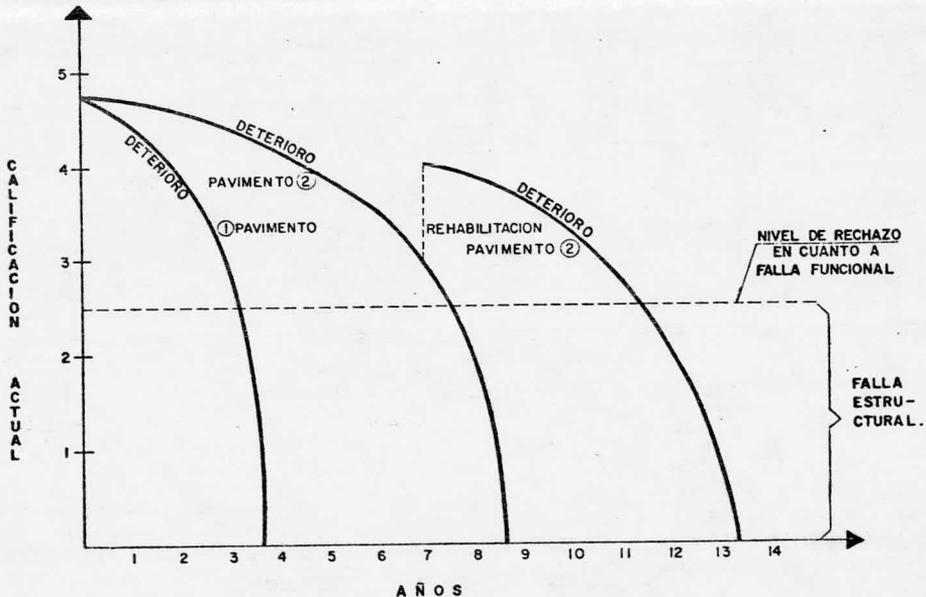


Fig. 2.1.

Los deterioros de un pavimento flexible se manifiestan de muy - diversas maneras, pero se pueden clasificar en cuatro grandes - grupos: Distorsiones (cambios en la superficie o nivel del pavi mento), agrietamientos, desintegraciones y defectos varios.

Los deterioros y en su caso las fallas de un pavimento las originan desde luego las acciones que ejercen directa o indirectamente sobre ellos, los factores siguientes:

- a). Repetición de cargas.
- b). Los agentes del clima.
- c). El peso propio de las capas que constituyen la estructura conjunta de la obra.

Los deterioros o las fallas se producen o se inician en los pun tos débiles o deficientes de algunas de las partes fundamenta-- les de la estructura general de la carretera, la cual no puede 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 ina decuados, mala calidad de los materiales utilizados, procedimien tos de construcción defectuosos, falta de conservación eficaz y oportuna, etc., de tal manera que las fallas en los pavimentos pueden tener su origen en las terracerías, en las obras de dre naje o en los elementos constitutivos del propio pavimento. -- (Ver figuras 2.2 y 2.3).

La identificación de una falla, que consiste en definir su tipo y la causa que la ha producido, a veces es una cosa relativamen te sencilla para personas experimentadas en el ramo de la construcción de carreteras. En otros casos se puede requerir llevar a cabo un reconocimiento completo de la zona fallada, que -----

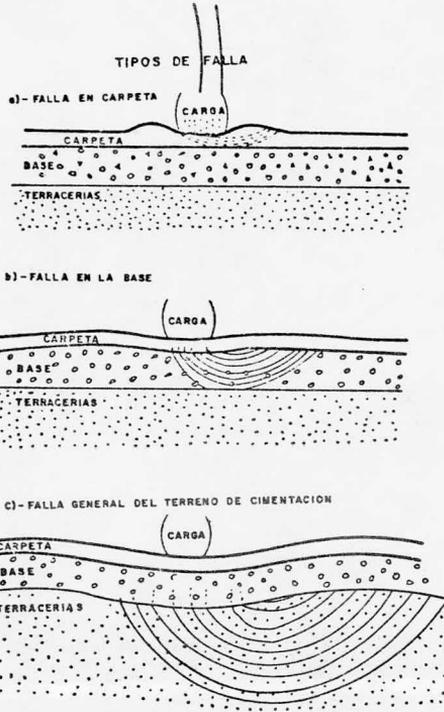


Figura 2.2

ESQUEMA DEL FENOMENO DE FLUJO PLASTICO EN EL SUELO QUE SOPORTA AL PAVIMENTO

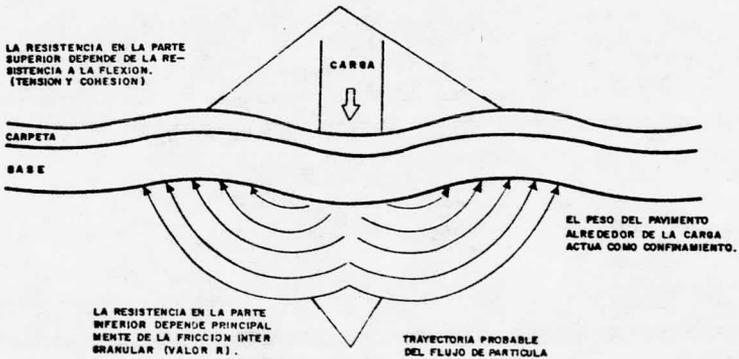


Figura 2.3

abarque las distintas partes fundamentales que forman la estructura de la obra y hacer una serie de estudios, 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 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 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.

Cuando las fallas son aisladas y se conoce su origen, puede ser suficiente llevar a cabo reparaciones locales o superficiales - que detendrán en forma definitiva el deterioro.

2.3. CLASIFICACION DE FALLAS.

Los principales tipos de deterioros y en su caso las fallas de un pavimento en cuanto a su manifestación en la superficie de rodamiento, se dividen generalmente en cuatro grupos, los cuales son:

Clasificación de fallas	}	I	Distorsiones.
		II	Agrietamientos.
		III	Desintegraciones.
		IV	Defectos varios.

A continuación se presenta la forma en que se manifiestan los - grupos:

I.- Distorsiones.- Se manifiestan de la siguiente forma:

- Baches.
- Asentamiento.
- Ondulaciones.
- Corrugaciones de la carpeta.
- Desplazamiento o corrimiento de la carpeta.
- Levantamiento del pavimento.
- Rodadas marcadas en la carpeta.
- Surcos.
- Depresiones en zanjas no bien rellenas.

II.- Agrietamientos.

- 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.
- Grietas por corrimiento de la carpeta.
- Grietas parabólicas en la carpeta (zonas de desaceleración).

III.-Desintegraciones.

- Desprendimiento del material pétreo de la carpeta o del riego de sello.
- Desprendimiento de la película de asfalto del material pétreo.
- Rompimiento de las películas del material pétreo, que -- propician su desprendimiento.

IV.- Defectos Varios.

- Superficies lisas o derrapantes (afloramiento de asfalto

- o materiales que se pulen fácilmente).
- Zonas con asfalto descubierto o carpetas de riegos de - sello (desprendimiento del material pétreo o ausencia - original de éste).
 - Superficies "rayadas" en carpetas de riegos o en riegos de sello (falta de uniones correctas entre las fajas de riego o deficiencias en la aplicación del asfalto).

2.4. CAUSAS QUE ORIGINAN LAS FALLAS EN PAVIMENTOS Y QUE NO PROVIENEN DIRACTAMENTE DE ESTOS.

Las causas son las siguientes:

Parte fundamental de la obra en que se originan las fallas.	{	I	Terreno de cimentación
		II	Terracerías { - Cortes - Terraplenes
		III	Obras de drenaje.

I.- Terreno de cimentación.- Debido a la mala calidad del material (suelos orgánicos, suelos expansivos, suelos resilientes, etc.) asociada a variaciones en el contenido de agua, que producen cambios volumétricos perjudiciales; baja capacidad de carga o falta de compactación del suelo.

II.- Terracerías:

Cortes.- Debido a la inestabilidad de los materiales de los taludes, que producen deslizamientos o derrumbes sobre el pavimento; espesor insuficiente de la capa subrasante; mala calidad del material de ésta última y/o baja compactación.

Terraplenes.- Mala calidad de los materiales del cuerpo --

del terraplén y/o de la capa subrasante.

Acomodo inadecuado de los materiales o falta de compactación; materiales erosionables en los taludes, sin adecuada protección; exceso en el contenido de agua de los materiales y/o cambios volumétricos perjudiciales con las variaciones de la humedad; falta de escalones de liga cuando éstos son necesarios.

III. Obras de drenaje.- Insuficiencia de alcantarillas y/o de puentes en cuanto a su capacidad o número; ubicación incorrecta o inadecuada de las obras; uso de materiales de mala calidad o inadecuados en la construcción de éstas ---- obras; defectos de construcción; 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.

2.5. CAUSAS QUE ORIGINAN FALLAS U OTROS DETERIOROS EN LOS PAVIMENTOS Y QUE PROVIENEN DIRECTAMENTE DE ESTOS.

Capa o superficie en que se originan las fallas.

- Sub-base.
- Base.
- Riego de impregnación.
- Riego de liga en carpetas de mezclas asfálticas ode riegos.
- Carpeta de riegos.
- Carpeta de mezcla asfáltica en el - lugar.
- Carpeta de mezcla en caliente. (Concreto asfáltico).

- Sub-base:

Motivo de la falla.- Mala calidad del material utilizado; baja compactación, falta de espesor; contaminación con el material de las terracerías; defectos de construcción y/o acabados.

- Base:

Motivo de la falla.- 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 acabados; defectos de la base impregnada por exposición excesiva al tránsito antes de protegerla con la carpeta.

- Riego de impregnación.

Motivo de la falla.- 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 impida su penetración en la base; defectos en la aplicación del asfalto (atribuibles a la petrolizadora o al operador).

- Riego de liga en carpetas de mezclas asfálticas o de riegos:

Motivo de la falla.- Los mismos que los de riego de impregnación anexando el siguiente: asfalto muy frío o que ha perdido su poder de aglutinamiento al momento de tender la carpeta (de mezclas en el lugar) o de cubrirse con los materiales pétreos (carpeta de riego).

- Carpeta de riegos:

Motivo de la falla.- Mala calidad de los materiales pétreos -

empleados o granulometrías defectuosas de éstos; falta de afinidad de los materiales pétreos con el asfalto; cantidades -- escasas de los materiales pétreos; materiales pétreos demasiado húmedos al momento de su aplicación; tránsito sobre el riego del asfalto antes de cubrir con el pétreo; transito dema-- siado pronto sobre el material pétreo aplicado principalmente cuando los vehículos no circulan a velocidades bajas; defec-- tos de construcción en la carpeta (falta de rastreos, plancha dos o barrido, traslapes incorrectos de los riegos, etc.).

- Carpeta de mezcla en el lugar.

Motivo de la falla.- Mala calidad de los materiales pétreos utilizados o defectos en su granulometría; falta de afinidad del material pétreo con el asfalto; exceso de asfalto en la mezcla; cantidad escasa de asfalto en la mezcla; materiales pétreos demasiado húmedos al momento de agregar asfalto; ti- po de asfalto inadecuado en la mezcla o mala calidad del pro ducto utilizado; baja temperatura del asfalto aplicado al pé treo; escaso espesor de capa; baja compactación de la mezcla; defectos de construcción en el tendido y/o acabados; baja re sistencia de la mezcla; mezcla asfáltica muy permeable.

- Carpeta de mezcla en caliente (concreto asfáltico).

Motivo de la falla.- Mala calidad de los materiales pétreos utilizados o defectos en su granulometría; falta de afinidad del material pétreo con el asfalto; exceso de asfalto en la mezcla; cantidad escasa de asfalto en la mezcla; tipo de as- falto inadecuado en la mezcla o mala calidad del producto -- utilizado; temperatura excesiva del calentamiento del cemen- to asfáltico y/o el material pétreo al elaborar la mezcla; - defectos de tendido y/o de acabados de la mezcla; mezcla re- lativamente fría al tender y/o al compactar; baja compacta--

ción de la mezcla; espesor escaso de la capa, baja estabilidad de la mezcla, mezcla muy permeable; rigidez relativamente alta de la carpeta.

2.6. EJEMPLOS SOBRE TIPOS DE FALLAS COMUNES EN PAVIMENTOS.

Posibles causas y criterios probables de reparación.

I.- Distorsiones.

Descripción: Baches.- Deformaciones locales en que se ha destruido parcial o totalmente el pavimento. Se asocian con agrietamientos y altos contenidos de agua en los materiales.

Posibles causas.- 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 deformaciones.

Contaminación de la sub-base y/o base con el material de las terracerías. Pavimento sub-diseñado para las cargas que por él transitan.

Criterios probables de reparación.- Cajear rectangularmente el área fallada, eliminando los materiales de mala calidad o que presenten humedades excesivas. Rellenar con materiales de características adecuadas, reponiendo la estructura del pavimento mediante capas debidamente compactadas.

Si los baches se manifiestan en zonas de cortes, es conveniente revisar y corregir previamente las deficiencias de drenaje.

Descripción: Asentamientos.- Descensos en el nivel original de la superficie.

Posibles causas.- 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; - movimientos o deslizamientos locales de los terraplenes, que - dan lugar a desniveles relativamente fuertes de la superficie del pavimento.

Criterios probables de reparación.- Renivelar con mezcla asfáltica, limpiando previamente la superficie y dando un riego de liga. Reparar debidamente la zona del asentamiento reconstruyendo por capas la sección original. Es necesario revisar y corregir deficiencias en el anclaje de los terraplenes (falta de escalones de liga) y/o en el drenaje del área afectada.

Descripción: Ondulaciones.- Levantamiento de la superficie en forma de ondas más o menos pronunciadas, transversalmente al sentido de la circulación.

Posibles causas.- Movimientos plásticos de la carpeta en lugares donde se presenten fuertes esfuerzos de arranque y frenaje, como en el caso de las zonas cercanas al cruce de carreteras - con vías de ferrocarril. Carpeta con baja estabilidad por exceso de asfalto o de solventes en la mezcla, exceso de finos en el material pétreo.

Criterios probables de reparación.- Para el primer caso se recomienda escarificar y eliminar la carpeta, recompactar la base; construir una nueva carpeta de espesor y resistencia adecuados. Para el segundo caso se recomienda levantar la carpeta y corregir la mezcla si esto es posible, para aprovecharla nuevamente, la corrección puede consistir en crearla para hacer que pierda solventes, para agregarle material pétreo adicional de mejores

características.

Descripción: **Desplazamientos o corrimientos de la carpeta.**- --
Principamente en las orillas.

Posibles causas.- Baja estabilidad de la mezcla, tránsito pesado antes de compactar debidamente la mezcla.

Criterios probables de reparación.- Eliminar la carpeta desplazada, cajeando rectangularmente la zona afectada. Reponer la carpeta en forma adecuada y sellar la nueva capa.

Descripción: **Surcos o rodadas marcadas.**

Posibles causas.- 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.

Criterios probables de reparación.- Renivelar con mezcla asfáltica de características adecuadas; previamente, delimitar el área, limpiarla de materias extrañas y dar un riego de liga.

Descripción: **Depresiones en zanjas no bien rellenadas.**

Posibles causas.- Falta de acomodo adecuado o de compactación en los materiales de relleno o insuficiencia en el volumen del material.

Criterios probables de reparación.- Renivelar adecuadamente con mezcla asfáltica previa limpieza de la superficie y aplicación de asfalto de liga.

II.- Agrietamientos.

Descripción: Grietas longitudinales en las orillas.

Posibles causas.- Cambios volumétricos de los materiales de terracerías con altos contenidos de arcilla por efectos de humedecimiento y secado. Ampliaciones del camino no bien ligadas a la sección antigua.

Criterios probables de reparación.- Si las grietas son muy finas (de aberturas pequeñas), es bastante difícil rellenarlas y a veces sólo hay que tenerlas en observación para ver la forma como progresan. Cuando es factible se sellan con emulsión asfáltica o con asfaltos rebajados.

Si las grietas tienen una abertura del orden de 3 mm o más, se puede calafatear con un mortero asfáltico, con una mezcla asfáltica con rebajado y arena o bien con un cemento asfáltico.

Descripción: Grietas longitudinales en el centro.

Posibles causas.- Defectos de tendido de la mezcla asfáltica -- principalmente. Por reflexión de grietas en la capa subyacente, tratándose de una sobrecarpeta.

Criterios probables de reparación.- Calafatear debidamente las grietas, de acuerdo con lo descrito en el caso anterior.

Descripción: Grietas transversales.

Posibles causas.- Reflexión de defectos existentes en la capa subyacente, que en ocasiones es una carpeta de concreto asfáltico

co, contracciones de la sub-base o base estabilizadas con cemento Portland.

Criterios probables de reparación.- Proceder en forma similar a lo descrito en el caso del renglón de grietas longitudinales. Puede ser conveniente un riego de sello abarcando toda el área agrietada, si la carpeta está muy agrietada se recomienda levantarla, dar una compactación a la base o sub-base para darle mayor sustentación a la carpeta y colocar nuevamente la carpeta. Esta última solución es factible para los dos casos anteriores de las grietas.

Descripción: Grietas en forma de mapa o de piel de cocodrilo.

Posibles causas.- 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.

Criterios probables de reparación.- Por lo general, es necesario cajejar, 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 de arreglo de baches.

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.

Descripción: Grietas por corrimiento de la carpeta en las orillas.

Posibles causas.- Baja inestabilidad 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.

Criterios probables de reparación.- 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. Si la carpeta además de agrietada, está desplazada, corrida y/o deformada, tendrá que levantarse y reponerse adecuadamente.

Descripción: Grietas parabólicas.

Posibles causas.- Corrimiento de la carpeta en zonas de desaceleración, corrimiento de la carpeta por escaso o nulo asfalto de liga.

Criterios probables de reparación.- Proceder en forma similar al caso anterior.

III.- Desintegraciones.

Descripción: Desprendimiento del material pétreo o de la carpeta o del riego de sello.

Posibles causas.- 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.

Criterios probables de reparación.- Aplicar un riego ligero bien

distribuido y correctamente dosificado de asfalto rebajado o de emulsión asfáltica, para evitar que el material se continúe desprendiendo. Si el desprendimiento del material es muy pronunciado, puede corregirse la aplicación de un nuevo riego de sello o de una sobrecarpeta y riego de sello, de características adecuadas.

Descripción: Desprendimiento de la película de asfalto del material pétreo (mezcla asfáltica).

Posibles causas.- Escasa o nula afinidad del material pétreo con el asfalto utilizado en la mezcla.

Criterios probables de reparación.- Dar un riego en proporción adecuada con un producto asfáltico que tenga buena afinidad -- con el material pétreo. Puede ser necesaria la aplicación de un riego de sello.

Descripción: Rompimiento de las partículas del material pétreo que propician su desprendimiento.

Posibles causas.- Material suave que no resiste la acción del tránsito.

Criterios probables de reparación.- Proceder como en el caso -- citado anteriormente de "desprendimiento del material pétreo de la carpeta o del riego de sello"

Descripción: Desprendimiento de la carpeta como capa.

Posibles causas.- Esfuerzos elevados en la superficie de contacto entre la carpeta y la base: riego de liga insuficiente o ---

anclaje deficiente de la carpeta con la base.

Criterios probables de reparación.- Cajear rectangularmente los límites de la zona en que se ha desprendido la carpeta y reponer ésta con una mezcla asfáltica adecuada, previa aplicación de riego de liga.

Puede ser necesario renivelar, reponiendo la carpeta en las zonas en que se han levantado y construir una sobrecarpeta.

IV.- Defectos Varios.

Descripción: Superficie lisa o derrapante.

Posibles causas.- Materiales que se pulen facilmente; afloramiento de asfalto.

Criterios probables de reparación.- Para el primer caso se requiere dar un riego de sello con materiales adecuados, para el segundo caso, 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.

Si la carpeta es inestable, puede ser necesario levantarla para mejorarla y después sellarla, de lo contrario, desecharla y reponerla nueva aplicándole un riego de sello.

Descripción: Zonas con asfalto descubierto en carpetas de riego de sello.

Posibles causas.- Desprendimiento del material pétreo; defectos

de construcción (cantidad insuficiente de asfalto regado; aplicación incorrecta o extemporánea de los pétreos; fallas de la petralizadora, etc.).

Criterios probables de reparación.- Dar nuevo tratamiento consistente en una nueva aplicación de asfalto y pétreos, con el propósito de restaurar las condiciones originales.

CAPITULO 3.- EVALUACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

3.1. GENERALIDADES.

Con anterioridad a la ejecución del tramo de prueba de la ---- AASHTO, se prestaba poca atención a la evaluación de un pavimento; simplemente el pavimento era bueno o requería una reparación.

El conocimiento de las condiciones en que se encuentra un pavimento, es un aspecto que en la actualidad interesa sobremedida a los ingenieros y personal encargado de su diseño y conservación, incluyendo en forma especial a los usuarios. Conciente o inconcientemente, el usuario califica las condiciones en que se encuentra un pavimento cada vez que conduce un vehículo.

Son varias las razones que motivan el estudiar y conocer las condiciones en que se encuentra un pavimento, pudiéndose señalar entre otras las siguientes:

- a). Al ingeniero que ha realizado el proyecto de un pavimento, le ayuda a determinar el grado de éxito alcanzado por su proyecto, al cumplir con los criterios de diseño y, en su caso, le ayuda a comprender las causas de su fracaso.
- b). Sirve para efectuar la planeación de un programa óptimo de mantenimiento y establecer la necesidad de realizar trabajos de conservación más importantes, rehabilitación y reconstrucción.
- c). Permite realizar un pronóstico de la vida útil del pavimento.
- d). Ayuda a determinar la capacidad de un pavimento en condi-

ciones aceptables para soportar un volumen de tránsito.

- e). Sirve para determinar el refuerzo que un pavimento deteriorado requiere para funcionar adecuadamente.
- f). Constituye una base para el establecimiento de nuevos conceptos importantes en el diseño de pavimentos.

Los estudios efectuados para la evaluación de un pavimento pueden clasificarse en dos grupos.

- a). Estudio del comportamiento funcional, desde el punto de vista de su operación y servicio, (evaluación cualitativa).
- b). Evaluación desde el punto de vista de su capacidad estructural, (evaluación cuantitativa).

Los primeros proporcionan un juicio para valorar el grado en que un pavimento es adecuado para su transitabilidad. Los segundos permiten efectuar la evaluación estructural del pavimento, proporcionando la información suficiente para diseñar el refuerzo que en su caso llegara a requerirse.

3.2. ESTUDIOS DEL COMPORTAMIENTO - SERVICIO.

Comprenden estudios de evaluación de las condiciones superficiales que guarda un pavimento, estableciendo una apreciación de su capacidad para prestar servicios desde el punto de vista de su transitabilidad. La evaluación de esta cualidad es un problema complejo en el que intervienen tres sistemas interrelacionados entre si: el usuario, el vehículo y la rugosidad del pavimento; entiéndase por esto último, como las irregularidades en

la superficie del pavimento que influyen en la calidad del rodamiento.

Los estudios a realizar son los siguientes:

- a). La apreciación subjetiva de la transitabilidad del pavimento, efectuada mientras se conduce un vehículo a una velocidad normal.
- b). La medición de la rugosidad del pavimento mediante aparatos.
- c). Valoración de los deterioros superficiales, mostrando la ubicación y extensión de los aspectos observados.

Como postulados básicos de la investigación realizada por la AASHTO, se estableció que: la finalidad del pavimento es servir al público permitiendo el tránsito adecuado de vehículos por la carretera y que la capacidad de servicio del pavimento disminuye con el tiempo.

Una vez establecidos los conceptos anteriores, fué necesario contar con métodos para valorizarlos. En relación con el primer postulado o se la medición de la capacidad de servicio de un pavimento, dos técnicas fueron desarrolladas; la apreciación subjetiva de una persona o de un grupo de personas, a cuyo resultado se le denomina "Calificación Actual" y la apreciación objetiva mediante aparatos específicamente diseñados para ello a cuyo resultado se le denomina "Índice de Servicio Actual". En relación con el segundo postulado es decir la disminución de la capacidad de servicio del pavimento puede ser apreciada, mediante la variación de la calificación o el índice de servi-

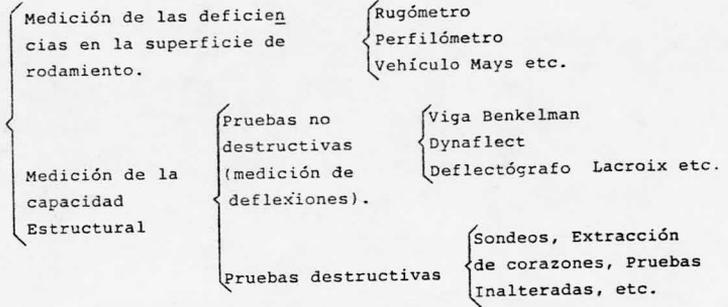
cio respecto al tiempo, a cuya representación se le ha denominado comportamiento.

1.- Calificación Actual.

Por medio de un grupo de personas (evaluación cualitativa).

2.- Indice de Servicio Actual.

Por medio de aparatos.
(evaluación cuantitativa).



3.3. CALIFICACION ACTUAL.

La calificación actual, como se mencionó anteriormente solo toma en cuenta la superficie de rodamiento en el momento de la inspección, sin que influya en la misma el conocimiento que tenga el observador de posibles condiciones futuras del pavimento, tampoco deben influir en la calificación actual, aspectos del camino tales como, diseño geométrico, estado de los acotamientos o taludes, etc.

La calificación se deberá realizar, pensando en el grado de comodidad que el usuario obtendría al efectuar, por un camino con acabado semejante al que se juzga, un recorrido de 500 km. bajo esas condiciones el calificador podrá juzgar si el pavimento --

resulta excelente o funcionalmente intransitable.

La calificación actual verdadera, puede ser definida como el promedio de las calificaciones que darían todos los usuarios del camino. En la práctica se puede considerar que la calificación verdadera es el valor medio de las apreciaciones de un grupo grande de observadores; a medida que el grupo se reduce, aumenta la diferencia entre la calificación verdadera y la del grupo.

Para uniformar la opinión de los distintos observadores, se usa una escala numérica a la cual referir la calificación actual. La experiencia ha demostrado que la mejor es la que va de cero (intransitable) a cinco (excelente), con los siguientes puntos de referencia.

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

Aún cuando la calificación individual varía ampliamente, el promedio de calificaciones es consistente y permite una estimación adecuada de la capacidad de servicio de la superficie de rodamiento en el momento de la inspección.

Las experiencias realizadas han permitido determinar el error máximo que se obtendrá según el número de calificadores. Para usos prácticos, un grupo de cinco personas que es relativamente reducido y fácil de formar, dará errores máximos del orden

del medio punto (0.5) en la escala antes descrita, lo que es perfectamente admisible en la mayoría de los casos.

Como es lógico, el camino a evaluar se deberá dividir en secciones, las cuales en general tienen una longitud de diez kilómetros.

La opinión de los distintos observadores deberá referirse siempre al mismo tramo de camino. Sin embargo, como diez kilómetros pueden ser una longitud demasiado grande para sujetar a ella las reconstrucciones por efectuar, previamente a la calificación del grupo, una persona de amplio conocimiento de la zona que de preferencia será el residente de caminos, deberá hacer un recorrido del camino y cuando lo considere estrictamente necesario, por no ser homogénea su superficie de rodamiento, podrá dividir las acciones en subsecciones cuya longitud mínima podrá ser de un kilómetro entre dos cadenamientos múltiplos enteros de un kilómetro y en las que si sea uniforme el estado de la superficie de rodamiento.

El resto de los calificadores del grupo deberá sujetarse integralmente a ésta división y en caso que no estén de acuerdo con ella, poner una nota al respecto en el reverso de la hoja de calificaciones, pero nunca proceder a una nueva división de tramos, que solamente ocasionaría confusiones.

A efecto de facilitar la calificación y uniformar la presentación, se ha diseñado la forma que se anexa, ver figura 3.1., en la cual además de la calificación, el observador deberá proporcionar algunos datos complementarios de acuerdo a lo indicado a continuación.

Antecedentes.- La calificación inicial, es la que tuvo la su-

perficie de rodamiento al término de su construcción o última reconstrucción.

Este dato así como el resto de los antecedentes, los dará exclusivamente el residente de caminos o la persona que haya realizado el recorrido previo. Si ésta persona no estuvo en esa época, podrá proporcionar el dato consultando a gente de la región que haya intervenido en los trabajos, así como por comparación con pavimentos de acabado semejante.

En la superficie de rodamiento se indicará marcando con una o varias "X" las características de la capa que corresponde a la sección o subsección y en años de servicio, los transcurridos desde la construcción o última reconstrucción.

Estos datos no se darán a conocer al resto de los integrantes del grupo calificador, para evitar una posible influencia en su opinión.

Se usará una columna de la hoja para cada sección o subsección, poniendo en la parte superior los kilometrajes de sus extremos y numerándolas en orden progresivo, según el sentido del cadenasamiento.

La calificación no solo deberá marcarse en la escala gráfica, sino dar el valor numérico correspondiente en el espacio inferior.

Nivel de rechazo.- El observador deberá indicar en el espacio correspondiente, su opinión respecto a si el estado del pavimento es aceptable, dudoso o rechazable en el momento de la inspección. Esta opinión deberá ser independiente del valor --

asignado a la calificación y es muy importante para fijar niveles de aceptación y de rechazo medios y consecuentemente establecer criterios para reconstrucción.

Descripción de daños.- No debe pretenderse correlacionar la -- apreciación de daños con la calificación individual, ya que es estos datos son complementarios de la información dada por la ca lificación y para que cumplan su cometido, deben indicarse independientemente tanto de la opinión numérica como de la acep tación o rechazo de la superficie de rodamiento.

El observador deberá marcar con una "X" para indicar si el defecto es despreciable, ligero o fuerte.

Tomando en cuenta consideraciones adicionales para la califica ción, las experiencias efectuadas en la calificación actual, - han resaltado una serie de consideraciones que a continuación se detallan y que será necesario tomar en cuenta para que la - calificación sea realmente un reflejo del estado de la superfi cie de rodamiento.

La calificación no debe tomar en cuenta aspectos del camino - ajenos a la superficie de rodamiento, tales como diseño geométrico, estado de los acotamientos y taludes, etc.

La calificación deberá ser individual, evitando que los califi cadores se influyan entre sí o sean influenciados por criterios ajenos al grupo de observadores. Al respecto es importante recordar que la calificación a usar, será la promedio del grupo, siendo de esperarse que haya variaciones fuertes en la calificación individual. Esto no significa que la calificación individual sea errónea.

Para lograr lo anterior, será conveniente, siempre que sea -- prácticamente posible lograrlo, que los calificadores recorran el tramo por separado.

No hay inconveniente en que el observador maneje el vehículo - que efectúa la inspección, pero deberá acostumbrarse a detener el vehículo y anotar su opinión al final de cada sección o sub sección y no pretender memorizar y posteriormente hacer el lle nado de datos de varias secciones.

El calificador deberá efectuar el recorrido en un vehículo de características semejantes al que está acostumbrado a usar. Una variación notable en el tipo de vehículo altera el valor - de la calificación.

Se recomienda calificar a velocidades de recorrido lo más cercanas posibles a la velocidad de operación del tramo, pero sin exceso de los 80 kph en terreno plano, o de los 60 kph montaña so.

~~Se~~ ^{Se} deberá calificar de preferencia durante la mañana o en las primeras horas de la tarde, con el objeto de tener la luz sufi ciente para apreciar debidamente los daños de la superficie de rodamiento. Los recorridos para la calificación deberán suspen derse a más tardar a las 5:00 p.m.

No deberá calificarse cuando esté lloviendo o después de haber llovido y con el pavimento aún mojado. Se ha podido comprobar que la descripción de daños y aún la calificación varía notablemente en un pavimento, cuando está seco y cuando está mojado, habiendo tendencia marcada a reducir la calificación y --- aumentar los daños en estas últimas condiciones.

CARRETERA N° _____		NOMBRE _____		OBSERVADOR																
ORIGEN _____		FECHA _____																		
ANTECEDENTES	CALIFICACION INICIAL																			
	SUPERFICIE DE RODAMIENTO																			
	AÑOS DE SERVICIO																			
KILOMETRAJE																				
SECCION N°																				
CALIFICACION ACTUAL DEL PAVIMENTO	EXCELENTE																			
	MUY BUENO	5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	BUENO	4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	REGULAR	3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	MALO	2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	MUY MALO	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
INTRANSITABLE		0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
CALIFICACION ACTUAL																				
PAVIMENTO ACEPTABLE		SI																		
		NO																		
		DUDOSO																		
DESCRIPCION DAÑOS	N = NINGUNO L = LIGERO F = FUERTE		N	L	F	N	L	F	N	L	F	N	L	F	N	L	F	N	L	F
	DEFORMACION	LONGITUDINAL																		
		TRANSVERSAL																		
	GRIETAS																			
	BACHES	ABIERTOS																		
		TAPADOS																		
	ZONAS LLORADAS																			
DESPRENDIMIENTO SELLO																				
NOTA N°																				

Figura 3.1.

Se deberá limitar los recorridos por calificar a unos 150 kilómetros diarios. No es conveniente tratar de aumentar este recorrido ya que se ha comprobado que el cansancio influye y la calificación se hace con menos cuidado en los tramos posteriores a los 150 kilómetros iniciales, lo cual conduce siempre a resultados erróneos.

Todos los observadores del grupo deberán calificar un mismo -- tramo en la misma quincena. Mayor diferencia entre los recorridos podría dar lugar a variaciones fuertes en el estado de la superficie de rodamiento en un mismo tramo.

Por último y como ya se ha dicho, la experiencia en ingeniería de carreteras no es indispensable en los observadores, sin embargo, habrá que cuidar al integrar el grupo calificador que lo forme gente con criterio, perfectamente instruida de lo que se le pide y con responsabilidad para hacerlo.

En la actualidad la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) realizó unas normas para calificar el estado actual de un camino, en el cual se establece la metodología para calificar los distintos elementos de un camino como parte de un sistema de supervisión, que en un momento dado permite conocer el estado físico del camino y sus condiciones de conservación.

En dichas normas para calificar un camino se consideran diversos elementos, los cuales pueden evaluarse de acuerdo a su importancia en la función de proporcionar un servicio eficiente.

Los elementos por calificar y su valor relativo considerados para los caminos pavimentados se indican a continuación:

ELEMENTOS POR CALIFICAR	VALOR RELATIVO
a). Del cuerpo	
Corona	50
Drenaje	30
Derecho de vía	<u>20</u>
Suma:	100
b). Del señalamiento	
Vertical	60
Horizontal	<u>40</u>
Suma:	100
c). Influencias para calificación.	
Del cuerpo	0.80
Del señalamiento	<u>0.20</u>
Total:	1.00

Los valores relativos asignados a cada uno de los diferentes elementos del camino, fueron fijados tomando como base la contribución a la importancia del elemento para que el camino --- preste un servicio eficiente.

Durante el recorrido al camino, se califican en cada sección - todos los elementos del mismo con valores comprendidos entre - cero y cinco, según corresponda al estado del camino.

La calificación de una sección, es el número que se obtiene -- sumando los productos resultantes de multiplicar la califica-- ción de cada elemento con la escala mencionada anteriormente, - por su valor relativo y por su correspondiente factor de influ- encia. Esta calificación variará entre 0 y 500.

La calificación del camino, es el número que se obtiene al dividir la suma de los productos resultado de multiplicar la calificación para cada sección por su longitud en kilómetros, entre la longitud total correspondiente a las secciones calificadas.

La calificación representa el estado de conservación y para su correlación se establecen los siguientes rangos.

CALIFICACION	ESTADO DEL CAMINO
De 0 hasta 250	Malo
Mayor de 250 hasta 350	Regular
Mayor de 350 hasta 500	Bueno

Como se puede observar, el método de la calificación actual -- (mencionada anteriormente) exclusivamente considera la superficie de rodamiento, mientras tanto en la S.C.T. se califican -- además el drenaje, el señalamiento vertical, horizontal, derecho de vía, etc. lo cual es calificar en doble, puesto que si el drenaje y sub-drenaje, taludes, etc. están deteriorados, -- éstos influyen directamente sobre la superficie de rodamiento. No queriendo decir con esto que no se deben de considerar, pero no como calificación, sino como datos aportados para cuando se lleve a cabo la conservación, sean realizados primero los trabajos de corrección de taludes, drenaje, sub-drenaje, señalamiento, etc. y después se realicen los tratamientos que requiera la superficie de rodamiento para dejar una carretera -- en óptimas condiciones.

A continuación se muestran los cuadros utilizados como guías o lineamientos generales para orientar al calificador en el otorgamiento de las calificaciones que corresponden a los diferentes elementos, según las deficiencias observadas.

CAMINOS Y PAVIMENTOS

CALIFICACION PARA LA CORONA, SEGUN DEFICIENCIAS Y SU INTENSIDAD

DEFICIENCIAS		I N T E N S I D A D				
		No se Obser- van.	Corregidas	En tres zonas - aisladas por -- Sección.	En tres zonas amplias por - Sección.	Generalizadas
I	Grietas longitudinales y/o -- transversales y/o curvas	5.0	4.0	3.5	3.0	1.0 a 0.0
II	Agrietamientos en forma de -- piel de cocodrilo.	5.0	4.0	3.5	2.5	1.0 a 0.0
III	<u>Calaveras</u>	5.0	4.0	2.5	2.0	1.0 a 0.0
IV	<u>Baches</u>	5.0	4.0	2.0	1.5	1.0 a 0.0
V	<u>Textura defectuosa:llorada y/o con desprendimientos (escara-- pelada).</u>	5.0	4.0	2.5	1.5	1.0 a 0.0
VI	<u>Deformaciones: Depresiones y/o Asentamientos y/o ondulaciones y/o roderas y/o superficie ri- zada, y/o orillas de carpetas sin chaflán.</u>	5.0	4.0	2.5	1.5	1.0 a 0.0

NOTA: Se tomará la calificación más baja de cualquiera de los conceptos, como la calificación en la Sección.

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
DIRECCION GENERAL DE CONTROL TECNICO

CAMINOS PAVIMENTADOS

CALIFICACION PARA EL DRENAJE SEGUN EL CONCEPTO, SU FUNCIONAMIENTO Y DEFECTOS FISICOS.

DEFICIENCIAS EN EL CONCEPTO		FUNCIONAMIENTO DEL ESCURRIMIENTO			DEFECTOS FISICOS	
		Satisfactorio	Obstruido par- cialmente	Obstruido to- talmente	Menores	Mayores
I	Alcantarillas vados y cana- lizaciones.	5.0	3.0	1.0	de 0.0	a - 2.0
II	Cunetas	0.0	0.0 a -2.0	-2.0 a -3.0	- 1.0	- 2.0
III	Pendiente transversal, bombeo y sobre elevación.	---	---	---	- 1.0	- 2.0
IV	Lavaderos, bordillos, contracu- netas y canales longitudinales	---	---	---	- 1.0	- 2.0

NOTA: Se tomará como base la calificación del concepto I con relación al escurrimiento, a la cual se le descontará en caso de ameritarse, los puntos que sean necesarios por los defectos físicos. Los restantes conceptos II a IV se calificarán negativamente para deducirse de la calificación base.

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
DIRECCION GENERAL DE CONTROL TECNICO

CAMINOS PAVIMENTADOS

CALIFICACION PARA EL SEÑALAMIENTO HORIZONTAL Y DIFERENTES MARCAS EN EL PAVIMENTO

D E F I C I E N C I A S		I N T E N S I D A D		
		Sin deficiencias	Pocas deficiencias	Muchas deficiencias
I	Raya Central	5.0	De 5.0 a 3.0	De 2.0 a 1.0
II	Rayas en las orillas de la carpeta y/o separadoras de carriles, canalizadoras, protectoras, etc.	0.0	- 1.0	- 2.0
III	Otras marcas en el pavimento y/o <u>pinta</u> do de otro elemento de la sección <u>trans</u> versal.	0.0	- 0.5	- 1.0

NOTA: La calificación base la constituye el concepto I. los demás conceptos proporcionarán valores deductivos de la calificación base.

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
DIRECCION GENERAL DE CONTROL TECNICO

CAMINOS PAVIMENTADOS

CALIFICACION PARA EL SEÑALAMIENTO VERTICAL O DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL DEL TRANSITO SEGUN DEFICIENCIAS Y SU INTENSIDAD.

D E F I C I E N C I A S		I N T E N S I D A D		
		Sin deficiencias	Pocas deficiencias	Muchas deficiencias
I	Señalamiento: Preventivo y/o Restrictivo y/o Informativo	5.0	5.0 a 3.0	3.0 a 1.0
II	Fantasmas y defensas	0.0	- 1.0 a -2.0	- 2.0 a -3.0
II	Postes de kilometraje	0.0	- 0.5	- 1.0

NOTA: La calificación base la constituye el concepto I de acuerdo con la intensidad de las deficiencias.

Los demás conceptos proporcionarán valores deductivos de la calificación base.

CAMINOS PAVIMENTADOS

CALIFICACION PARA EL DERECHO DE VIA SEGUN DEFICIENCIAS Y SU INTENSIDAD

DEFICIENCIAS		I N T E N S I D A D				
		Sin deficiencias	Hasta el 50% de la Sección	En más del 50% de la Sección	Hasta en 2 lugares por Sección	Más de 2 lugares por Sección.
I	Vegetación crecida en más de 40 cm. en los cinco metros colindantes a cada lado de la corona del camino.	5.0	3.0	2.0	---	---
II	Vegetación en el resto del Derecho de vía, con más de 1.50 m. de altura.	0.0	- 1.00	- 2.00	---	---
III	Peligros al tránsito o al camino.	---	---	---	- 1.0	- 2.0
IV	En las cercas	---	---	---	- 1.0	- 2.0
V	<u>Utilización indebida</u>					
	Pastoreo y/o, siembra de particulares.	---	---	---	- 1.0	- 2.0
	Anuncios prohibidos	---	---	---	- 1.0	- 2.0
	Basureros y/o servidumbre no autorizada.	---	---	---	- 1.0	- 2.0

NOTA: La calificación base la constituye el concepto I. Los demás conceptos proporcionarán valores deductivos de la calificación base.

3.4. INDICE DE SERVICIO ACTUAL.

El índice de servicio actual está en función de varios factores que son:

- a). Deformación longitudinal.
- b). Deformación transversal.
- c). Textura.
- d). Porcentaje de baches y áreas reparadas.

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

Los dispositivos existentes que se usan para medir las deformaciones de la superficie de rodamiento de un pavimento son varia dos y entre otros se tienen los siguientes:

- a). El Rugosímetro del B.P.R.
- b). Perfilómetro C.H.L.O.E.
- c). La regla rodante R.S.E.
- d). El Perfilómetro Británico.
- e). El Perfilómetro dinámico de superficie S.D.R.
- f). El Vehículo medidor de carreteras Mays C.R.M.
- g). El Método nivelador preciso para la determinación de perfiles "Level".
- h). Perfilógrafo Transversal de laboratorio "Central de París"

Los más conocidos en México son el Perfilómetro Chloe y el vehículo Mays C.R.M.

El Perfilómetro Chloe.- Se usa para calcular la variancia de la pendiente longitudinal del camino, es decir, mide la deformación longitudinal por cambio de ángulos entre dos líneas de referencia, no obstante, éste dispositivo tiene limitaciones como son: lentitud de operación, medidas imprecisas de ondulaciones menores que la distancia entre las dos ruedas medidoras y carencia de información sobre ondulaciones mayores.

Rugómetro.- EL éxito en el uso del Rugómetro depende en gran parte de la persona que lo opera, es conveniente que tenga algunos conocimientos sobre el equipo mecánico y que sea capaz de seguir cuidadosamente las instrucciones detalladas del procedimiento.

Los efectos del tránsito se reflejan en las rodadas. Las observaciones con el rugómetro normalmente deben hacerse aproximadamente al centro de estas trayectorias. La cantidad de trayectorias longitudinales seleccionadas para hacer las pruebas, así como la cantidad de veces que se recorra cada una, deben ser suficientes para obtener un cuadro representativo de las condiciones superficiales del carril.

Para cada trayectoria longitudinal dos o tres recorridos darán un índice bastante aproximado, cuando se hacen varios recorridos de prueba en una trayectoria sobre un pavimento de superficie estable, es de esperar una dispersión de alrededor del 2%; si se notara una dispersión mayor, es conveniente revisar cuidadosamente el equipo de prueba.

Cuando se van a hacer mediciones en un tramo de camino de gran longitud, es recomendable que los valores integrados se registren cada media milla. Cuando se hagan pruebas en tramos cortos

es recomendable aumentar la cantidad de recorridos para lograr una mayor exactitud. El operar a 20 mph facilita al conductor conservar la trayectoria fijada y al observador, poder tomar las notas necesarias.

Para obtener resultados consistentes, es imperativo que el rugómetro (ver figura 3.2.) se opere (se caliente) por lo menos -- unas 10 millas antes de empezar las pruebas del día.

Los equipos más recientes son de dos tipos:

- a). Instrumentos montados en vehículos o en remolques que miden la respuesta del vehículo a la superficie del pavimento, cuando se transita a una velocidad estándar. Por su bajo costo, estos equipos son los más populares y se usan ampliamente. Los rugómetros tipo Mays o PCA, con variantes desarrolladas en diversos países, son típicos de esta clase de instrumentos.

- b). Equipos que miden el perfil del pavimento, con relación a una Línea horizontal. Estos equipos muy sofisticados y de alto rendimiento, registran el perfil real del pavimento almacenando y procesando la información a través de -- computadoras integradas. Por su alto costo y dificultad de operación, hasta la fecha han tenido un uso limitado. Pueden mencionarse en esta categoría el perfilómetro de -- contacto Surface Dynamics y los perfilómetros a base de ondas de alta frecuencia o rayos laser, que no hacen contacto mecánico con la superficie del pavimento.

RUGOMETRO

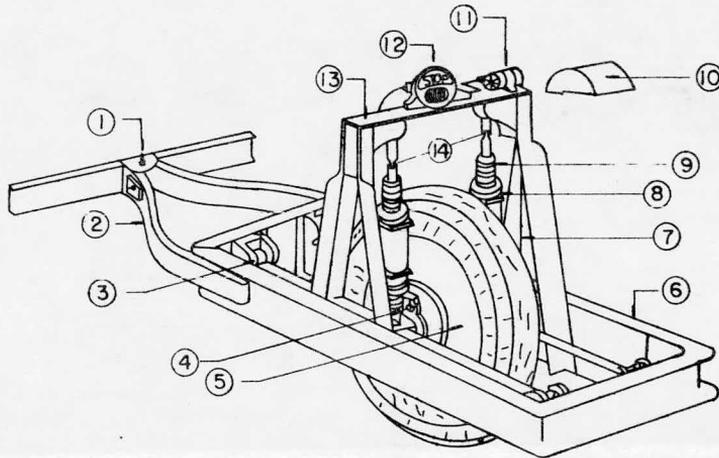


Figura 3.2.

- 1.- Enganche
- 2.- Lengüeta
- 3.- Muelles de hojas y suspensión.
- 4.- Contador de revoluciones microswitch y leva
- 5.- Rueda
- 6.- Estructura
- 7.- Cable del integrador
- 8 y 9 .- Amortiguador y unidad de amortiguación.
- 10.- Cubierta.
- 11.- Integrador
- 12.- Luz de alto
- 13.- Puente
- 14.- Juntas universales.

PERFILOGRAFO TRANSVERSAL DE LABORATORIO "CENTRAL DE PARIS"

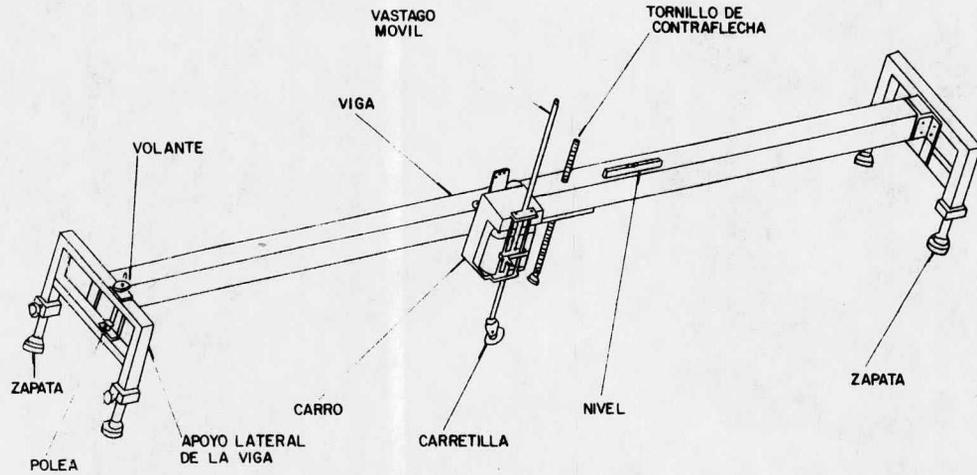


Figura 3.3.

MEDICION DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL.

Pruebas no destructivas.

Es muy deseable poder efectuar una evaluación de la capacidad estructural de los elementos constituyentes de un pavimento - sin alterarlos o destruirlos. De esta manera las mediciones se realizan en la superficie del pavimento y los resultados se relacionan a las propiedades estructurales de los materiales de las capas inferiores.

En este método, generalmente se mide la respuesta de la estructura del pavimento a la aplicación de una fuerza o energía externa, y puesto que no se altera la estructura del pavimento, las pruebas pueden repetirse varias veces en el mismo sitio.

Las pruebas de este tipo se clasifican en tres categorías principales.

- a). Mediciones de respuestas bajo cargas estáticas o móviles aplicadas a baja velocidad.
- b). Mediciones de respuestas a la aplicación de cargas repetidas.
- c). Mediciones de respuestas de una masa a una fuente controlada de energía nuclear.

La respuesta a la aplicación de una carga sencilla, se obtiene mediante la deflexión producida en la superficie del pavimento. El dispositivo generalmente usado es la viga Benkelman, que termina deflexiones de milésimas de pulgada. Los resultados de un estudio efectuado en California indican que cuando las ----

deflexiones de la superficie de un pavimento exceden de un --- cierto valor, ese pavimento generalmente muestra signos de deterioro.

Varias agencias emplean las pruebas de placa para obtener de-- flexiones en el pavimento bajo la acción de cargas estáticas y repetidas.

En el tramo de prueba de la AASHTO, se realizaron mediciones - de vibraciones producidas a pavimentos flexibles al aplicar en la superficie una fuerza vertical alternamente y midiendo posteriormente las deflexiones y la velocidad de propagación de - las ondas. Las deflexiones proporcionan un valor de la rigidez elástica de la estructura total del pavimento, en tanto que la velocidad de propagación puede proporcionar idea de la rigidez de las varias capas que lo integran. El cuerpo de Ingenieros - de E.U.A. ha empleado un equipo vibratorio para determinar el módulo de elasticidad del suelo bajo un pavimento. A partir -- del valor del módulo obtenido y aplicando la teoría de la --- elasticidad puede determinarse la resistencia del pavimento.

En Texas se realizó un estudio utilizando un sistema de cargas dinámicas midiendo las deflexiones en la superficie mediante - geófonos aplicadas a la misma. Estas deflexiones fueron comparadas con las correspondientes a la viga Benkelman, obteniéndose como resultado la indicación de que puede establecerse una correlación entre ambos métodos. El equipo empleado es de tipo móvil y el tiempo requerido para la ejecución de las pruebas - es bastante corto, lo que constituye factores favorables para su aplicación; éste equipo se conoce con el nombre de Dynaflect, que la S.C.T. está empleando para sus estudios de evaluación - de pavimentos.

En la época actual se han empleado pruebas nucleares para medir la densidad y la humedad en los materiales de pavimentación y se ha extendido su uso a la determinación del contenido de asfalto y densidad de mezclas. En Wisconsin, se han iniciado experimentos para adoptar el uso de estos dispositivos a la evaluación de los pavimentos midiendo por ejemplo, las variaciones de la densidad en el transcurso del tiempo.

Los dispositivos existentes que se usan para medir deflexiones en la superficie de rodamiento de un pavimento son variados y entre otros se tienen:

Viga Benkelman.- Este aparato opera siguiendo el principio de una palanca simple. Un brazo de 8 pies de longitud se coloca entre las dos llantas duales del camión cargado con 15,000 lbs por eje sencillo. Al deformarse el pavimento, el pivote de la viga gira alrededor de un punto de rotación colocado en la viga de referencia, la descansa en el pavimento hacia atrás del área de influencia, de tal manera que el brazo posterior de la viga de cuatro pies de longitud, acciona un extensómetro que registra la deflexión máxima con una aproximación de 0.001 pulgada .

Aún cuando este aparato está limitado a la medición de deflexiones solamente para vehículos de prueba operando a muy baja velocidad, tiene ventajas muy importantes en cuanto a sencillez, versatilidad y rapidez de medición. Con él es posible efectuar entre 300 a 400 medidas de deflexión individuales por día. Ver figura 3.5.

Deflectómetro Móvil.- Este aparato, es un instrumento automático de medición de deflexiones basado en el principio de la Viga Benkelman. Forma una unidad camión - remolque que lleva una

carga de prueba por eje sencillo de 15,000 libras en las llantas traseras (medidas 11.00 x 22.5, separación de 12 pulgadas entre sí y 70 libras/pulgada² de presión, que son características idénticas a las del vehículo que se emplea en la Viga -- Benkelman), y mide la deflexión del pavimento bajo ambas ruedas simultáneamente.

El deflectómetro móvil, es un instrumento electromecánico capaz de medir deflexiones en el pavimento a intervalos de 20 pies de una manera uniforme y continua, mientras el vehículo se desplaza sobre el camino a 0.5 millas/hora.

Las deflexiones se miden con una aproximación de 0.001 de pulgada por medio de un brazo de prueba que descansa sobre el pavimento y se registran en forma continua en una gráfica. En un día normal de trabajo, se pueden hacer entre 1,500 a 2,000 medidas individuales de deflexión.

Dynalect.- Este aparato, es un sistema electromecánico capaz de medir la deflexión dinámica de la superficie de una carretera, producida por una carga oscilatoria.

Consiste en un generador de fuerza dinámica, un aparato móvil de medición, una unidad de calibración y una serie de cinco -- geófonos móviles montados en un pequeño remolque, ver figura - 3.6. El remolque estando en posición fija, ejerce en la superficie del pavimento mediante dos ruedas de acero cubiertas de hule, una carga oscilatoria cuya densidad es de 1,000 libras - en los puntos máximos.

La amplitud resultante de la deflexión, es recogida por los -- geófonos y leída como una medida de la propia deflexión en un

aparato colocado dentro de la cabina del vehiculo remolcador.

Curvímetro Dehlen.- Este aparato consiste en una barra de aluminio de 1/2 pulgada de grueso por 1½ pulgada de ancho y 13 -- pulgadas de longitud, con apoyos a una distancia de 12 pulg-- das, centro a centro y un extensómetro de carátula, con aproxi-- mación de 0.005 pulgada carrera de 0.05 pulgada, fijado al -- centro de la barra, ver figura 3.4. Colocando este aparato en-- tre las 2 ruedas duales del vehículo de prueba cargado (15,000 libras por eje sencillo y llantas de 11.00 x 22.5, con 70 li-- bras/pulgada² de presión), es posible medir la ordenada media de una curva que tiene una longitud de cuerda de 12 pulgadas - correspondiente a la cavidad de la zona deformada y de la cual puede calcularse el radio de curvatura y obtener el valor de - la deflexión.

Deflectógrafo Lacroix.- Este aparato de fabricación francesa, mide las deflexiones de la superficie de rodamiento bajo la - acción de un eje cargado, ver figura 3.7.

Entre las aplicaciones más importantes se tiene:

Vigilancia de la capacidad de carga de una red carretera y estudio de su evolución, detección de las zonas defectuosas a re- forzar, control de la ejecución y de la eficacia de los re- fuerzos.

El Deflectómetro está montado sobre un camión, del cual se pue- de variar la carga del eje posterior entre 6 y 13 toneladas. - Durante la medición, el aparato circula a una velocidad cons-- tante de unos tres kilómetros por hora. Para asegurar el con-- junto de las operaciones de medición son necesarios un técnico y un chofer.

Principio de la medición.

La deflexión vertical de la superficie de rodamiento bajo la carga del eje posterior de un camión es medida entre cada rueda doble con la aguja de un brazo palpador asociado a una viga de referencia, ver figura 3.8. En este brazo palpador está ubicada la barra móvil y un captador de desplazamiento, cuyo cuerpo es solidario con la viga de referencia. Este captador transforma la deflexión en una señal que se registra analógicamente (gráfica) y que puede ser registrada numéricamente (banda perforada o banda magnética) simultáneamente.

El vehículo avanza a una velocidad constante, en tanto que el sistema de medición constituido por la viga de referencia y sus brazos palpadores progresa de una manera discontinua. Cada ciclo de medición se descompone en las siguientes operaciones:

- La viga de referencia está colocada delante del eje posterior del vehículo, de manera que cada brazo palpador esté situado sobre la trayectoria de la rueda doble, fuera de la zona de deflexión. Esta viga reposa en el suelo en tres puntos, los que definen un plano de referencia. Esta posición del sistema de medición es tomada como origen de la deflexión.
- Las ruedas duales avanzan hacia los palpadores, los cuales entran en la zona deformada de la superficie de rodamiento. La deflexión es registrada hasta que el eje posterior ha pasado la extremidad del brazo palpador. Durante toda esta fase, los tres apoyos han permanecido estacionarios y la deflexión ha pasado por el máximo.
- La viga de referencia es recogida por un sistema de tracción

solidaria del vehículo. La viga es llevada rápidamente hacia la parte delantera del vehículo, donde se ubica nuevamente en su posición inicial. El paso de la medición es variable (4 a 6 m) y el vehículo se desplaza a una velocidad constante de unos tres kilómetros por hora.

Como se mencionó anteriormente los resultados de la deflexión se pueden obtener gráficos, en bandas perforadas y en banda magnética. Estos dos registros son utilizados directamente sobre computadora, de esta manera permite visualizar y utilizar todos los elementos de la deformación.

CURVIMETRO DEHLEN

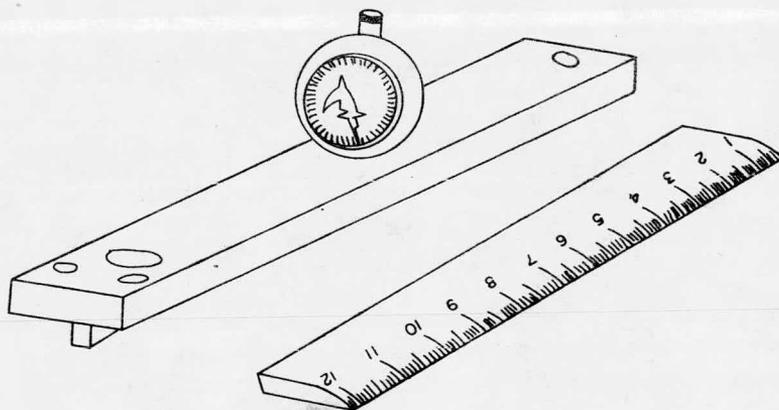


Figura 3.4.

VIGA BENKELMAN

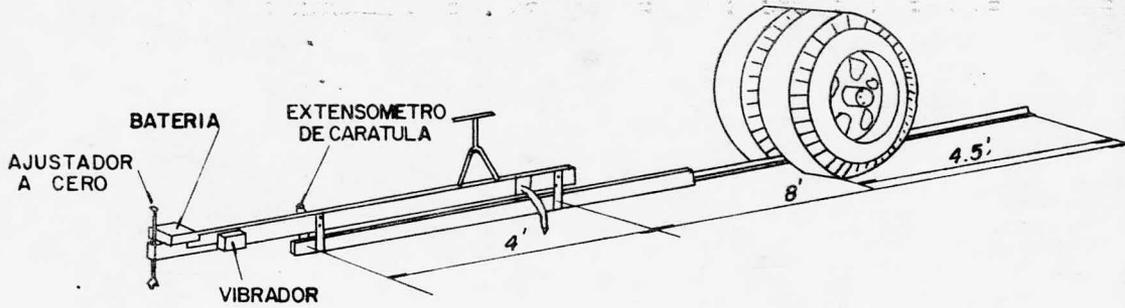


Figura 3.5

DYNAFLECT

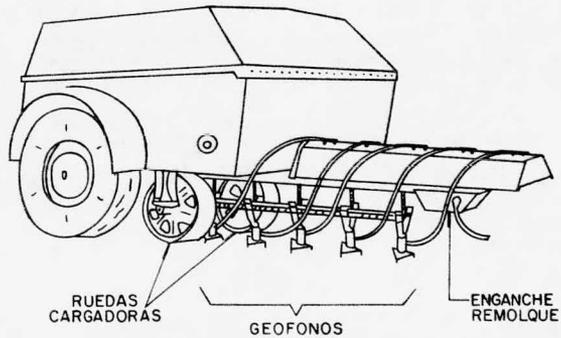
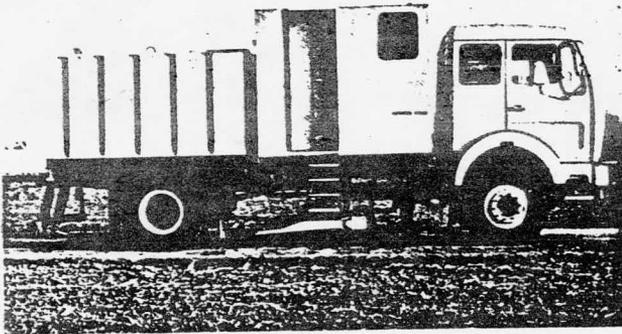
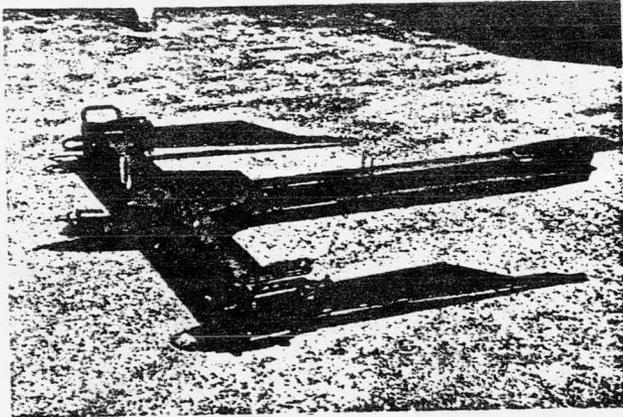


Figura 3.6



Deflectógrafo Lacroix Figura 3.7



Viga y Palpadores Figura 3.8

Pruebas Destructivas.

Es necesario en ocasiones, observar directamente la estructura de un pavimento con el objeto de determinar dónde y porqué ocurrió una falla. En tales situaciones se requiere realizar una cala o sondeo en el pavimento, destruyendo su estructura.

Las técnicas empleadas dependen del tipo de información deseada, llegando a requerir la obtención de muestras inalteradas de las diferentes capas.

Las pruebas destructivas están representadas por sondeos, calas o extracción de corazones, que destruyen parcialmente la estructura del pavimento. Cuando se realiza alguna de estas operaciones es necesario que las capas de pavimento destruidas sean reparadas con material de calidad adecuada, dándoles una buena compactación.

Llevar a cabo cualquiera de las operaciones anteriormente mencionadas sirve para medir los aspectos de la estructura actual, los grados de compactación de las capas que forman el pavimento y con la ayuda de las pruebas de laboratorio poder determinar propiedades de interés fundamental de los materiales del pavimento y las terracerías.

En el caso de los tramos en que la permeabilidad es alta pero no existen agrietamientos o deformaciones fuertes, no se requiere llevar a cabo estudios de espesores, sino que sólo se debe recomendar la aplicación de un riego de sello.

En caso de que existan agrietamientos de la carpeta de regulares a fuertes, pero sin deformaciones de consideración, se debe desechar la carpeta, conformar la superficie de base descubierta, compactándola posteriormente a 95% y colocar un espesor de carpeta igual al que se retiró. En este caso es probable que tampoco se requieran estudios de espesores pues sólo se ha tenido falla funcional en la carpeta, pero el resto del pavimento se ha comportado en forma correcta.

En caso de que en el pavimento se hayan marcado las rodadas de

los vehículos en forma de acanaladura, pero sin que se tengan fuertes deformaciones, lo más probable es que la falla sea de las capas de base y sub-base. En este caso, dependiendo de la profundidad de las rodaduras se deben efectuar sondeos cada 500 ó 700 metros, pero no menos de 3 en el subtramo.

En el último caso señalado, o sea cuando se tienen deformaciones fuertes en situación irregular, la falla es de tipo estructural abarcando toda la estructura. En este caso los sondeos deben de obtenerse desde las terracerías, dichos sondeos tendrán una separación entre 250 a 500 m., pero también no menor de 3 en el subtramo. En estos dos últimos casos se llevan a cabo las pruebas que se mencionan a continuación.

En el caso de las carpetas se toman muestras a fin de determinar las condiciones en que se encuentra, debiéndose efectuar en el campo una inspección visual, para observar algunos datos como rigidez, cubrimiento, agua libre, etc., y mediante pruebas de laboratorio se determinará: contenido de asfalto, de agua y granulometría del material pétreo.

Para las bases y sub-bases se determinará la compactación y humedad del lugar y se tomarán muestras de cada una de ellas para determinar en el laboratorio: peso volumétrico seco suelto, densidad del agregado grueso, granulometría, límites de plasticidad (incluyendo contracción lineal), valor cementante, datos de prueba de Porter Estándar o de California como son: peso volumétrico seco máximo, humedad óptima, expansión y valor relativo de soporte saturado.

Con estos datos se determinará la aceptabilidad o no de estos materiales para el nivel en que se encuentren en obra. En caso

contrario, se harán las pruebas requeridas para mejorar sus características.

De los materiales de capa subrasante se tomarán muestras para determinar en el laboratorio: datos de la prueba Porter Estándar, límites de plasticidad, granulometría, peso volumétrico - seco suelto, etc. En el caso del cuerpo del terraplén se obtendrá límite líquido y el tamaño máximo. También se deben conocer las compactaciones y humedad del lugar, así como el valor relativo de soporte de la prueba de Porter Modificada (Padrón) a diferentes grados de compactación (100, 95 y 90%) y humedades (W_o , $W_o + 1.5$ y $W_o + 3\%$) respectivamente.

**CAPITULO 4.- PROYECTO DE LA REHABILITACION Y RECONSTRUCCION DE
CAMINOS.**

Cuando los deterioros que presenta un pavimento afectan zonas - amplias o de bastante longitud del mismo de tal manera que no - puede hablarse ya de fallas locales, es necesario hacer una reconstrucción más a fondo del mismo para restaurar sus condiciones de buen servicio.

El procedimiento que se emplea en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes para conocer las causas de falla de los pavimentos y definir su reconstrucción cuando dichas fallas son más o menos generalizadas, consiste en lo siguiente:

- a).- Hacer un recorrido minucioso del tramo o del área afectada, para detectar situaciones ajenas al propio pavimento, que están coadyuvando o propiciando su deterioro como son problemas o deficiencias en el terreno de cimentación, en las terracerías o en las obras de drenaje. Si el caso lo amerita, será necesario hacer pruebas de laboratorio y campo para prevenir mejor estos problemas y darles la solución adecuada.

- b).- Practicar en el pavimento sondeos a cielo abierto con espaciamientos apropiados de acuerdo con la longitud del tramo afectado o la magnitud de la zona fallada para conocer calidad y compactación de los materiales de terracerías, incluyendo de manera importante los que constituyen la capa subrasante, calidad y compactación de los materiales de sub-base, base y carpeta y espesores de las distintas capas del pavimento, condiciones de humedad de los materiales, etc. Estos datos permitirán definir si el espesor del pavimento, es o no suficiente para las condiciones en que se encuentran trabajando los materiales de terracerías, -- así como para los requerimientos del tránsito que soporta

el pavimento y las condiciones climatológicas de la región, es decir, se rediseña el pavimento como si fuese a construirse nuevo y se determina si se requiere o no mejorar el espesor, calculándose, en su caso, el espesor de refuerzo.

El resultado de las pruebas a los materiales extraídos de los sondeos revelará también si los que forman la capa subrasante y los distintos del pavimento, reúnen los requisitos de calidad fijados por las especificaciones correspondientes, si se les proporcionaron los tratamientos adecuados y si fueron trabajados correctamente, con lo que podrá determinarse si es factible aprovecharlos o no en la reconstrucción del pavimento y bajo que condiciones.

Con los datos de espesores requeridos y existentes del pavimento y con los resultados de todas las pruebas de laboratorio y campo y el conocimiento del tipo de fallas que presenta el citado pavimento, se estará en posibilidad de precisar los procedimientos de reconstrucción o rehabilitación que pueden ir desde levantar el pavimento, dar tratamiento o sustituir el material de la capa subrasante y rehacer la estructura del pavimento hasta colocar un refuerzo a base de una sobrecarpeta de mezcla asfáltica en planta en caliente o de mezcla elaborada en el lugar, de acuerdo esto último con la importancia de la obra.

En cualquier caso, son los resultados de los estudios, el costo de las distintas alternativas de solución y los recursos disponibles, los que a fin de cuentas permitirán decidir la forma más conveniente de llevar a cabo la rehabilitación del pavimento.

Pero es preciso insistir que es por todos los motivos preferible tratar siempre de solucionar definitivamente el problema -

de un pavimento deteriorado, que darle continuos paliativos o arreglos provisionales que a la larga resultan costosos, más molestos para los usuarios y que solo conducen a aplazar la solución básica y quizás a agravarla.

Existen también los procedimientos no destructivos, (mencionados en el capítulo anterior) para evaluar las condiciones estructurales y determinar el refuerzo que requiere, pero son inaplicables sólo cuando las condiciones del pavimento no son muy adversas y además, siempre es aconsejable complementar estos procedimientos con algunos sondeos a cielo abierto.

Las mediciones de deflexión utilizando un camión cargado, se llevan a cabo generalmente por medio de la Viga Benkelman, sin embargo, se usan también otros tipos de aparatos cuyos registros se traducen en deflexiones con la mencionada viga, basándose en gráficas que correlacionan unas lecturas con otras. En función de estas deflexiones y de las condiciones de tránsito y clima a que estará sujeto el pavimento, se determinan el espesor de refuerzo necesario, valiéndose de otras gráficas, derivadas de las experiencias y estudios realizados por instituciones que las aplican.

Los criterios de decisión para justificar la necesidad de efectuar la rehabilitación de un pavimento son los siguientes:

- Nivel de servicio.
- Calidad de rodamiento.
- Seguridad.
- Capacidad estructural.
- Condiciones superficiales.

y la finalidad de la rehabilitación:

- a).- Corregir los deterioros existentes en la estructura del -
pavimento.
- b).- Prevenir deterioros futuros del pavimento.
- c).- Adaptación a necesidades del tránsito futuro.

Siendo los procedimientos mas generales: tratamientos superficiales, sobrecarpetas asfálticas, ampliaciones, obras de drenaje.

La función de la rehabilitación:

- a).- Proporcionar una adecuada calidad de rodamiento.
- b).- Proporcionar la resistencia al derrapamiento necesario.
- c).- Proporcionar la capacidad estructural adecuada para sop
tar el tránsito futuro.
- d).- Mejorar las condiciones geométricas del camino (en cuanto
a pendientes, grados de curvatura y sobre elevaciones, --
etc.).

A continuación se describen dos de los métodos de rehabilitación del pavimento, que usan mediciones de deflexión para determinar los espesores requeridos de refuerzo en pavimentos flexibles de caminos, los cuales son bastante conocidos en México y se han - aplicado en algunas ocasiones en combinación con el procedimiento de muestreo a base de sondeos a cielo abierto; estos métodos son el del Instituto del Asfalto de los Estados Unidos y el del Departamento de Obras Públicas de la Dirección de la División de Carreteras del Estado de California, E.U., siendo oportuno señalar que el Instituto del Asfalto emplea también el procedimiento de rehabilitación de pavimentos que llama de "Análisis - de los componentes", que no se basa en deflexiones, sino que se

realiza mediante muestreos con sondeos a cielo abierto exclusivamente, tal como se ha descrito en párrafos anteriores. Al final del capítulo se dará también un ejemplo del procedimiento de rehabilitación por medio de la Prueba Porter Modificada (Pa drón).

4.1. METODO DEL INSTITUTO DE ASFALTO PARA REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DE CARPETAS.

Este procedimiento es aplicable solamente a carreteras cuya superficie de rodamiento esté constituida por una capa de mezcla asfáltica.

La magnitud de la deflexión de un pavimento, es una medición de la capacidad de éste para soportar cargas. Diferentes investigaciones en los Estados Unidos han establecido correlaciones entre las cargas transmitidas por las ruedas, la superficie de la deformación en el pavimento y las repeticiones de carga. Con estas correlaciones, las recuperaciones de la deflexión del pavimento medidas por cargas estandarizadas, puede servir para evaluar la capacidad estructural del mismo, también puede servir para determinar el tipo y la magnitud de las medidas correctivas que sean necesarias. Para llevar a cabo esta evaluación, se deben medir deflexiones representativas en el pavimento y hacer el análisis de tránsito correspondiente.

En el procedimiento que aquí se describe, la deflexión del pavimento se mide con la Viga Benkelman utilizando la prueba de recuperación. Las deflexiones del pavimento se determinan en las rodadas exteriores, en por lo menos 10 lugares escogidos en cada tramo de condiciones iguales o muy semejantes a un mínimo de 12 lugares por kilómetro (20 por milla). El valor -----

representativo de la recuperación de la deflexión es el promedio de las recuperaciones medidas más dos desviaciones estándar corregidas por temperatura, y por período crítico del año (época durante la cual el pavimento está más expuesto a ser dañado por las cargas pesadas).

Las zonas del pavimento que representen una deflexión mayor que el valor representativo determinado como se indicó anteriormente, deben recibir un tratamiento especial. Se harán en esos lugares medidas adicionales de la deflexión, con el fin de fijar la magnitud de las áreas débiles. Las deflexiones medidas en los lugares que ameritan tratamiento especial se omiten al calcular la deflexión representativa.

El valor representativo de la recuperación de la deflexión del pavimento y el número de tránsito para diseño **DTN**, son los parámetros que intervienen en el diseño del refuerzo empleando este método.

El procedimiento para determinar la recuperación estática de la deflexión en un punto del pavimento, se efectúa utilizando para la prueba una Viga Benkelman que se coloca entre las llantas dobles de una rueda trasera de un camión cargado. El pie de la sonda, en el extremo de la viga, se hace descansar sobre el pavimento bajo el eje trasero y entre las dos llantas del vehículo. La viga sonda gira en un plano vertical alrededor de un eje o pivote a 2.40 m. (8 pies) del extremo. El camión avanza muy lentamente y la deflexión total del pavimento se lee en un extensómetro; la deflexión obtenida, es la recuperación vertical que experimenta la superficie cuando se deja de aplicar la carga.

El camión para la prueba debe tener una carga de 18,000 lbs. en

el eje trasero, con llantas duales de 10.00 x 20 y presión de inflado de 80 lb/pulg.².

El procedimiento de prueba es el siguiente:

- a). Se marca en el pavimento el punto escogido para hacer la prueba, se debe localizar a 0.60 m. (2 pies) de la orilla del pavimento, si el ancho del carril es menor de 3.30 m. (11 pies) y a 0.90 m. (3 pies) de la orilla, si el ancho es de 3.30 m. (11 pies) o mayor.
- b). Se centra el sistema de las ruedas dobles del camión sobre el punto marcado, es aceptable una diferencia hasta de 7.6 cm. (3 pulgadas) en esta operación.
- c). Se inserta el brazo probador de la viga Benkelman entre -- las llantas duales del camión, colocando el pie de la sonda sobre el punto de prueba.
- d). Se retira el perno del seguro y se ajustan los apoyos delanteros de manera que permitan una carrera de 1.27 cm. -- (0.5") del vástago del extensómetro.
- e). Se conecta el sumador de la viga y se registra la lectura inicial en el extensómetro; el objeto del zumbador es advertir que se está haciendo una medición.
- f). Inmediatamente después, se mueve lentamente el camión hacia adelante hasta una distancia de 9 m. (30 pies) o más.
- g). Se registra la lectura final del extensómetro. Cuando deje de moverse la aguja de la carátula, desconéctese el zumba-

dor.

- h). Se mide la temperatura superficial del pavimento, a una distancia no menor de 25 cm (10") de la orilla del mismo, abriendo un agujero de 3 mm (1/8") de diámetro a 3 mm --- (1/8") de profundidad, rellenándolo con un asfalto líquido viscoso a la temperatura ambiente, tal que dejándolo en reposo una hora permita medir con un termómetro la temperatura correspondiente de la capa. También debe determinarse la temperatura ambiente, en ese momento.
- i). Se mide el espesor total de la capa asfáltica del pavimento existente, así como el de cada una de las capas restantes que la constituyen y se determinan las características de los materiales que las forman.

El cálculo de la deflexión se limita a restar la lectura final del extensómetro de la lectura inicial. La recuperación total del pavimento es el doble de la diferencia anterior, tomando en cuenta las longitudes de los brazos de palanca, con relación al punto de giro.

El reporte debe incluir lo siguiente:

- a). Lugar de prueba.
- b). Recuperación total de la deflexión del pavimento.
- c). Temperatura ambiente.
- d). Espesor de la capa asfáltica del pavimento.
- e). Espesor total del pavimento y como se encuentra estructurado.
- f). Temperatura superficial del pavimento.

Cuando ya se han medido todas las deflexiones en un tramo, los

datos registrados se utilizan para calcular la recuperación representativa de la deflexión para el tramo, mediante la expresión:

$$\Delta = (\bar{X} + 2s) fc$$

En lo cual:

Δ = Recuperación representativa de la deflexión.

\bar{X} = Promedio aritmético de los valores de deflexión individuales.

s = Desviación estándar de las deflexiones, respecto al promedio.

f = Factor de corrección por temperatura.

c = Factor de corrección por período crítico (c=1 para pruebas durante el período crítico).

La desviación estándar se calcula de la siguiente manera, mediante la formula:

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

En la cual:

s = Desviación estándar.

X = Valor de la deflexión en cada prueba.

n = Número de valores individuales de prueba.

Determinación del factor de corrección por temperatura "f".

Para determinar el factor de corrección por temperatura (f), se hace uso de las figuras (4.1 y 4.2) tomando en cuenta las indicaciones que se hacen a continuación:

La gráfica de la figura 4.1, obtenida para pavimentos constitu

idos por base granular en su mayor parte, está basada en una gran cantidad de datos, por lo que deberá usarse prácticamente siempre, excepto para los casos especiales que se citan enseguida y para los cuales se utiliza la gráfica de la figura 4.2.

La gráfica de la figura 4.2 debe usarse solamente cuando se tengan capas asfálticas con espesores de 10 cm. (4") o más, descansando sobre apoyos débiles. Se define aquí el "Apoyo Débil", como una sustentación de escasa resistencia ocasionada por los materiales (capa subrasante, sub-base o ambas) colocados directamente abajo de las capas asfálticas, al momento de medir las deflexiones.

El apoyo de la capa asfáltica puede ser débil durante una época y resistente durante otra. Por ejemplo, una capa subrasante de arcilla o limo en estado seco, puede constituir una sustentación firme a la capa asfáltica, pero puede ofrecer muy escasa resistencia estando saturados dichos materiales. En el primer caso o sea, cuando estos materiales están secos, debe usarse la gráfica 4.1. y en el segundo, la gráfica de la figura 4.2, suponiendo que existe además la condición de espesor, citada anteriormente, para la capa asfáltica.

La temperatura media del pavimento, con la que debe hacerse uso de las gráficas mencionadas, es el promedio de las temperaturas en la superficie, a media profundidad y en la parte inferior del espesor total de mezcla asfáltica del pavimento, aunque haya sido colocada por capas y en épocas diferentes.

La temperatura media del pavimento se utiliza para determinar el factor de corrección por temperatura (f), necesario para --

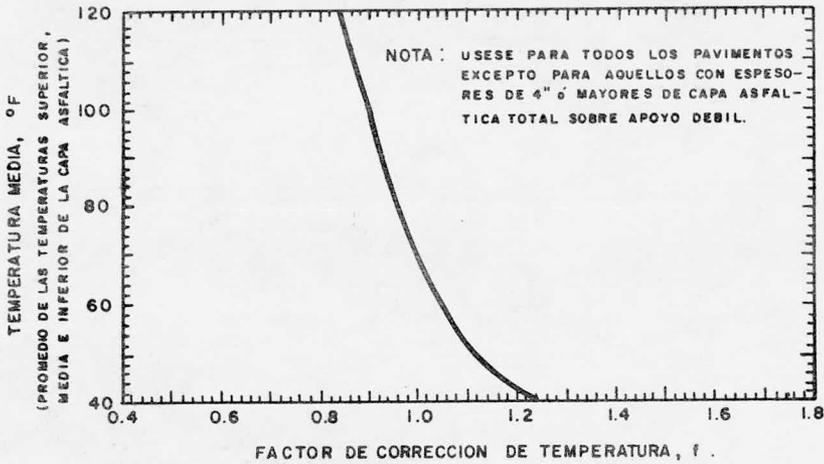


FIG. 4.1 FACTORES DE CORRECCION DE TEMPERATURA PARA DEFLEXIONES CON LA VIGA BENKELMAN.

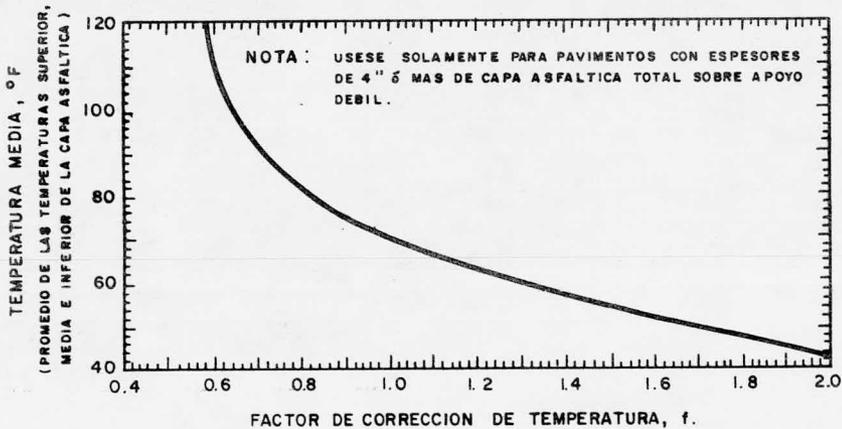


FIG. 4.2 FACTORES DE CORRECCION DE TEMPERATURA PARA DEFLEXIONES CON LA VIGA BENKELMAN.

referir los valores de la deflexión del pavimento a la temperatura estándar de 21°C (70°F).

Determinación del factor de corrección por período crítico "C". El factor de corrección de la deflexión, por período crítico, se hace necesario porque, en ciertos climas, algunas épocas -- del año son más críticas que otras para el comportamiento del pavimento. Es muy importante que la recuperación representativa de la deflexión, refleje las condiciones del período crítico.

A continuación se dan tres formas de determinar este factor de corrección.

- a). Tomándose las medidas de deflexión durante el período crítico, cuyo caso, $c = 1$.
- b). Tomándose las medidas de deflexión en cualquier época y corrigiendo para el período crítico, usando los datos obtenidos de un registro continuo de recuperaciones medidas en un pavimento similar cercano, con una capa subrasante de características similares. La relación entre las deflexiones del período crítico y de la fecha en que se mide, obtenidas ambas del camino semejante, se toma como factor de corrección.
- c). Tomándose las medidas de deflexión en cualquier época y dar el valor en base a la experiencia del proyectista.

Para determinar el espesor necesario de recubrimiento, por este método de análisis de deflexiones del Instituto del Asfalto, se deben seguir los siguientes pasos:

- a). Determinar la recuperación representativa de la deflexión.
- b). Determinar el número de tránsito para diseño (DTN).
- c). Entrar a la gráfica de la figura 4.3, con el valor de la recuperación representativa de la deflexión en el eje horizontal y trazar una vertical hasta la curva que representa el (DTN), desde este punto, se traza una horizontal para leer en la escala vertical el espesor de recubrimiento de concreto asfáltico que se requiere.

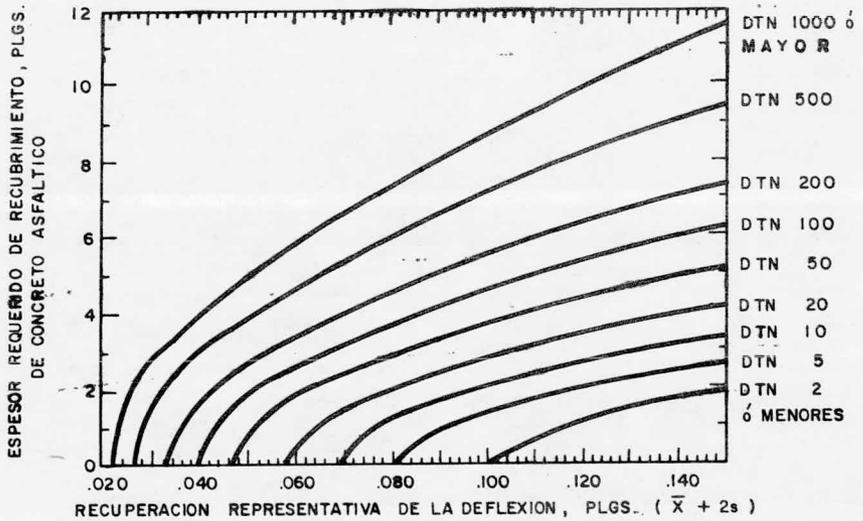
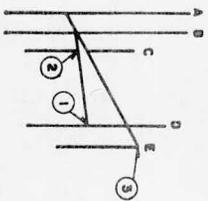
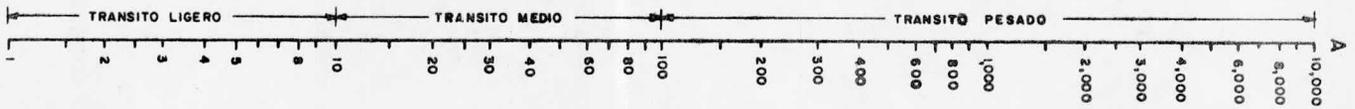


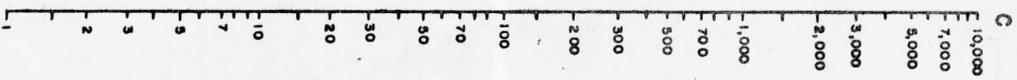
FIG. 4.3 — ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO NECESARIO DE CONCRETO ASFALTICO, PARA REDUCIR LA DEFLEXION MEDIDA A LA DE DISEÑO (PRUEBA DE RECUPERACION)



NUMERO DE TRANSITO INICIAL (ITN)



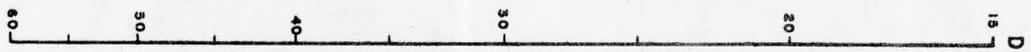
LINEA PIVOTE



NUMERO DE CAMIONES PESADOS

(PROMEDIO DIARIO EN EL CARRIL DE DISEÑO)

PROMEDIO APROXIMADO DEL PESO DE LOS CAMIONES PESADOS, MILES DE LBS.



CARGA MAXIMA PERMISIBLE EN EJE SENCILLO, MILES DE LBS.



NOMOGRAMA DE ANALISIS DE TRANSITO

Fig. 4.4

EJEMPLO.

Se tiene una carretera de cuatro carriles con un promedio de - 16,000 vehículos diarios; 2,400 (15%) son camiones pesados con peso medio bruto de 15 toneladas (32,000 lbs). El carril de di seño se estima lleva el 45% de los camiones pesados. La tasa - de crecimiento del tránsito es de 5% al año. La carga máxima - permisible por eje, es de 8 toneladas (18,000 lbs). En la su-- perficie del pavimento se notan algunas grietas. Valores de de flexión elevados indican la necesidad de reforzarlo. Encontrar el espesor necesario de refuerzo de concreto asfáltico para un período de 20 años y para la primera etapa de 5 años, con una construcción por etapas.

- a). Se calcula la recuperación representativa de la deflexión (Δ) partiendo de los datos siguientes:

$$\bar{X} = 0.061 \text{ pulgadas.}$$

$$S = 0.004 \text{ pulgadas.}$$

$$f = 0.88$$

$$C = 1.25 \text{ (estimado)}$$

Se tiene:

$$\Delta = (0.061 \times 0.008) 0.088 \times 1.25 = 0.076 \text{ pulgadas.}$$

- b). Número de tránsito inicial (ITN) = 590 (obtenido de la fi gura 4.4.).

- c). Factor de corrección del (ITN) para el período de diseño de 20 años = 1.67 (de la tabla 4.1.).
Factor de corrección de (ITN) para el período de diseño - de 5 años = 0.28 (de la tabla 4.1.).

TABLA 4.1.- FACTORES DE CORRECCION PARA EL NUMERO DE TRANSITO INICIAL (ITN).

Período de Diseño en años(n)	Tasa de crecimiento anual, por ciento (r)					
	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

$$\text{FACTOR} = \frac{(1 + r)^n - 1}{nr}$$

d). a). $DTN_{20} = 590 \times 1.67 = 985$

b). $DTN_5 = 590 \times 0.28 = 165$

e). a). Espesor del recubrimiento para período de 20 años =
7" (18 cm) de la figura 4.3.

b). Espesor de recubrimiento para período de 5 años =
4" (10 cm) de la figura 4.3.

4.2. METODO DE LA DEFLEXION DE CARRETERAS DEL ESTADO DE CALIFORNIA, E.U. PARA LA REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES - DE CAMINOS.

Este método considera el uso de cuatro aparatos para medir deflexiones en pavimentos y establece el procedimiento para determinar los espesores de recubrimiento de concreto asfáltico que se requieren para el refuerzo de caminos existentes. Básicamente el método consiste en la medición de la deflexión total del pavimento resultante de la aplicación de una carga por eje sencillo de 15,000 lbs. (7,500 lbs. por rueda doble). Las lecturas de deflexión obtenidas, se comparan con los valores máximos permisibles, determinados previamente en un tramo de condiciones estructurales semejantes y con volumen de tránsito similar, referido a cargas equivalentes de 5,000 lbs. por rueda. El tratamiento correctivo se describe como la capa requerida para reducir la deflexión a un nivel en que la carpeta difícilmente fallará por fatiga. Este refuerzo se obtiene en terminos de espesor equivalente de grava, y el espesor real que se construirá se determina mediante los factores de equivalencia de grava de los materiales (concreto asfáltico, base estabilizada con cemento Portland, etc) que podrán ser usados para reforzar el pavimento antiguo.

- A). EQUIPO.- Los aparatos que se emplean para determinar deflexiones, según este método, son la Viga Benkelman, el Deflectómetro Móvil, el Dynaflect, el Curvómetro Dehlen, que fueron descritos en el capítulo anterior.
- B). TRABAJOS PRELIMINARES.
- B.1. Obtención de los datos necesarios de la carretera cuyo pavimento va a ser rehabilitado.

- a). Determinar la sección estructural existente, de los registros de construcción o de otras fuentes y tomar nota de todas las variaciones.
- b). Se selecciona el índice de tránsito adecuado.
- c). Se estudian los archivos de la construcción de la obra para determinar las condiciones de drenaje y de apoyo del pavimento, así como los problemas importantes que pudieran haberse presentado durante su ejecución y -- que hayan tenido algún efecto en el comportamiento de la carretera.

B.2. Trabajos preliminares de campo.

- a). Determinar la naturaleza, extensión y límites de los diversos tipos de fallas o deterioros a lo largo del tramo y las restricciones o controles verticales que se tengan (guarniciones, bordillos, etc.) y anotar - en un registro.
- b). Seleccionar uno o más tramos representativos de prueba por cada cambio en las condiciones que se observan a simple vista o cada cambio en la sección estructural.
- c). Tomar fotografías representativas de cada tramo de - prueba y localizar las zonas que presentan los mayores deterioros.

C). OBTENCION DE DATOS.

I.- Viga Benkelman.

- a). Método WASHO.- Para obtener medidas de deflexiones -

del pavimento con magnitudes menores de 0.050 pulgadas.

1. Se acomoda el vehículo de prueba en la posición necesaria para iniciar el trabajo.
2. Se coloca la viga entre las ruedas duales del vehículo de tal manera que el extremo de prueba --- (pie de sonda), esté a 4.5 pies (1.35 m) adelante del eje trasero y la viga sea perpendicular a él.
3. Se activa el vibrador (zumbador) y se ajusta la carátula del extensómetro a la lectura de 0.000 - pulgadas.
4. Mover lentamente hacia adelante el vehículo de -- prueba aproximadamente 25 pies (7.5 m) y se regis tra la máxima lectura (D_1) del extensómetro, apro ximado al 0.001 pulgadas más cercano.
5. Después de que la aguja del extensómetro se ha -- estabilizado, regístrese la lectura final (D_f) -- aproximados al 0.001 pulgadas más cercano.
6. Deflexión del pavimento = $2 (D_1) - (D_f)$
7. Repetir el proceso a intervalos longitudinales de 25 pies (7.50 m) a lo largo de la línea central - del carril alternando las rodadas del camión, ha ciendo (2) mediciones en la rodada exterior por - (1) medición en la rodada interior en cada tramo de prueba.

8. De las deflexiones obtenidas en cada una de las -
rodadas del camión, se reporta el valor promedio
y el del 80 percentil.
- b). Método de Recuperación (con viga Benkelman) para ob-
tener mediciones de la deflexión del pavimento con -
magnitudes mayores de 0.050 pulgadas.
1. Se acomoda el vehículo de prueba en la posición
necesaria para iniciar el trabajo.
 2. Se coloca el extremo de prueba de la viga Benkell
man entre las ruedas duales del camión directa--
mente abajo del eje, con la viga perpendicular--
mente al mismo.
 3. Activar el vibrador y ajustar la carátula del --
extensómetro, hasta leer 0.100 pulgadas (Do) desu
pués de que la aguja se haya estabilizado.
 4. Se mueve lentamente hacia adelante el vehículo de
prueba, aproximadamente 25 pies (7.50 m) y se re-
gistra la mínima lectura de recuperación (D_1) ---
aproximado al 0.001 pulgadas más cercano .
 5. Después de que la aguja del extensómetro se haya
estabilizado se registra la lectura final (Df) -
aproximado al 0.001 pulgadas más cercano.
 6. Deflexión del pavimento = $2(D_o - D_1) - (D_1 - D_f)$.
Los pasos 7 y 8 son iguales que el procedimiento
descrito anteriormente.

II.- DYNAFLECT.

- a). Se instala y prepara la unidad de medición de deflexiones.
 - b). Se calibra la unidad.
 - c). Se obtiene una medición de deflexión cada 0.01 milla (aproximadamente 53 pies) en la rodada que muestra los mayores deterioros. El geófono No. 1 es suficiente para la mayoría de los casos.
 - d). Obtener como mínimo veinte mediciones por tramo de prueba, siempre que sea posible.
 - e). Se registran las mediciones con el Dynaflect con sus correspondientes factores; se registra también la -- información relativa a las observaciones a simple -- vista de las condiciones del pavimento, intersecciones con calles o carreteras, localización de cortes y terraplenes, postes del señalamiento y otros aspectos del control vertical.
 - f). Se calcula el promedio del 80 percentil de las deflexiones obtenidas con el Dynaflect y se convierten a deflexiones equivalentes con el deflectómetro móvil (viga Benkelman) usando la gráfica de la figura 4.5.
- D). ANALISIS DE DATOS Y OBTENCION DE ESPESORES DE REFUERZO.-
Reparación o Tratamientos de Conservación.
1. Se compara el valor correspondiente al 80 percentil

de las deflexiones obtenidas, con la deflexión permisible, determinando esta mediante la figura 4.6, entrando con el espesor del pavimento existente y el valor de diseño del Índice de Tránsito (IT). Teniendo presente que el valor máximo de la deflexión tolerable, es de 0.040 pulgadas. El Índice de Tránsito se obtiene con la gráfica de la figura 4.7, pudiéndose entrar a ella con el dato de Tránsito Promedio -- Diario Anual.

- a). Si el valor de la deflexión correspondiente al 80 percentil es menor que la deflexión permisible, no se requiere ninguna reparación, pudiéndose dar solamente un riego de sello o colocar una capa delgada de concreto asfáltico para sellar grietas o para mejorar la apariencia de la superficie de rodamiento.
- b). Si el valor de la deflexión correspondiente al 80 percentil de las medidas efectuadas es mayor que la deflexión permisible, es necesario proceder como se indica en los siguientes párrafos.

2. Se determina el porcentaje requerido de reducción de la deflexión calculada (80 percentil) con relación a la tolerable, para diseñar el espesor de refuerzo necesario para la reparación, como sigue:

$$\text{Reducción de deflexión} = \frac{\text{Deflexión del 80 percentil} - \text{deflexión permisible}}{\text{Deflexión del 80 percentil.}} \times 100$$

3. Utilizando la gráfica de la figura 4.8, con el porcentaje requerido de reducción de la deflexión, se -----

COMPARACION ENTRE DYNAFLECT Y DEFLECTOMETRO MOVIL

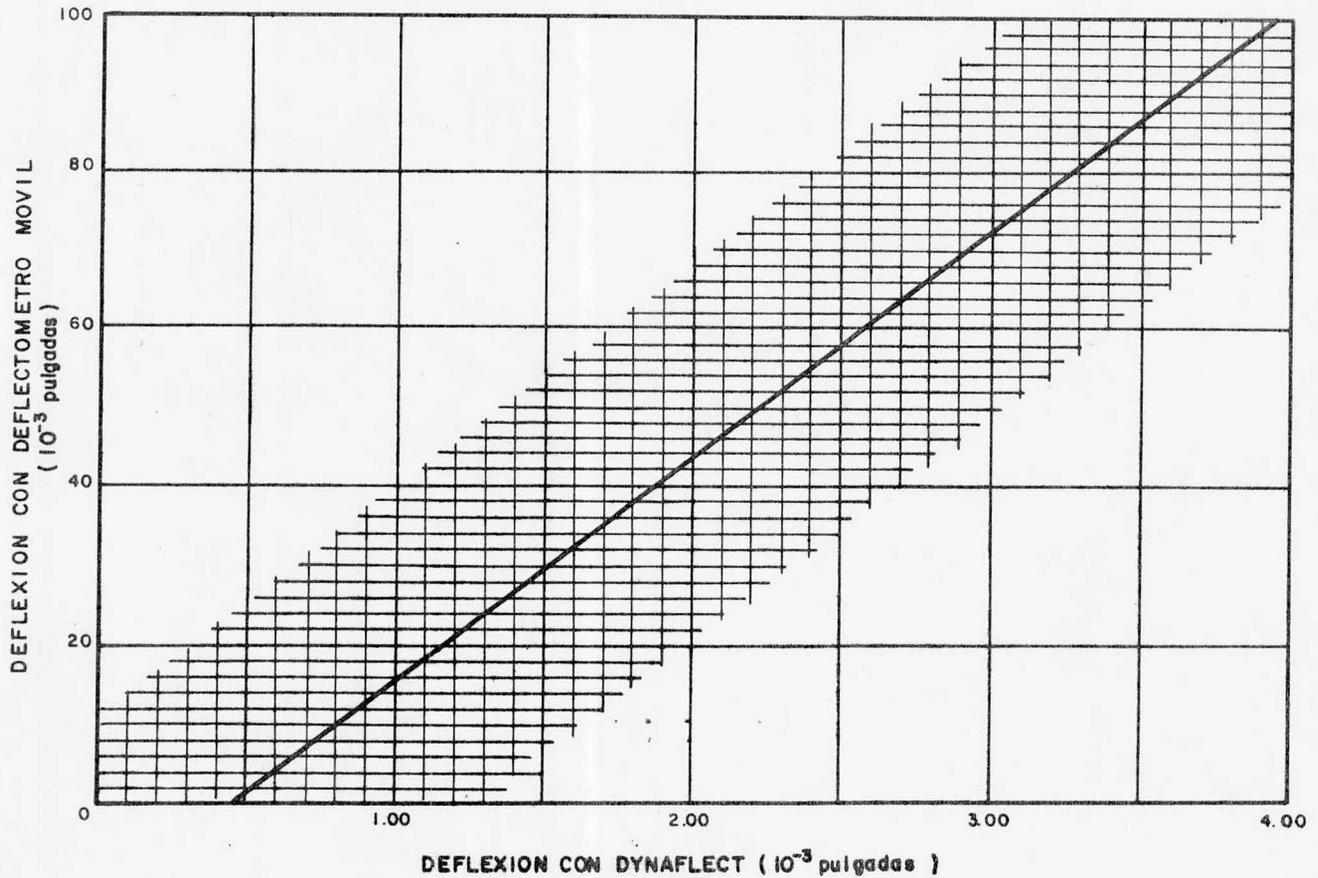


FIG. 4.5

VARIACION DE LA DEFLEXION TOLERABLE BASADA EN PRUEBAS DE FATIGA SOBRE CONCRETO ASFALTICO

INDICE DE TRANSITO (PROCEDIMIENTO DE DISEÑO 1964)

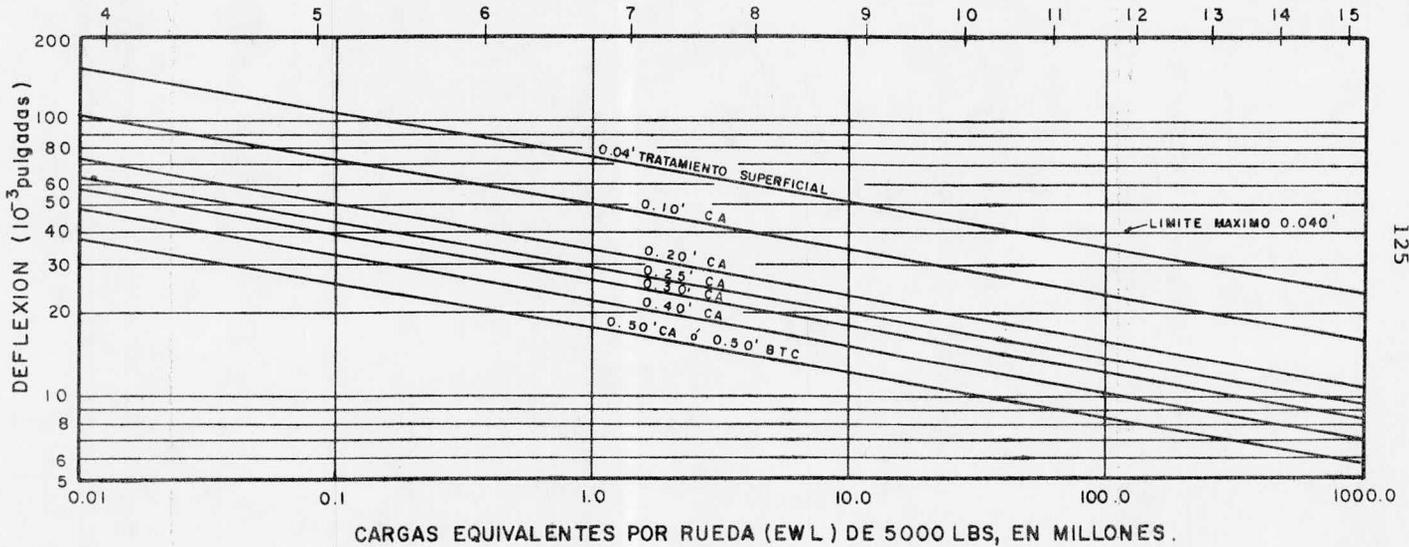
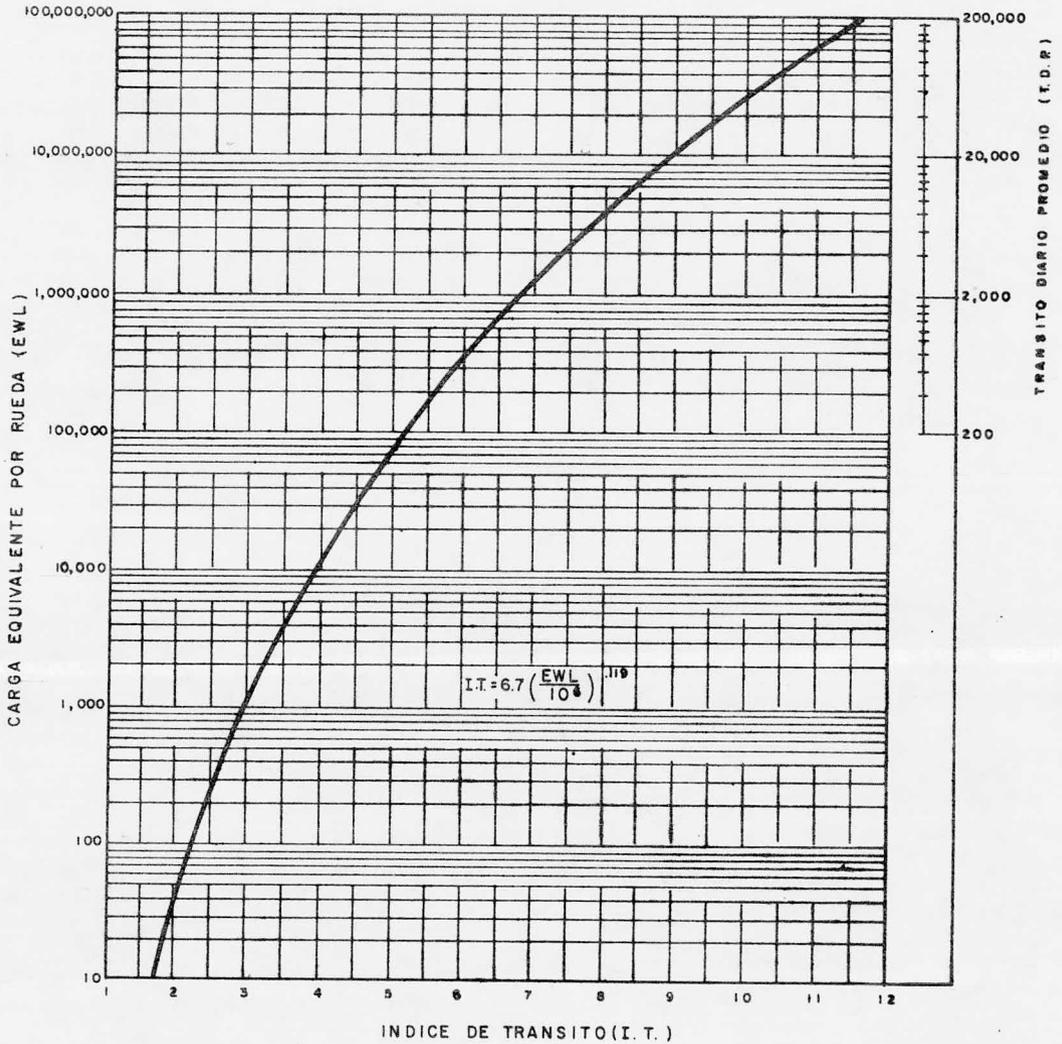


FIGURA 4.6



GRAFICA DE CONVERSION : CARGAS EQUIVALENTES POR RUEDA (EWL).- INDICE DE TRANSITO (I.T.)

EWL= Cargas equivalentes de 5000 lb. por rueda, en un período de 20 años.)

FIGURA 4.7

REDUCCION DE LA DEFLEXION EXISTENTE, PARA LA RECONSTRUCCION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

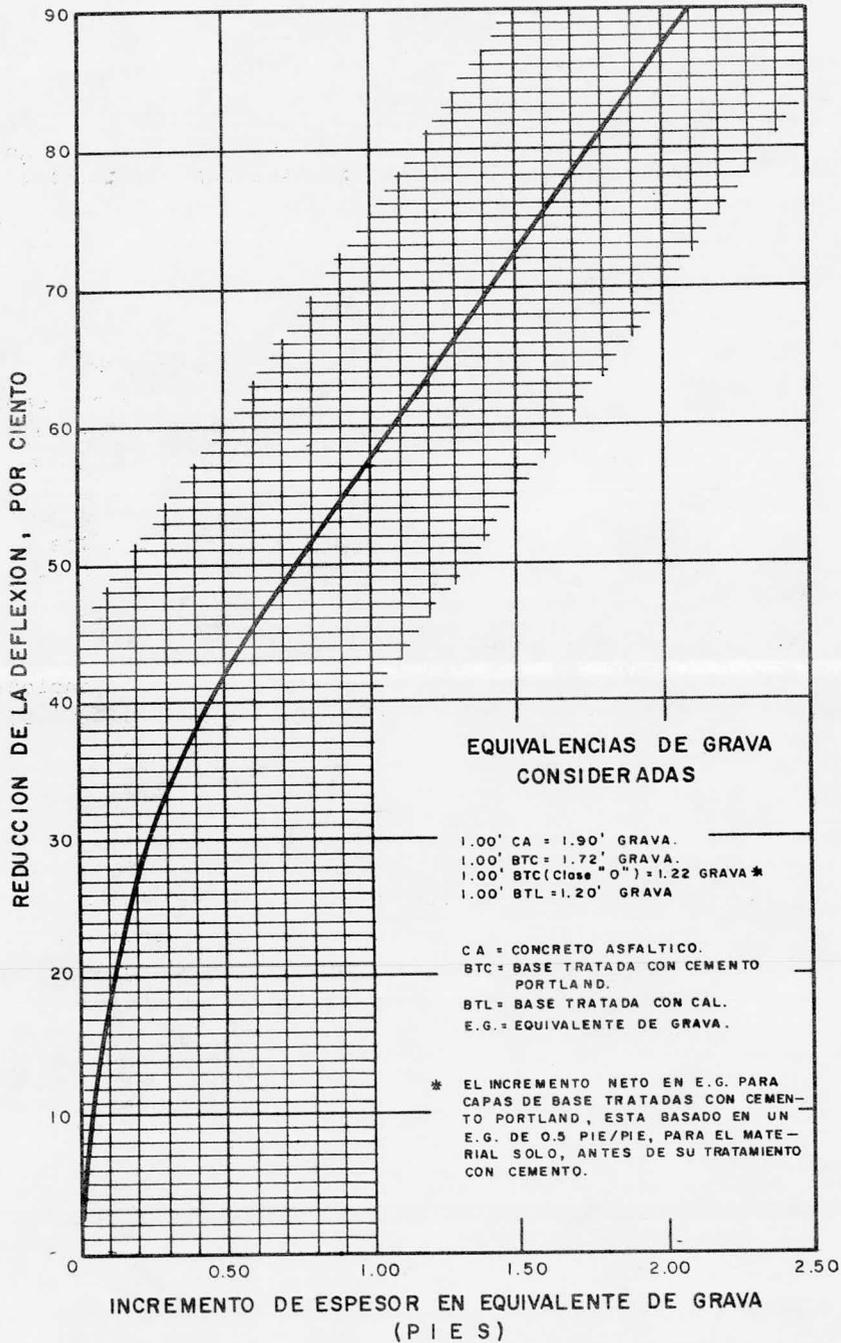


FIGURA 4.8

determina el espesor de refuerzo necesario, en términos de equivalencia de grava (E.G.).

4.- EJEMPLO.

Datos

Índice de Tránsito (I.T.) = 6.5

Sección estructural existente.

0.17 pies de concreto asfáltico (CA).

0.33 pies de base asfáltica (BA).

0.33 pies de sub-base asfáltica (SA).

Tramo de prueba.	Deflexión del 80	Apariencia :
	percentil (Pul.)	Grietas intermi-
I	0.057	tentes o conti-
		nuas de tipo "piel
		de cocodrilo".

Utilizando la figura 4.6, con 0.17 pies de (CA) y 6.5 de (I.T.), se encuentra una deflexión tolerable de 0.040 pulgadas que es menor que la existente. En virtud de que existen en la carpeta grietas intermitentes o continuas del tipo "piel de cocodrilo", puede considerarse que dicha capa trabajará en forma de cualquier nueva carpeta que se coloque, como si fuera una base hidráulica.

Suponiendo una capa delgada de 0.10 pies de (CA), de la figura 4.6 se encuentra que la deflexión tolerable es igual a 0.040 pulgadas.

La reducción necesaria de la deflexión es:

$$\frac{0.057 \text{ pulgadas} - 0.040 \text{ pulgadas}}{0.057 \text{ pulgadas}} (100) = 30\%$$

Utilizando a la figura 4.8, con una reducción de la deflexión de 30% se tiene que se requieren 0.25 pies de equivalente de grava. Debido a que 0.10 pies de CA = 0.19 de equivalente de grava, según los factores de equivalencia que aparecen en la misma figura, se hace un nuevo tanteo con 0.20 pies de (CA). De la figura 4.6, se obtiene que la deflexión tolerable en este caso, es de 0.035 pulgadas. La reducción necesaria de la deflexión será la siguiente:

$$\frac{0.057 \text{ pulgadas} - 0.035 \text{ pulgadas}}{0.057 \text{ pulgadas}} (100) = 39\%$$

Utilizando la figura 4.8, con una reducción de la deflexión de 39% se encuentra que se requieren 0.40 -- pies de equivalente de grava. Debido a que 0.20 pies de CA = 0.38 pies de equivalente de grava, se considera correcto el espesor supuesto a la capa, o sea: se recomendará una sobrecarpeta de 0.20 pies (6 cm) de -- concreto asfáltico.

**4.3. METODO PARA LA REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES --
EMPLEADO POR LA SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES,
EN BASE A LA PRUEBA PORTER MODIFICADA (PADRON).**

El método de cálculo de espesores para pavimentos flexibles más empleados en México es el de la Prueba Porter Modificada (Padrón). Este método que se describió en el primer capítulo, también se utiliza para la rehabilitación de pavimentos, solo que para esto se requiere hacer pruebas destructivas y pruebas de laboratorio las cuales se mencionaron en el tercer capítulo; esto con el fin de conocer las propiedades y la calidad de los materiales. Con los resultados obtenidos se tiene una clara idea -- -- de que materiales se pueden reutilizar y en que porcentaje, o si se deben desechar por no cumplir con las especificaciones. También se debe contar con estudios de tránsito en cuanto a su cantidad, composición y tasa de crecimiento.

De los datos obtenidos de los estudios mencionados en los párrafos anteriores, se parte para llevar a cabo el proyecto de la rehabilitación del camino en operación.

EJEMPLO:

Se tiene un tránsito diario promedio anual de 4,700 vehículos - en ambos sentidos, considerando un camino de dos carriles, con una distribución de vehículos como sigue:

Vehículos hasta 15 toneladas	55%
Autobuses	15%
Camión de (15 a 23 ton.)	15%
Camión c/remolque (35 a 55 ton).	15%

El período de diseño es $n = 20$ años y una tasa de crecimiento anual de 7% a 10 años.

De los resultados de las pruebas de Porter Modificada (Padrón) aplicadas a los materiales de cuerpo de terraplén y capa sobrante se tiene los siguientes valores.

$$\text{VRS}_{\text{CT}} = 4 \text{ y } \text{VRS}_{\text{CSR}} = 8$$

Con estos datos se procede al cálculo del nuevo espesor del pavimento.

$$\text{TDPA} = 4,700$$

$$\text{TD}_{\text{CD}} = 4,700 \times 60\% = 2,820$$

Período de diseño $n = 20$ años

Tasa de crecimiento $r' = 7\%$

El factor de proyección al futuro

$$C = 365, \frac{(1 + r')^n - 1}{r'}$$

Sustituyendo valores

$$C = 365 \frac{(1+0.07)^{20} - 1}{0.07} = 14,963$$

Se lleva a cabo el llenado de la tabla que se presenta a continuación.

NOTA: Los cálculos se realizan de la misma manera que en el ejemplo del capítulo 1.

1	2	3	4	5
Tipo de vehículos.	Distribución tránsito %	Distribución de tránsito (vehicular).	Coefficiente de equivalencia	Ejes sencillos equivalentes a 8.2 toneladas
Vehículos -- hasta 15 toneladas.	55	1,410	0.06	84.60
Autobuses	15	384.75	2.1	807.97
Camiones (15 a 23 toneladas).	15	384.75	2.1	807.97
Tractor S/re molque de 25 a 33 ton.			4.1	
Camión con - remolque de 33 a 55 ton.	15	384.75	6.4	2,462.4
Tractor C/re molque de 65 a 85 ton.			8.4	

Total : = 4,162.94

Condiciones actuales de la superficie de rodamiento:

XX

ACCEPTABLE	REGULAR	MALO
------------	---------	------

Características de las capas de : Carpeta, base y sub-base.

CARPETA (estado de las) deformaciones ligeras con grietas tipo piel de cocodrilo.

ESPESOR: 10 cm.

UTILIDAD 70%, 7 cm.

BASE:

ESPESOR: 15 cm, GC 95%, VRS 83%, CL 4.5%, VC 5.1 kg/cm²,

UTILIDAD 70%, 10 cm.

SUB-BASE:

ESPESOR: 33 cm, GC 93%, VRS 58%, CL 5.2%, VC 6.3, kg/cm²,

UTILIDAD 70%, 23 cm.

VRS de CT = 4

VRS de CRS = 8

Espesor de pavimento requerido (64 cm) - Espesor actual útil (40 cm) = 24 cm.

Espesor de base negra de refuerzo = 10 m. de base x 1.3 = 13

Carpeta de refuerzo de = 8 cm. x 2 = 16

NOTAS:

El factor de conversión al futuro, se multiplica por el valor obtenido de la suma de la columna 5 de la tabla anterior.

$$4,162.94 \times 14,963 = 62,290.000$$

El resultado anterior son los ejes estándar en la vida útil - del pavimento tomando los valores anteriormente dados de VRS.

$$\text{VRS}_{\text{CSR}} = 8 \text{ y } \text{VRS}_{\text{CT}} = 4$$

Utilizando la tabla 1.4 del capítulo 1 con $\text{VRS}_{\text{CT}} = 4$ y ----- 62,290.000 ejes estándar, de esta manera se obtiene el espesor sobre la capa considerada en centímetros, que en este caso nos da un valor de 86 cm.

Después utilizamos la misma tabla pero ahora con $\text{VRS}_{\text{CSR}} = 8$ y 62,290.000 de ejes estándar se obtiene el espesor del pavimento nuevo, que nos dá 64 cm.

Entonces se tiene:

$$\text{Espesor} = \text{capa subrasante} + \text{pavimento}$$

$$86 = \text{capa subrasante} + 64$$

$$\text{Capa subrasante} = 86 - 64 = 22 \text{ cm}$$

En este caso al realizar el proyecto original se consideró que la capa subrasante no debería tener un espesor menor de 30 cm, ahora confirmándolo con las pruebas de campo se sabe que dicha capa si cubre este requerimiento.

De los datos del proyecto original se obtiene el espesor del pavimento actual y de los resultados de las pruebas de laboratorio se obtiene el porcentaje y reutilización del mismo.

De esta manera conociendo el espesor requerido y el espesor -- actual útil se conoce el refuerzo necesario.

Para nuestro caso:

$$\begin{aligned} \text{Espesor requerido} &= 64 \text{ cm.} \\ \text{Espesor actual útil} &= \frac{40}{24} \text{ cm.} \end{aligned}$$

Se observa que se requiere de un refuerzo de 24 cm. Se propone una base con mezcla asfáltica (base negra) de 10 cm de espesor y una carpeta de concreto asfáltico de 8 cm. de espesor afectando estos valores por sus factores de equivalencia de la figura 1.2 del capítulo 1 se tiene.

$$D = a_1 d_1 + a_2 d_2 \dots$$

$$D = 10 (1.3) + 8 (2)$$

$$D = 13 + 16 = 29$$

$$D = 29 \text{ cm}$$

El espesor de refuerzo será de 29 cm.

Por lo que se tiene que la propuesta realizada es correcta.

CAPITULO 5.- SISTEMATIZACION EN LA CONSERVACION DE CAMINOS.

En la actualidad las necesidades de la red de carreteras han -
ido aumentando considerablemente debido al incremento constan-
te de tránsito y en sobremanera el de tipo pesado, ya que apro-
ximadamente el 80% de la producción tanto del campo como de --
las industrias se transporta por carretera, lo cual trae como
consecuencia esfuerzos mayores a los de diseño, debido a que -
más de la mitad de las carreteras actuales fué diseñada para
camiones cuyo peso era menor de 8 toneladas por eje.

A principio de la década de los setenta, se tomó como base de -
diseño la carga de 8.2 toneladas por eje incrementándose en ---
1980 la carga a 10 toneladas por eje.

Después de ver que se tienen problemas en el sentido ingenieril,
no podemos ser indiferentes ante la crisis por la que cruza el
país, ya que ésta afecta directamente los presupuestos. Si a -
esto aumentamos la inflación que produce incrementos en los --
costos de las obras de conservación, en resumen lo que se tiene
es un grave problema de carácter técnico y económico-administra-
tivo.

Debido a las razones anteriores, la única forma de encarar el -
problema es programando detalladamente la conservación y la re-
construcción o modernización de los caminos desde los puntos de
vista mencionados en el párrafo anterior.

Esto se puede lograr mediante una sistematización en la conser-
vación de caminos, en la cual se englobe el estado del camino
(aceptable, requiere conservación normal, reconstrucción, moder-
nización), recursos (humanos, económicos, materiales y equipo),
de que se puede disponer, además de la preocupación del Gobier-
no por fortalecer los planes a largo plazo eliminando obstácu--

los administrativos.

OBJETIVO DE LA CONSERVACION:

La conservación de una carretera se integra por una serie de -- operaciones que tienen por objeto mantener en buen estado toda la estructura que la compone en beneficio del usuario, para -- que al transitarla se sienta cómodo, seguro, que haga un viaje placentero, sin riesgos que sean propios de la carretera; así mismo para evitar que sea destruida, por el uso y por los agentes climatológicos.

La conservación de los caminos se divide en tres tipos:

- 1.- Conservación normal.
- 2.- Reconstrucción.
- 3.- Modernización.

1.- Conservación normal.- Tiene lugar desde la construcción del camino, es decir, se tienen que conservar todos los elementos que se van terminando por parte del contratista que --- construye el camino; después cuando lo termine totalmente, es entregado para su conservación a la Dirección General de Conservación de Obras Públicas, dependiente de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Cuando esto ocurre, -- las labores de conservación normal adquieren gran importancia, ya que tienen por objeto mantener el camino en buenas condiciones transitables y de seguridad para el usuario.

Las actividades de los trabajos de conservación normal son los siguientes:

- a). Trabajos para la superficie de rodamiento.- Bacheo, --

renivelaciones, tramos cortos fallados, relleno de -- grietas, riego asfáltico de protección, riego de sello sobre bacheo y renivelación, remoción de derrumbes, relleno de deslaves.

b). Trabajos de limpieza y obras diversas.- Limpieza de de recho de vía, limpieza de cunetas y contracunetas, limpieza de alcantarillas, limpieza de canales de entrada y salida, retiro de obstáculos laterales, reparación - de obras de drenaje, afinamiento y recarga de taludes.

c). Trabajos de señalamiento.- Sustitución y colocación de señales, reposición de fantasmas, reposición de postes de kilometraje, pintura de puentes, pintura de elementos de la sección transversal, pintura de raya central.

2.- Reconstrucción.- Cuando el camino ha estado en servicio durante varios años después de construido, años en los que -- han registrado incrementos en el número de vehículos y cargas cada vez mas pesadas, los deterioros que sufre el camino por esas causas impiden que los trabajos de conservación normal sean suficientes para mantenerlo en buenas condiciones, ya que los desperfectos aumentan considerablemente. Cuando esto sucede hay que decidir por una reconstrucción - ya sea parcial o total de aquellos tramos que lo ameriten.

3.- Modernización.- La modernización de una carretera es imperativa cuando las especificaciones de trazo horizontal y vertical, así como los espesores del pavimento, ya no son congruentes con las exigencias del tránsito de vehículos, tales como aumento de velocidades, incremento considerable del -- número de vehículos y aumento de cargas transportadas.

Cuando esas especificaciones resulten obsoletas, se requiere modificar los trazos vertical y horizontal y aumentar -- los espesores del pavimento. En ocasiones es indispensable aumentar el número de carriles de circulación en ambos sen tidos del camino antiguo, o bien construir otro camino pa-
ralelo.

Esto es a grandes rasgos, lo que se entiende por conservación normal, reconstrucción y modernización de las carreteras.

La sistematización que aquí se presenta se basa en los siguien-
tes pasos los cuales se consideran de gran importancia en la --
conservación de caminos.

- 1.- Inventario del camino.
- 2.- Evaluación del camino.
- 3.- Establecimiento de prioridades.
- 4.- Análisis de costos y presupuestos.
- 5.- Ejecución.

1.- Inventario del camino.- Para ello se debe contar con un pla-
no del o de los caminos a su cargo, donde se indiquen todos
los poblados y puntos de interés por donde pasa así como --
los datos de longitud del camino, número de curvas, longi--
tud de tangentes y, por diferencia, la longitud de curvas;
inventario de todas las obras de drenaje especificando tipo
y dimensiones; inventario de puentes especificando tipo, di
mensiones y nombre; longitud del terraplén, longitud de cor-
tes, longitud de tramos en balcón, longitud de cunetas y --
contracunetas; descripción topográfica por donde pasa el ca
mino (montaña, lomerío fuerte, lomerío suave, plano), así -
como tener conocimiento de la ubicación, descripción, capa-

cidad y procesamiento de bancos de materiales, ubicación y capacidad de fosas de asfalto, especificando productos asfálticos; ubicación y nombre de campamentos de sobrestantes y cuadrillas.

- 2.- Evaluación del camino.- Para llevar a cabo la evaluación, - en primer lugar se debe estandarizar el método de evaluación y no cometer el error de evaluar con distintos métodos uno o varios caminos, ya que confundiría al ingeniero proyectista la variedad de los resultados obtenidos.

Si se logra estandarizar el método de evaluación sería un gran avance, ya que a nivel nacional se hablaría en los mismos términos en cuanto a los resultados y se podría programar en forma más óptima la conservación de los caminos.

Entonces se tiene que para llevar a cabo la evaluación se debe estandarizar el método, tipo, procedimiento, registro y análisis de los resultados obtenidos.

Con los resultados de la evaluación, el residente podrá conocer el volumen total de obra necesaria para la conservación.

- 3.- Establecimiento de prioridades.- En base a los resultados de la evaluación, el residente procederá a programar la conservación del camino, dando prioridades las cuales pueden ser por ejemplo la urgente necesidad de reconstruir un tramo del camino cercano a una población de importancia, moderar el entronque con una autopista, dar conservación normal en un cruce con otro camino, etc., considerando que algunas de las actividades pueden ser ejecutadas mejor y más

convenientemente en ciertas épocas del año que en otras.

- 4.- Análisis de costos y presupuestos.- Se harán los estudios - en cuanto a recursos disponibles (humanos, materiales y --- equipo) para definir los costos. Los estudios a realizar -- son: de rendimiento hora-hombre, de rendimiento horá-máquina y si se requiere se harán de acarreos y compra de mate-- riales.

Las cantidades totales de volumen de obra debido al estudio de las necesidades establecidas por la evaluación y los recursos disponibles se convierten en el presupuesto requerido para llevar a cabo la conservación.

- 5.- Ejecución.- Para llevar a cabo la ejecución es conveniente que el residente formule un plan de trabajo quincenal en - base a las prioridades de los trabajos por ejecutar, el -- cual debe entregar al sobrestante para que cuando sus cua-- drillas de trabajadores lleguen al tramo por darle conser-- vación estén enterados exactamente de lo que se tiene que hacer; y dicho programa a él le servirá para llevar un efec-- tivo control del avance de su obra.

Las ventajas que presenta esta sistematización son las siguientes:

- a). Contar con un inventario completo y detallado del camino o los caminos que se tengan a cargo. De ésta manera se cono-- cen los problemas del camino en su totalidad y con ello --- permite atacar con toda oportunidad los problemas que se -- presenten y definir los trabajos necesarios para prevenir - mayores daños.

- b). Se conocen oportunamente los recursos disponibles para cubrir los necesarios.
- c). El residente general, residente y sobrestante, sabrán en -- forma escalonada, el lugar o tramo donde se encuentra su -- personal y maquinaria.
- d). Se anula totalmente el viejo sistema de los residentes de - inventar chambas a sus subalternos.
- e). Se reduce el programa de las reconstrucciones prematuras -- por falta de atención oportuna de los trabajadores de con--servación normal.
- f). Se obtienen datos e información muy valiosa sobre rendimiento de personal y equipo así como consumos de materiales, herramientas, combustibles, etc. los cuales servirán como base para revisar y ajustar los parámetros de rendimiento y - así estar en posibilidad de mejorar la eficiencia y la productibilidad de las cuadrillas a medida que los parámetros de rendimiento se perfeccionan.
- g). Se recibirá información que nos permita observar que trabajos se repiten en forma constante o periódica, o sea que - tramos tienen alta conservación normal y con ello estudiar las causas para darle solución aplicando otro tipo de ac--ciones.

Para que la sistematización que se propone en este trabajo tenga efectividad, se requiere de la implantación de acciones técnico-administrativas de los responsables de diferentes niveles de mando. A continuación se mencionan algunas de las principales.

La Dirección General de Conservación debe:

- a). Definir y establecer objetivos y políticas a seguirse para la elaboración de planes y programas. Estos objetivos pueden referirse a niveles de servicios deseados y las políticas se refieren a la limitación de recursos, planes nacionales de desarrollo, los cuales determinan prioridades.
- b). Proporcionar los recursos presupuestales asignados a las residencias generales suficientes y oportunamente para la ejecución de la obra autorizada.
- c). Supervisar y evaluar la ejecución global de los trabajos realizados con relación a los objetivos establecidos para la conservación.
- d). Elaborar y llevar a cabo programas de capacitación para suministrar o actualizar al personal de los conocimientos necesarios para la ejecución de los trabajos que se les encomienden, así como fomentar investigaciones sobre nuevas técnicas de trabajos que se lleven a cabo dentro y fuera del país e implantar aquellas que resulten más productivas.

La Dirección de Programación y Evaluación debe:

- a). Establecer procedimientos administrativos o metodologías para orientar a los centros de trabajo en la formulación de elaboración de informes, evaluación de avances físicos y financieros de los trabajos.

La Dirección de Obras debe:

- a). Establecer y verificar que las obras se lleven a cabo de -

acuerdo a las normas y procedimientos de conservación de carreteras.

- b). Diseñar y establecer métodos de trabajo indicando recursos (humanos, equipo o maquinaria y materiales) que deben aplicarse en la ejecución de un concepto de obra.
- c). Verificar el cumplimiento de los programas de suministro de productos asfálticos y de los materiales utilizados en el señalamiento a fin de satisfacer los requerimientos de los centros de trabajo.

La Dirección de Maquinaria debe:

- a). Suministrar oportunamente los bienes y servicios necesarios para mantener el equipo o maquinaria en operación con el fin de que se cumplan los programas de conservación.
- b). Formular y llevar a cabo sistemas de control para el suministro y consumo de combustible, determinar la productividad del equipo o maquinaria trabajada, inactiva, en reparación, o kilometrajes recorridos, etc. y con estos obtener factores de utilización más actualizados, ya que estos influyen en los costos y por consecuencia en los presupuestos.

La Residencia General debe:

- a). Dirigir la preparación y presentación del programa de conservación en cuanto a prioridades así como el presupuesto para cada una de las residencias de obra a su cargo.

- b). Inspeccionar los tramos de carretera para asegurar si las - especificaciones se cumplen, así como el programa de conservación aprobado, de lo contrario debe adoptar medidas co-- rrectivas.
- c). Coordinarse con el superintendente del parque de maquinaria para priorizar y programar la reparación del equipo o maquinaria con el fin de que las residencias de obra tengan el equipo adecuado para la realización de los trabajos.
- d). Coordinarse con las autoridades administrativas para que - las partidas presupuestales asignadas a los residentes de obra sean suficientes y oportunas para la realización de los trabajos según el plan de la conservación.

El Residente debe:

- a). Efectuar el levantamiento del inventario de necesidades, - calcular sus recursos necesarios y los recursos disponibles para realizar los trabajos, priorizar las actividades y conceptos de obra y definir el plan de trabajo o volumen de - obra por ejecutar según los objetivos o políticas que se -- ordenen.
- b). Efectuar estudios para obtener rendimientos de personal y - maquinaria, factores de salario real, costos horarios de su maquinaria, costos de materiales y herramientas.
- c). Formular el programa de conservación o calendario de obras y aplicar los costos unitarios a las cantidades tolerables de obra para obtener el presupuesto de la residencia.

- d). Preparar programas quincenales de trabajo basados en el calendaro de obras.
- e). Inspeccionar los trabajos en cuanto a calidad.
- f). Rendir informes a la residencia general y/o a los superiores que lo soliciten de los avances físicos y financieros o de cualquier situación anormal o de emergencia que interfiera con la realización de los programas autorizados.

C O N C L U S I O N E S

En la actualidad, las técnicas para la evaluación son muy varias en cuanto a equipo y metodología. Dependiendo de los recursos y objetivos, la evaluación puede realizarse con equipo muy sofisticado y costoso, o bien con equipo más simplificado y de menor precisión. Aclarando que no necesariamente el equipo más sofisticado es el más conveniente.

La adquisición de los equipos de evaluación tendrá que analizarse de manera amplia, considerando sus costos de adquisición, -- operación, conservación, así como sus ventajas en cuanto a precisión, rapidez de operación y tipo de registro de datos.

Para un intercambio adecuado de información a nivel nacional, - es conveniente estandarizar los equipos y procedimientos de evaluación empleados actualmente, así como contar con técnicas adecuadas de calibración, que garanticen la finalidad de los datos registrados.

Aunado a lo anterior, los técnicos especializados recomiendan - complementar las pruebas que se realicen, con pruebas destructivas en algunos lugares de cada tramo a fin de conocer la estructuración del pavimento y determinar sus características por medio de pruebas de laboratorio.

Es necesario que la información obtenida de las evaluaciones se analice y condense en archivos de fácil manejo y se dirija a un banco central de información, en el cual se tendrán todas las - evaluaciones que se han realizado al camino y así tener un historial del mismo.

En el banco de información se debe contar con toda la informa-

ción de la red. Con la información condensada y ordenada se puede decidir la prioridad, estrategia o criterios en cuanto a trabajos de conservación normal, reconstrucción y/o modernización que se realizarán al camino bajo la supervisión de los técnicos especialistas conocedores de las herramientas de análisis y de los problemas de campo.

B I B L I O G R A F I A

FERNANDO OLIVERA BUSTAMANTE
TECNOLOGIA PARA EL PROYECTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (Porter Mo-
dificada Padrón).
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"
México, 1982

CENTRO DE ACTUALIZACION PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL.
PROYECTO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARTE I.
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.
México, 1984

CENTRO DE ACTUALIZACION PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL.
PROYECTO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARTE II.
ESCUELA SUPERIOR DE INGENEIRIA Y ARQUITECTURA.
México, 1984

RAUL JIMENEZ GONZALEZ
ALGUNAS NOTAS SOBRE CONSTRUCCION DE CARRETERAS
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE ZACATECAS
ESCUELA DE INGENIERIA.

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
DIRECCION GENERAL DE CONSERVACION DE OBRAS PUBLICAS
CATALOGO DE FALLAS DE PAVIMENTOS.
México, 1984

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
NORMAS PARA CONSTRUCCION E INSTALACIONES DE PAVIMENTOS LIBRO 3.
México, 1983

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
NORMAS PARA CONSTRUCCION E INSTALACION TERRACERIAS LIBRO 2.
México, 1983

SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS
INSTRUCTIVO PARA LA REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y -
RIGIDOS DE CARRETERAS.
México, 1974

HEWES AND OGLESBY
INGENIERIA DE CARRETERAS (Highway Engeneering)
México, 1972

SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS
MANUAL DE PROYECTO GEOMETRICO
México.

DOMINGO SANCHEZ ROSADO (S.O.P.)
METODO PARA LA RECONSTRUCCION
México.

SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS
INSTRUCTIVO PARA LA CLASIFICACION DE TRAMOS
México, 1969

MIGUEL ANGEL ORTEGA MONTIEL
METODOLOGIA PARA PROGRAMAR LAS ACTIVIDADES DE CONSERVACION DE
UN CAMINO.
México, 1983.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA,
FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNAM,
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS I
México, 1984

APUNTES IMPARTIDOS POR EL PROFESOR:
FERNANDO OLIVERA BUSTAMENTE.