



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGON**

**CONSERVACION Y RECONSTRUCCION  
DE CARRETERAS  
CON PAVIMENTO FLEXIBLE**

**TESIS PROFESIONAL**

Que para obtener el título de  
**INGENIERO CIVIL**

**P r e s e n t a**

**RUBEN FRIAS ALDARACA**

**MEXICO, D. F.**

**1982**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
 ARAGÓN

C94 39

Sist 29453

CONSERVACION Y RECONSTRUCCION  
 DE CARRETERAS  
 CON PAVIMENTO FLEXIBLE

TESIS PROFESIONAL  
 para obtener el título de  
 INGENIERO CIVIL  
 por  
 RUBEN ERAS ALDARAGA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCIÓN

Sr. RUBEN FRIAS ALDARACA  
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 1<sup>o</sup> de agosto del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor Ing. GABRIEL GARCIA ALTAMIRANO pueda dirigirle el trabajo de Tesis de nominado " CONSERVACION Y RECONSTRUCCION DE CARRERAS CON PAVIMENTO FLEXIBLE ", 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.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para reiterar a usted las bondades de mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
San Juan de Aragón, Edo. de Méx., agosto 15 de 1980.  
EL DIRECTOR



LIC. SERGIO ROSAS ROMERO

c.c.p. Coordinación de Ingeniería  
Unidad Académica  
Departamento de Servicios Escolares.

SRR 'JRTD'lla.

Al recuerdo de mi  
padre.

A mi madre, por todos sus  
esfuerzos y con mi eterno  
agradecimiento.

A Vicky.

A mis hermanas.

Un agradecimiento muy especial a todas las personas que hicieron posible la culminación de esta tesis y en particular al Ing. Gabriel García Altamirano por su ayuda y paciencia en la dirección de la misma.



	Pág.
1.2.9.3 Conservación de pavimentos flexibles	43
1.2.9.4 Reconstrucción o rehabilitación de carreteras con pavimento flexible	44
1.2.9.5 Modernización de carreteras con pavimento flexible	44
 II. FACTORES QUE SE DEBEN TOMAR EN CUENTA PARA LA CONSERVACION, LA RECONSTRUCCION O MODERNIZACION. 76	 46
APENDICE 2.1 Análisis y capacidad de servicio	56
 III. EVALUACION DE LA RED CARRETERA	 70
3.1 Evaluación	70
3.2 Métodos usados para realizar una evaluación	72
3.2.1 Tipos y causas de falla	72
3.2.1.1 Falla de piel de cocodrilo (o de mapa)	73
3.2.1.2 Falla de consolidación	73
3.2.1.3 Falla por cortante	73
3.2.1.4 Falla longitudinal	74
3.2.1.5 Falta de adherencia	74
3.2.1.6 Grietas reflejadas	74
3.2.1.7 Grietas de contracción	75
3.2.1.8 Fallas transversales	75
3.2.1.9 Depresiones en la superficie de rodamiento	75

	Pág.
3.2.1.10 Desintegración de las carpetas	76
3.2.1.11 Pavimento resbaloso	76
3.2.1.12 Fallas por consolidación o movimientos del terreno de cimentación	76
3.2.1.13 Fallas por condiciones - adversas del agua y el - nivel freático	77
3.2.2 Métodos para valorar el estado - de la superficie del pavimento	77
3.2.2.1 Índice de servicio actual	80
3.2.2.2 Calificación actual	84
3.2.2.3 Evaluación de seguridad - de la superficie del pavim <u>i</u> mento	87
3.2.3 Evaluación de la estructura de un pavimento	89
 IV. REVISION DEL ESTADO DEL ARTE SOBRE CONSERVACION Y RECONSTRUCCION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	 96
4.1 Determinación de las necesidades de la es- trutura existente	98
4.1.1 Diseño de estructuras nuevas	99
4.1.1.1 Método del Instituto de Inge- nería de la U.N.A.M.	100
4.1.1.2 Método del Instituto de Asfaltos de Norteamérica	110
4.1.1.3 Tecnología Porter modificada	116

	Pág.
4.1.2 Diseño de refuerzos o modificaciones	120
4.1.2.1 Métodos basados en pruebas - destruictivas	121
4.1.2.2 Método del Instituto de As-- fáltos de Norteamérica	122
4.1.2.3 Método de la División de Ca-- rreteras del Estado de Cali-- fornia, E.U.A.	129
4.2 Procedimientos de conservación y repara--- ción de pavimentos flexibles de carreteras	139
4.2.1 Conservación de pavimentos flexibles de carreteras.	140
4.2.1.1 Conservación preventiva	140
4.2.1.2 Conservación correctiva	143
4.2.2 Reconstrucción de pavimentos flexi-- bles de carreteras	147
4.2.2.1 Construcción de sobrecarpetas	148
4.2.2.2 Reconstrucción de carpetas	149
4.2.2.3 Reconstrucción de la estructu-- <u>ra</u> de un pavimento flexible	153
4.2.2.4 Modernización de carreteras - con pavimento flexible	154
 V. ESTABLECIMIENTO DE UN MODELO PARA LA CONSERVA-- CION Y RECONSTRUCCION DE UNA CARRETERA	 156
5.1 Proposición del modelo	158
5.2 Forma de registro de datos propuesta	162

	Pág.
VI. APLICACION A UN EJEMPLO REAL	164
6.1 Generalidades	165
6.1.1 Antecedentes	165
6.1.2 Localización del tramo	166
6.2 Características de la zona donde se -- aloja el tramo	166
6.2.1 Topografía	166
6.2.2 Geología	166
6.2.3 Clima	167
6.3 Estado actual de la superficie de <u>roda</u> miento	167
6.3.1 Deflexiones con viga Benkelman	169
6.3.1.1 Determinación de la deflexión característica para cada tra- mo	170
6.3.2 Calidad y espesores de la estructura actual	171
6.3.3 Drenaje y sub-drenaje	173
6.4 Evaluación del tránsito	174
6.4.1 Cálculo de la capacidad, volumen y nivel de servicio.	176
6.5 Proyecto de la sección estructural	186
6.5.1 Determinación del espesor de refuerzo por medio del análisis de deflexiones	187
6.5.2 Diseño de la estructura en función de la resistencia de las capas que la <u>in</u> tegran	193

	Pág.
6.5.2.1 Método del Instituto de Inge nería de la U.N.A.M.	193
6.5.2.2 Método del Instituto de As-- faltos de Norteamérica	207
6.5.2.3 Tecnología Porter modificada	212
6.6 Selección de los bancos de material	219
6.7 Procedimientos generales de construcción	220
6.8 Drenaje y sub-drenaje	224
6.9 Normas de calidad	224
6.9.1 Normas de calidad de los materiales	225
6.9.2 Normas de calidad de los trabajos	226
6.9.3 Normas de calidad complementarias	227

## I. ANTECEDENTES

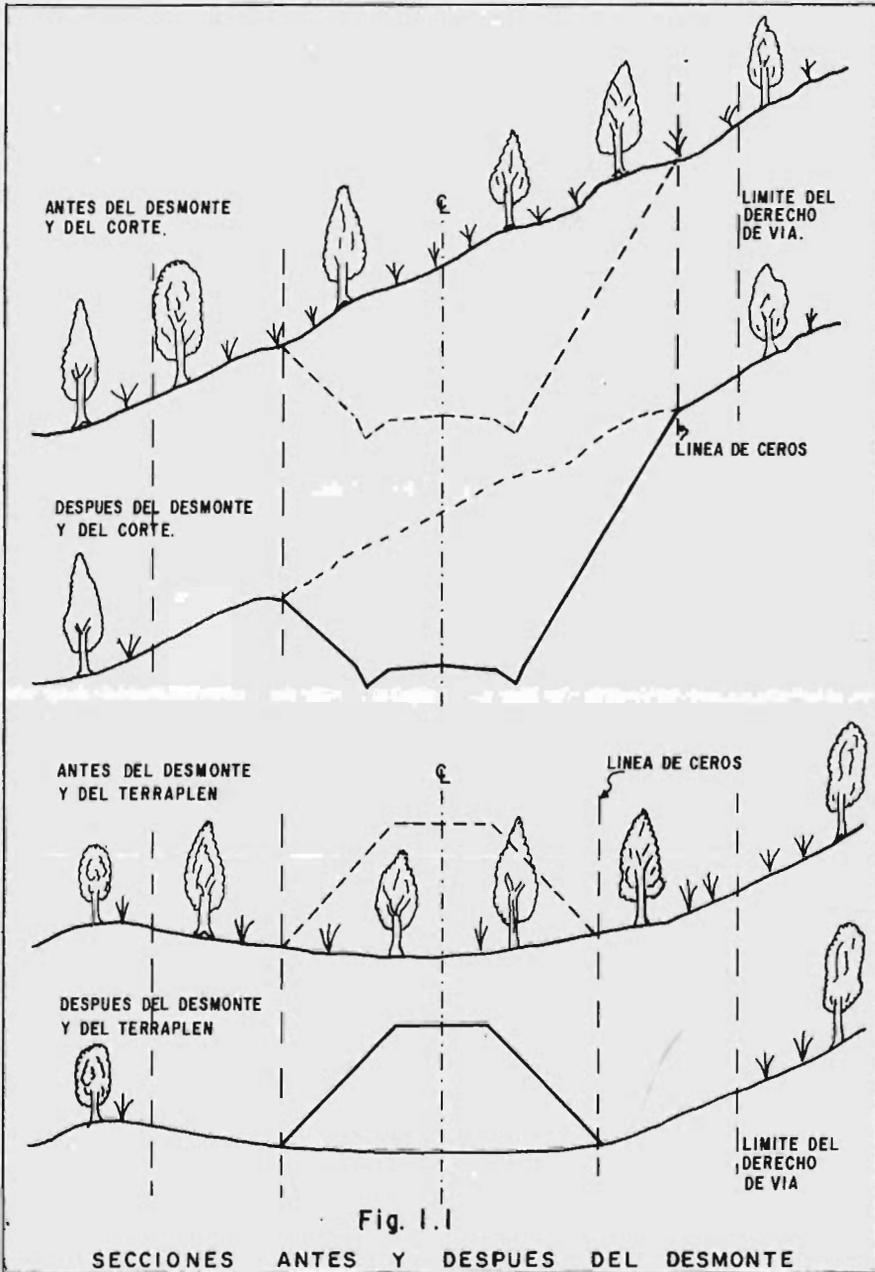
### 1.1 HISTORIA DE LOS PAVIMENTOS EN MEXICO

Paralelamente al desarrollo del país, ha crecido la necesidad de comunicar a los centros de población con el fin de mejorar la infraestructura del mismo. Esto se ha logrado mediante diferentes medios de comunicación, como son el radio y la televisión, pero también hay la necesidad de transportar personas, alimentos, artesanías, combustibles, etc., de un centro de población o comunidad a otra. La forma de hacer esto es por aire, agua y tierra mediante el uso del avión, el barco, el ferrocarril y el autobús (automóvil o camión).

Cada uno de estos transportes necesita un medio en el cual ha de desplazarse, en este trabajo nos enfocaremos solo al transporte terrestre, específicamente al que necesita de caminos no enriellados, o sea, las carreteras.

Una carretera es una faja de terreno que tiene que soportar el paso de varios tipos de vehículos rodantes. Esta faja no es solo el lugar que ocupan los vehículos para pasar, sino que abarca a lo ancho de una sección, franjas laterales adicionales llamadas derecho de vía, que durante la construcción o ampliación de la carretera tienen que ser sometidas a una operación, a ésta se le llama desmonte (consiste de tala, deshierbe, desentraice y limpia). Con esto se facilita la construcción o ampliación de la carretera y se evitan daños a la misma, además se obtiene una buena visibilidad.

La figura 1.1 ilustra unas secciones antes y después -- del desmonte. La franja antes mencionada, para poder so



portar el paso de los vehículos y proporcionar un desplazamiento cómodo y seguro, tiene que acondicionarse, - es decir, la franja del suelo tiene que mejorarse, añadiéndole capas de material con cierta calidad, sea para darle mayor resistencia, para alcanzar un nivel de proyecto dado y/o' para proporcionar una superficie de rodamiento apropiada, esas capas son las terracerías y/o' el pavimento. Además el camino deberá contar con obras complementarias de drenaje superficial y subdrenaje, que son muy importantes en cuanto al funcionamiento futuro del pavimento, ya que el exceso de agua en un camino reduce sus características de resistencia y su estabilidad y como consecuencia, su funcionalidad y seguridad. - Tal es el caso de una estructura construída sobre materiales plásticos sensibles a la presencia del agua o un talud en el que su ladera tenga "lloraderos" o filtraciones de agua que van a llegar a afectar la estabilidad del talud.

En un principio los caminos eran solo brechas por las que circulaban vehículos de tracción animal o solo bestias. Al aparecer los vehículos de combustión interna - hubo la necesidad de buscarles un medio de desplazamiento adecuado, este medio eran los caminos, pero éstos -- eran solo una conformación del terreno que, en épocas de lluvias, tenía problemas para que los vehículos transitaran sobre ella, además de que en época de secas los vehículos levantaban mucho y molesto polvo a su paso, - los tiempos de recorrido eran largos y había que estar reparando el camino continuamente.

Para agudizar el problema, los vehículos que circulaban por estos caminos crecieron en número y en peso.

Era necesario acondicionar estos caminos para que sopor

taran el tránsito y que el paso por ellos fuera además cómodo y rápido.

Los primeros intentos que se hicieron consistían en dar al camino un riego de material asfáltico que solo funcionaba como matapolvo, pero el camino era malo y continuamente había que repararlo. Hubo necesidad entonces de investigar y crear técnicas para construir y conservar a estos caminos.

Se llega entonces a los primeros pavimentos o capas superficiales construídos con material de dudosa calidad que proporcionaban tránsitos un poco mejores.

En 1925 da principio la construcción de nuestra red de caminos.

Para 1930 la red de caminos en México era la mostrada en la Fig. 1.2. Es en 1940 cuando México se inicia en la investigación de pavimentos, dándole mayor importancia a los elementos que se consideraban fundamentales en los pavimentos flexibles: los ligantes y el pétreo.

Existían en ese momento 10,000 Km. de caminos, transitables en toda época, de los cuales sólo 5,000 estaban pavimentados. (Ver Fig. 1.3)

En lo que se refiere a bases y carpetas se tenía un sistema rutinario de pruebas y se trataba de cuidar que -- cumplieran con ciertas condiciones de calidad y resistencia, aunque no siempre se lograba. Es hasta la década de los 50's cuando se comienza a usar el control de calidad de los pavimentos.

Con el material asfáltico casi no hubo problemas, en lo que respecta a su obtención.

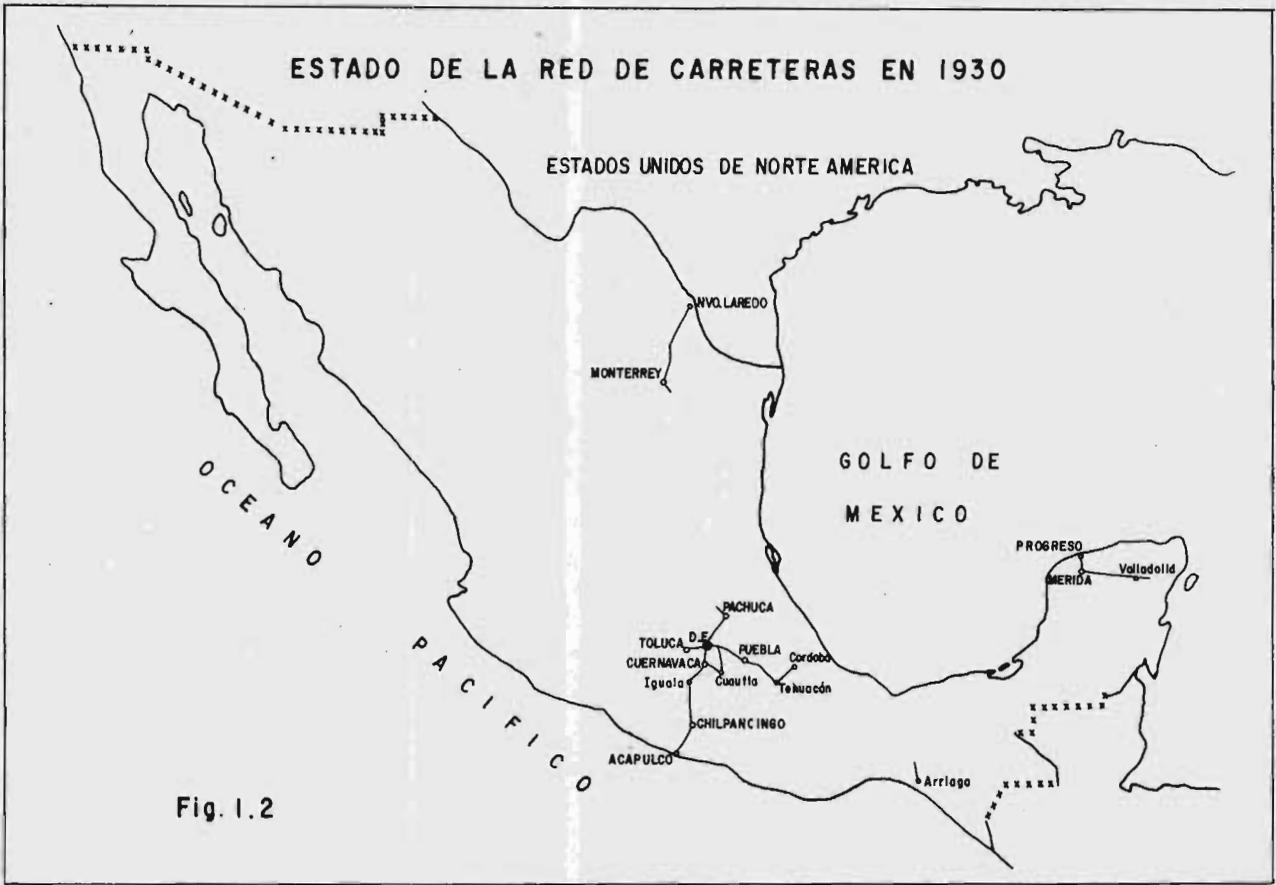


Fig. 1.2

# ESTADO DE LA RED DE CARRETERAS EN 1940

- 1.- DISTRITO FEDERAL
- 2.- TOLUCA
- 3.- CUERNAVACA
- 4.- CUAUTLA
- 5.- PUEBLA
- 6.- TLAXCALA
- 7.- TEHUACAN
- 8.- CORDOBA
- 9.- VERACRUZ
- 10.- JALAPA
- 11.- NAUTLA
- 12.- PACHUCA
- 13.- SAN JUAN DEL RIO
- 14.- QUERETARO
- 15.- GUANAJUATO
- 16.- CD. VALLES
- 17.- CD. MANTE
- 18.- HUIZACHE
- 19.- SAN LUIS POTOSI
- 20.- AGUASCALIENTES
- 21.- LAGOS DE MORENO
- 22.- ZAMORA
- 23.- GUADALAJARA
- 24.- MORELIA
- 25.- CHILPANCIINGO

Fig. 1.3



Si se hace un análisis detallado del número y tipo de caminos y el número y tipo de vehículos que circulan por aquellos, se hace evidente el desproporcionado aumento en el número y peso de los tipos de vehículos contra la longitud y el tipo de caminos que se contruyen, por ejemplo, la carretera México-Toluca tenía, en el año de 1960 un tránsito promedio diario anual (T.P.D.A.) de 3,867 -- vehículos, con una composición de 55% de automóviles -- (A), 17% de autobuses (B) y 28% de camiones (C).

La carretera tenía 4 carriles de circulación, dos en cada sentido, mismos que a la fecha conserva.

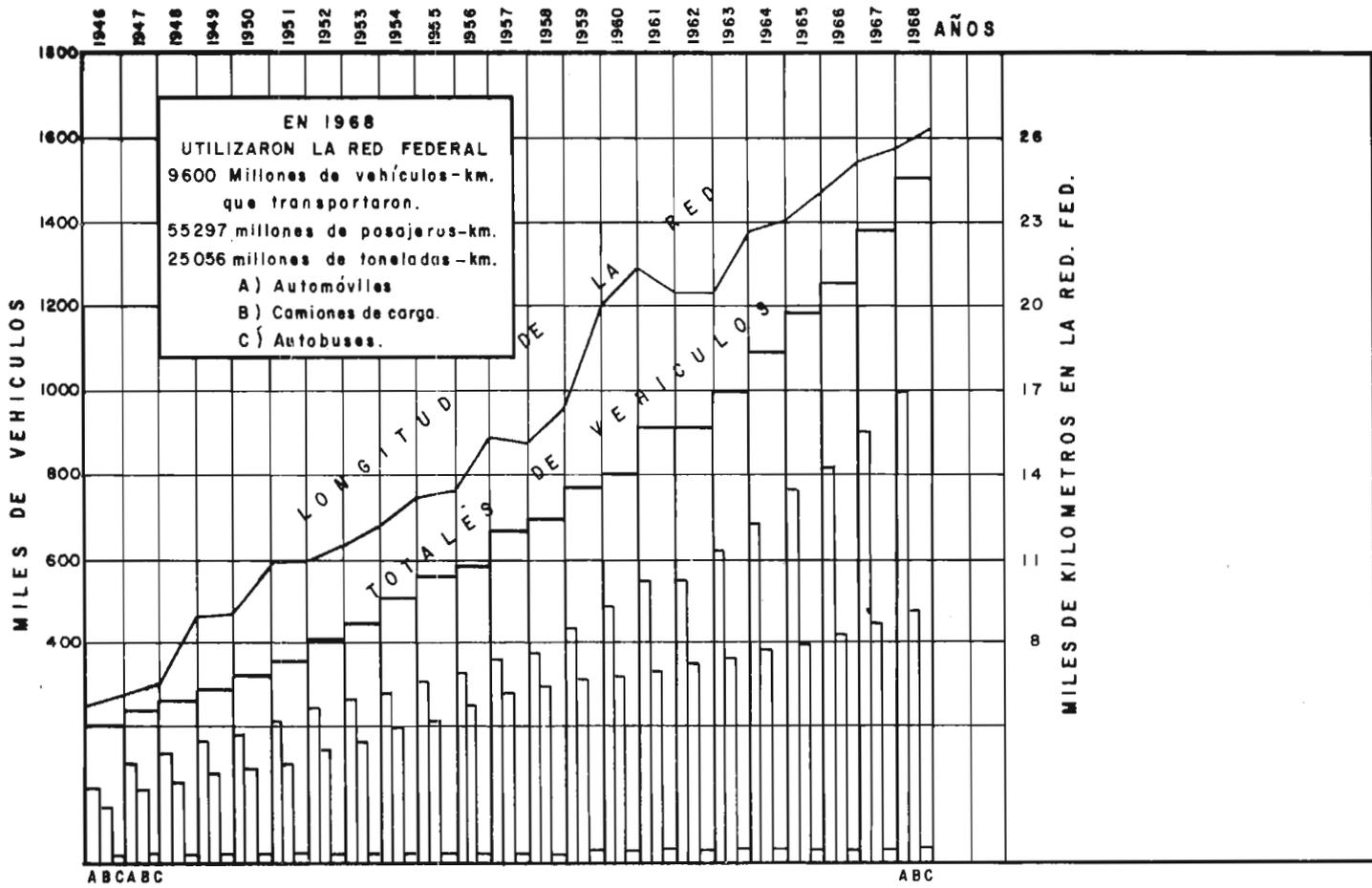
En la actualidad (1981) la carretera da paso, tan solo en el tramo de la desviación al Desierto de los Leones a la desviación a Amomolulco, a un volumen de 21,000 vehículos diarios (En el tramo de México al Desierto de los Leones el tránsito es mucho mayor) y la carretera tiene el mismo número y ancho de carriles que en 1960.

En la gráfica de la fig. 1.4 se puede apreciar una relación entre el crecimiento de la red carretera y el crecimiento del volumen de vehículos.

Los volúmenes de tránsito de proyecto, según el Manual de Proyecto Geométrico de la SOP (1974), son los de la Tabla 1.1 siguiente:

<u>TIPO DE CAMINO</u>	<u>VEHICULOS POR DIA</u>
Autopistas	Más de 3,000
Federales	1,500 a 3,000
Estatales (Cooperación Bipartita)	500 a 1,500
Vecinales (Cooperación Tripartita)	200 a 500
Rurales de acceso	Hasta 50

T A B L A 1.1



VEHICULOS EN EL PAIS Y VOLUMENES DE TRANSITO EN LA RED FEDERAL

Fig. 1.4

Las especificaciones de caminos hasta 1970 y en forma general, eran las anotadas en la tabla 1.2, a continuación:

Características	Unidad	TIPO A. 1500 a 3000 V/D		TIPO B. 500 a 1500 V/D		TIPO C. hasta 500 V/D	
		Terreno:		Terreno:		Terreno:	
		Plano	Montañoso.	Plano	Montañoso	Plano	Montañoso
Vel. del proyecto.	Km/H	1000	60	80	50	70	35
Ancho	m.	9.0	8.0	8.0	7.0	7.0	6.0
Grado máximo de curvatura.	°	8	26	11	35	16.5	67
Pendiente máxima	%	4.0	6.0	4.5	6.5	5.0	8.0

\* V/D: Vehículos por día

T A B L A 1.2

Se hace entonces urgente la necesidad de mejorar y adecuar los caminos a los tránsitos actuales, para proporcionar servicio en forma segura, eficiente y cómoda con costos de operación realmente reducidos.

Es necesario también dar a los caminos una conservación adecuada para así alargar su vida útil y abatir costos al usuario, al reducir tiempos de recorrido y mejorar la superficie de rodamiento.

Realizando los trabajos de conservación y mejoramiento de los pavimentos a tiempo, se reduce el costo de modernización que en el futuro se le tendrá que hacer.

En la actualidad, se hace evidente que en nuestro país, hace falta una red moderna de carreteras, puesto que -- las actuales (algunas con vida de más de 40 años, como es la Carretera Federal México-Puebla), se hicieron en su época para los automóviles y no para transporte pesado.

Para efectuar esta modernización son necesarias nuevas-técnicas para llevar a cabo proyectos y sistemas acor-- des con las realidades del tránsito actual, el cual --- siempre va creciendo; muestra de esto es que la carga - máxima por eje sencillo se autorizó aumentara de 8.2 -- Ton a 10 Ton., según el Diario Oficial de fecha 28 de - Noviembre de 1980.

Por otro lado, hay que tomar en cuenta que por los - -- aproximadamente 70,000 Km. de carreteras pavimentadas - circula el 83.7% de la carga y el 97.7% del pasaje que- en total se transporta dentro del país.

Volviendo a la historia de los pavimentos en México, se tiene que fué la Comisión Nacional de Caminos y después la hoy extinta Secretaría de Obras Públicas (S.O.P.) -- las que dieron los primeros pasos importantes, que cul- minaron al crear la Dirección General de Proyectos y -- Laboratorios en el año de 1953, y luego publicar las Es- pecificaciones Generales de Construcción, en 1957. Es a fines de esta década cuando se llevan a cabo un control de calidad más riguroso y una supervisión más efectiva- en las obras.

En los años sesentas, en México se empleaban las técni- cas de diseño de pavimentos de la Prueba SOP 108-13 cu- ya gráfica es la de la figura 1.5, no obstante, en 1964, cuando el Instituto de Ingeniería de la UNAM inicia sus

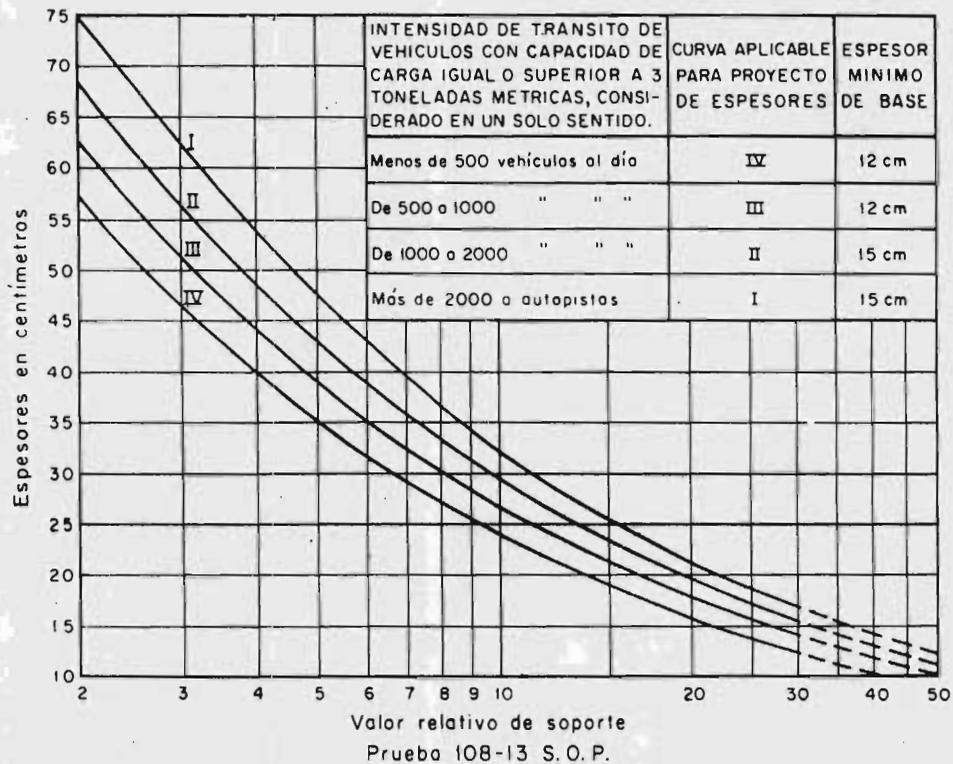


Fig 1.5 Curvas para calcular el espesor mínimo de sub-base más base, en pavimentos flexibles para caminos en función del V.R.S. de la sub-rasante

pruebas en pistas experimentales y elabora gráficas de diseño de espesores de pavimento realistas, se demuestra que las usadas hasta entonces por la extinta Secretaría de Obras Públicas resultaban ya inadecuadas.

Ambas gráficas (las de la S.O.P y las del Instituto de Ingeniería de la UNAM) relacionan el tránsito, la resistencia del suelo (valor relativo soporte) y los espesores del pavimento.

Hoy día existe un instructivo para el diseño estructural de pavimentos flexibles para carreteras que toma en cuenta las cargas y tránsitos actuales (Elaborado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM y patrocinado por la SAHOP).

En lo que se refiere a conservación, antiguamente en México, el mismo personal y equipo que construía una carretera se encargaba de conservarla y es hasta 1930 --- (cuando existían ya cerca de 1,500 Km. de carreteras), cuando se decide crear una dependencia que se enfocara y trabajara exclusivamente en la conservación.

No obstante, la red carretera ha sufrido fuertes deterioros durante las diferentes épocas transcurridas y es to no se debe totalmente a que los caminos no se conserven adecuadamente, sino a las siguientes razones:

- a) La edad de las secciones estructurales de esos caminos es avanzada, en algunos casos es de más de 40 -- años e implica que los métodos con que se diseñaron y construyeron no sean ya adecuados, y a que ya sobrepasaron la vida útil de la estructura, requiriéndose reforzarlas y/o modernizarlas.

- b) El tránsito se ha incrementado exorbitante y desproporcionadamente comparado con el crecimiento de la red de carreteras, en muchas de ellas el tránsito se ha triplicado, cuadruplicado o quintuplicado.
- c) El aumento de las cargas rodantes sobre los pavimentos de la red veterana tuvo un efecto totalmente destructivo que hace obligatorio reforzarlos.
- d) Falta de presupuesto para las obras debido a que éste se déstinaba para el desarrollo urgente de los -- otros tipos de comunicación.
- e) Las técnicas y empleo de materiales inadecuados usados en la construcción y conservación de los pavimentos, así como la falta de personal especializado.
- f) En los años 40's no se tenían técnicas adecuadas para diseñar las obras de drenaje y sub-drenaje y muchas de las carreteras no cuentan con dichas obras, -- por otra parte el costo de las mismas en algunos casos sobrepasa al costo por Km. que se tiene para el mantenimiento, lo que hace prohibitivo construirlas.

Una gran parte de los pavimentos de la red carretera ha sufrido deterioros, los cuales se miden con la evaluación de la sección estructural del camino (la cual se explicará más adelante), el nivel de servicio ha llegado al punto de rechazo y no solo requieren de una conservación intensiva, sino una reconstrucción o modernización completa.

Para realizar esta empresa es necesario establecer un sistema para definir que caminos tienen más urgencia de modernizarse, reconstruirse o conservarse en forma intensiva.

Este sistema debe incluir la historia del pavimento, si esto es posible, y el tránsito, así como la capacidad actual de servicio y el deterioro superficial de la carretera (ambos términos muy relacionados).

La S.A.H.O.P., ha emprendido esta tarea llamándole programa de modernización.

Desgraciadamente no se cuenta con todos los datos estadísticos para conocer la historia de los pavimentos, datos que ayudarían muchísimo al programa de modernización de carreteras.

La red de caminos, tomando en cuenta etapas de construcción, ha evolucionado hasta 1979, tal como se indica en la tabla 1.3 y hasta 1975, en función del tipo de carreteras, de acuerdo con la tabla 1.4. Se ha observado que existe una clasificación de los caminos de acuerdo a su edad.

A).- Los construídos entre los años de 1925 a 1960.

B).- Los diseñados y construídos de 1960 a 1980.

Cabe aclarar que todos los tipos de caminos mencionados en las tablas 1.3 y 1.4 necesitan de conservación, reconstrucción o modernización, más en este trabajo sólo se analizarán los que tengan pavimento flexible.

A).- PAVIMENTOS DE 1925 A 1960

En este período, los pavimentos flexibles de carreteras se caracterizan por tener mal diseño y construcción, puesto que los espesores se fijaban arbitrariamente basados en la experiencia de las gentes que intervenían en los proyectos. Por otra parte, se usaba cualquier tipo de material sin reparar en su calidad y en su compac

<u>AÑO</u>	<u>TERRACERIAS</u>	<u>REVESTIMIENTO</u>	<u>PAVIMENTO</u>	<u>TOTAL</u>
1928	209	245	241	695
1934	1786	1291	1183	4260
1940	1643	3505	4781	9929
1946	2663	7267	8614	18544
1952	2039	5905	15981	23925
1958	3082	11002	23400	37484
1964	6353	16506	33186	56045
1966	6282	19482	37187	62951
1979	24,103	85,447	65,788	211,245 (*)

\* En el total están considerados 35,908 Km. de brechas (1979)

TABLA 1.3 EVOLUCION DEL ESTADO SUPERFICIAL DE LA RED DE CARRETERAS (EN KILOMETROS)

A Ñ O S

<u>T I P O</u>	<u>1930</u>	<u>1940</u>	<u>1950</u>	<u>1960</u>	<u>1970</u>	<u>1975</u>
Autopistas	---	---	---	290	1,010	1,431
Federales	1,426	5,721	11,714	24,452	30,260	37,575
Estatales (Cooperación bipartita)	---	4,208	9,708	17,363	31,238	40,285
Vecinales (Cooperación tripartita)	---	---	---	2,787	7,530	11,350
Rurales de acceso	---	---	---	---	1,482	3,076
Caminos de mano - de obra.	---	---	---	---	---	63,862
Caminos constru- dos por otras de- pendencias parti- culares.	---	---	---	---	---	30,000
T O T A L :	1,426	9,929	21,422	44,892	71,520	187,579

TABLA 1.4 EVOLUCION DE LA RED DE CARRETERAS EN EL PERIODO DE 1930 - 1975

tación.

Las carpetas que se usaron en esa época fueron las de riego, que en su tiempo fueron adecuadas pero que actualmente sólo se emplean cuando el T.P.D.A. (tránsito-promedio diario anual), es menor de 1,000 vehículos.

En 1960, las cargas por eje sencillo máximas eran de 7 Ton., que son el doble de las de 1935.

La extensión de la red en 1930 era de 1,500 Km. y para 1960 era de 45,000 Km., ambos aproximadamente.

Es al final de la década de los 50's, después de crearse la Dirección General de Proyectos y Laboratorios y editarse las Especificaciones Generales de Construcción de la S.O.P., cuando se emplean métodos racionales para el diseño y construcción de los pavimentos.

En 1960 se crea la Dirección General de Conservación de Carreteras Federales, cuyo objetivo era corregir los defectos mencionados y aumentar la eficiencia del campo.

Sin embargo, esa Dirección se enfrentó al problema de que la red que se tenía sobrepasaba ya, en algunos casos, los 25 años de edad y necesitaba modernización, -- además, no se contaba con un programa para renovar los pavimentos.

#### B).- PAVIMENTOS DE 1960 A 1980.

En este período el país tiene un avance tecnológico en todos los órdenes; en los pavimentos se usan métodos racionales de diseño y construcción que comprenden:

- a) Normas de materiales, procedimientos y tolerancias de construcción.

b) Métodos de prueba para el diseño y control de construcción.

c) Gráficas de diseño de espesores.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM presenta un método más efectivo y real que el que hasta entonces se venía usando (SOP-108-13), por otra parte, tanto en la construcción como en el diseño, se empieza a emplear gente especializada.

En la tabla 1.5 se muestran varios caminos de los que algunos tuvieron mejor diseño y control de calidad en la construcción. Por otra parte, el tránsito se incrementa considerablemente como reflejo de la expansión económica del país.

Las tablas 1.6 y 1.7 muestran algunos aforos de tránsito en 1960 y 1979.

Otra vez surge el problema de acondicionar los pavimentos viejos (con edades de más de 30 años), lo cual, en cierta forma, es acumulativo.

La introducción de las plantas para elaborar las mezclas asfálticas resuelve el problema de la destrucción prematura de las mezclas hechas en el lugar.

En 1967, se habían rehabilitado carreteras en el Norte de la República con longitud de 633 Km. y había en proceso 1,400 Km., principalmente en la Costera del Golfo y en la del Pacífico. Se elaboró un plan de rehabilitación que abarcaba 10,000 Km. de carreteras y fué hecho por la Dirección General de Conservación de Carreteras Federales en Octubre de 1967.

C A M I N O	INAUGURACION	LONGITUDES PARCIALES			LONG. TOTAL	A N C H O S				DER. DE VIA	PEND. MAX.	CURV. MAX.	VEL. MAX. DE PROY.
		6 carr	4 carr	2 carr		CARPETA	CAMELLON	ACOT.	CORONA				
MEXICO-CUERNAVACA	NOV 30 1952		61+242		61+242	7.20 m	1.80 m	2.85m	21.90m	40.00m	5%	4°	100 Km/h
CUERNAVACA-AMACUZAC	DIC 20 1954			40+380	40+380	7.20 m	--	2.40m	12.00m	40.00m	5%	5°	100 "
AMACUZAC-IGUALA	NOV 30 1952			51+325	51+325	7.20 m	--	2.40m	12.00m	40.00m	6%	18°	100 "
LA PERA-CUAUTLA	JUN 18 1965			34+165	34+165	7.30 m	--	1.85m	11.00m	40.00m	5%	4°	110 "
TOREO-TEPOTZOTLAN	OCT 1° 1958	19+802	11+910		31+712	7.30 m	var.	hasta 3.10 m	13.50m	40.00m	6%	4°	110 "
RAMAL CEYLAN-VALLEJO	OCT 1° 1958	6+931			6+931	7.30 m	var.	hasta 3.10 m	13.50m	40.00m	6%	4°	110 "
TEPOTZOTLAN-PALMILLAS	A)OCT 1° 1958 B)ENE 21 1969		104+907		104+907	7.30 m	var.	3.10m	13.50m	40.00m	6%	4°	110 "
GUADALAJARA-ZAPOTLANEJO.	NOV 29 1969		1+950	27+050	29+000	7.30 m	--	1.85m	11.00m	60.00m	6%	3°	110 "
STA. CLARA-ENT, MORELOS	NOV 11 1964		10+789		10+789	7.30 m	1.80 m	hasta 3.00m	10.30m	40.00m	4%	3°	110 "
ENT, MORELOS-TEOTIHUACAN.	NOV 11 1964		0+780	21+910	22+690	7.30 m	--	1.60m	10.00m	40.00m	5%	3°	110 "
ENT, MORELOS-TECAMAC	MAY 6 1967			11+265	11+265	7.20 m	--	2.70 izq. 1.10 der.	11.00m	40.00m	5%	3°	110 "
MEXICO-PUEBLA (AUT.)	MAY 5 1962		102+475		102+475	7.30 m	1.80 m	3.00m	21.80m	60.00m	5%	4°	110 "
PUEBLA-ORIZABA	MAR 29 1966		14+446	141+920	156+366	7.30 m	var.	3.10m	13.50m	40.00m	5%	8°	110 "
COMPOSTELA-CHAPALILLA	AGO 17 1973			35+500	35+500	7.20 m	--	1.60m	8.00m	40.00m	4%	4°	110 "

TABLA 1.5. CAMINOS DISEÑADOS Y CONSTRUIDOS EN FORMA RACIONAL

CAMINOS Y TRAMOS	VOLUMEN DE TRANSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL				GRADO DE SATURACION
	AUTOMOVIL	OMNIBUS	CAMIONES	TOTAL	
<b>MEXICO - LAREDO</b>					
1. México-Venta de Carpio	1384	560	1002	2946	100%
2. Venta de Carpio-Colonia	503	124	647	1274	100
3. Colonia-Ixmiquilpan	374	85	371	830	30
4. Ixmiquilpan-Jacala	314	76	374	764	50
5. Jacala-Chapulhuacán	189	61	274	524	50
6. Chapulhuacán-Mante	294	81	263	638	40
7. Mante-Cd. Victoria	296	79	342	717	30
8. Cd. Victoria-El Tomaseño	334	64	352	750	30
9. El Tomaseño-Monterrey	1272	295	501	2068	80
10. Monterrey-Ciénega de Flores	486	82	160	728	30
11. Ciénega de Flores-M. Laredo	400	73	160	633	30
<b>MEXICO - CIUDAD JUAREZ</b>					
1. México-Toluca	2128	656	1083	3867	100
2. Toluca-Ixtlahuaca	1120	324	710	2154	60
3. Ixtlahuaca-Palmillas	575	323	78	976	60
4. Palmillas-Querétaro	670	260	590	1520	20
5. Querétaro-León	1570	383	788	2741	40
6. León-Lagos	767	219	557	1543	60
7. Lagos-Zacatecas	553	154	410	1117	60
8. Zacatecas-Durango	455	60	244	759	50
9. Durango-V. Allende	123	36	121	280	20
10. V. Allende-Chihuahua	840	83	300	1223	40
11. Chihuahua-C. Juárez	3080	99	413	3592	70
<b>MEXICO - NOGALES</b>					
1. México-Toluca	2128	656	1083	3867	100
2. Toluca-Zitácuaro	549	209	340	1098	60
3. Zitácuaro-Hacienda Rincón	289	86	240	615	60
4. Hacienda Rincón-Morelia	629	181	400	1210	60
5. Morelia-Quiroga	181	446	169	796	70
6. Quiroga-Carapán	1321	236	618	2175	70
7. Carapán-Sahuayo	875	197	711	1783	70
8. Sahuayo-Jocotepec	360	75	318	753	50
9. Jocotepec-Guadalajara	362	124	176	662	50
10. Guadalajara-Tepic	685	162	500	1347	20
11. Tepic-Entrada a San Blas	401	84	286	771	20
12. Entrada a San Blas-Rosario	426	144	406	976	20
13. Rosario-Río Piaxtla	277	51	402	730	30
14. Río Piaxtla-Navojoa	1245	63	768	2076	30
15. Navojoa-Imuris	477	26	160	663	20
16. Imuris-Nogales	373	46	326	745	20

TABLA 1.6 TABLA DE AFOROS DE ALGUNOS CAMINOS Y GRADO DE SATURACION DE LOS MISMOS.

C A M I N O	V E H I C U L O S				
	LIGEROS	%	PESADOS	%	T O T A L
MEXICO-CUERNAVACA	5'726,387	84	1'079,758	16	6'808,145
CUERNAVACA-AMACUZAC	2'226,896	75	770,523	25	3'037,419
AMACUZAC-IGUALA	1'212,390	71	499,595	29	1'711,995
LA PERA-CUAUTLA	1'618,596	86	261,048	14	1'879,844
MEXICO-TEOTIHUACAN	10'031,963	75	3'298,250	25	13'330,213
MEXICO-PUEBLA	6'165,700	69	2'819,244	31	8'984,944
PUEBLA-ORIZABA	2'146,135	57	1'623,341	43	3'769,476
ORIZABA-CORDOBA	2'481,173	63	1'471,396	37	3'952,569
CHAPALILLA-COMPOSTELA	249,669	74	88,257	26	337,926
MEXICO-QUERETARO	4'434,580	58	3'163,963	42	7'598,543
QUERETARO-CELAYA	1'706,308	53	1'512,261	47	3'218,569
APASEO-IRAPUATO	1'010,412	46	1'171,726	54	2'182,138
GUADALAJARA-ZAPOTLANEJO	1'813,601	61	1'163,454	39	2'977,055
TIJUANA-ENSENADA	1'799,650	90	201,307	10	2'000,957
T O T A L :	42'663,460	69	19'124,123	31	61'787,583

TABLA 1.7 AFOROS DE TRANSITO EN 1979

El crecimiento de las cargas rodantes y el abuso de los transportistas, es otro factor importante (exceso de -- hasta 25% de la carga permitida, que era de 8.5 Ton. -- por eje sencillo). El nuevo reglamento autorizó que esta carga subiera hasta 10 toneladas por eje sencillo -- (Ver el Diario Oficial del 28 de Noviembre de 1980).

Para reconstruir o modernizar los caminos actuales hay un problema: No se conoce la historia de los pavimentos sino de 1965 en adelante, en que a algunas carreteras -- se les han efectuado algunas reconstrucciones, pero a -- las carreteras restantes no se sabe cuantos refuerzos -- se les han dado o si se les han realizado.

La costumbre es tratar de reforzar las estructuras antiguas adicionándoles espesores de mezclas asfálticas, -- sin embargo, en la mayoría de los casos esto no es suficiente, ya que en algunas carreteras lo que se necesita son nuevas estructuras y/o ampliación a más carriles de circulación, dependiendo de las condiciones del pavimento y de sus condiciones geométricas, así como del número y tipo de vehículos que circulan diariamente sobre -- ellas.

En virtud de que se hace notoria la necesidad de reconstruir y dar conservación a nuestros caminos y existiendo criterios variados y diversos para hacerlo en nuestro país, en este trabajo se trata de resumir lo más importante que hay hasta el momento sobre conservación, -- reconstrucción y modernización de pavimentos, proponiendo bases para que, en lo futuro, haya más interés en este renglón tan importante en la economía del país y además se puedan uniformizar los criterios de los técnicos y profesionistas que trabajan con los pavimentos flexibles de carreteras.

## 1.2 CONOCIMIENTOS PREVIOS.

Se ha hecho referencia en lo antes expuesto a los pavimentos y las terracerías. En el medio carretero se acostumbra separar estas partes como si no estuvieran relacionadas, esto es un gran error, puesto que las terracerías y el pavimento no funcionan independientemente, si no más aún, el funcionamiento de cada una de estas partes, además de depender entre sí, también está en función del comportamiento del terreno natural o de cimentación. De aquí que es necesario introducir un nuevo -- concepto, que es el de sección estructural, y como su nombre lo indica, implica considerar el pavimento, las terracerías y el terreno natural como una estructura to tal.

### 1.2.1 CUERPO DEL TERRAPLEN.

Las terracerías generalmente comprenden al cuerpo del terraplén y a la capa sub-rasante. El cuerpo del terraplén debe construirse con material apropiado que tenga pocos cambios volumétricos bajo variaciones de humedad y sirve para elevar el nivel hasta el adecuado para alcanzar el nivel de la rasante de proyecto.

Para el cuerpo del terraplén, las reglas que se siguen actualmente establecen que se pueden usar ciertos materiales de dudosa calidad y de cualquier tamaño, a este respecto lo conveniente sería adoptar las normas propuestas en las observaciones a las Especificaciones Generales de Construcción de la S.A.H.O.P. (E.G.C.S.A.H.O.P.) que se encuentran adelante.

Es conocido el efecto que tienen los materiales -

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

Cuando el camino se encuentra a pelo de tierra -- (al nivel del terreno natural) o en sección en -- corte y aún en terraplén, y el terreno en el que se va a apoyar es de muy mala calidad, también se llega a usar una capa de mejoramiento llamada subyacente, con objeto de reducir los efectos perjudiciales de ese suelo natural como son deformaciones y expansiones, o reducir espesores de pavimento. Esta capa generalmente se construye entre la capa sub-rasante y el cuerpo del terraplén o el terreno natural.

#### 1.2.2 CAPA SUB-RASANTE.

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

Las finalidades de la capa sub-rasante son:

- A). Resistir los esfuerzos que le transmita el pavimento, debidos al paso de los vehículos.
- B). Tomar los esfuerzos que le transmita el pavimento.

mento, y hacerlos llegar a las terracerías de tal forma que éstas los resistan fácilmente, es decir, sin deformarse plásticamente.

- C). Servir como capa de transición entre el pavimento y las terracerías, esto es, debe evitar que se contamine la parte inferior del pavimento con los materiales que forman las terracerías, por una parte; por otra parte, debe impedir que el pavimento se incruste en las terracerías, si está formado por material grueso o viceversa.
- D). Impedir que las irregularidades en la cama de los cortes en roca, se reflejen en la superficie del pavimento.
- E). Reducir espesores en las capas del pavimento, con el ahorro que esto implica, sobre todo si se tienen terracerías de baja **calidad y/o mal drenaje** y subdrenaje.
- F). Uniformizar los espesores requeridos del pavimento, al compensar la variación de resistencia en las terracerías.

En estudios realizados en el Laboratorio "Fernando Espinosa", del Instituto de Ingeniería de la UNAM, se observó que la capa sub-rasante tiene primordial importancia, aún cuando el pavimento sea de muy buena calidad y del espesor adecuado. Las combinaciones de capas en donde la sub-rasante estuvo más compacta, tuvieron mejor comportamiento.

A este respecto, conviene recalcar la propiedad -

de algunos materiales de aumentar su fuerza de ex pansi3n al compactarlos. A la capa sub-rasante se le ponen requisitos que debe cumplir, sin embargo, se ha visto que estos requisitos son muy tolerantes.

El tama1o m1ximo de los materiales empleados en esta capa es de 75 mm. (3"). En las observaciones a las Especificaciones Generales de Construcci3n de la S.A.H.O.P., se recomiendan algunas normas - que ser1a conveniente adoptar.

En un p1rrafo anterior se hizo referencia al concepto de secci3n, que es un corte transversal al eje del camino. Las secciones t1picas de pavimentos flexibles se presentan en la figura 1.6, y --son: secciones en terrapl3n, en corte y en balc3n.

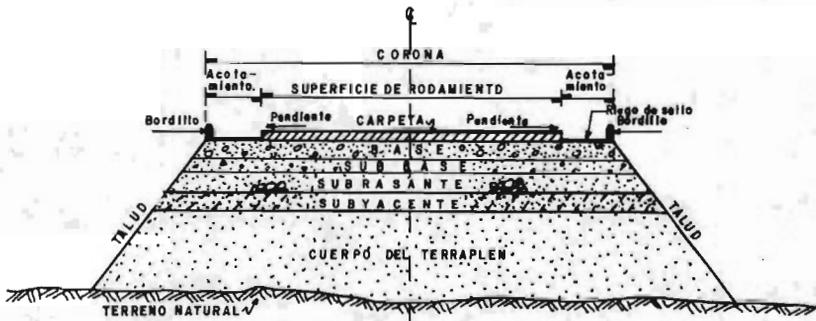
Sobre la capa sub-rasante se construye el pavimen to, constituido por capas de mejor calidad y que son las capas finales de la secci3n estructural.- En las figuras 1.6 y 1.7 se aprecia el tipo de pa vimento flexible que generalmente se construye.

### 1.2.3 PAVIMENTO.

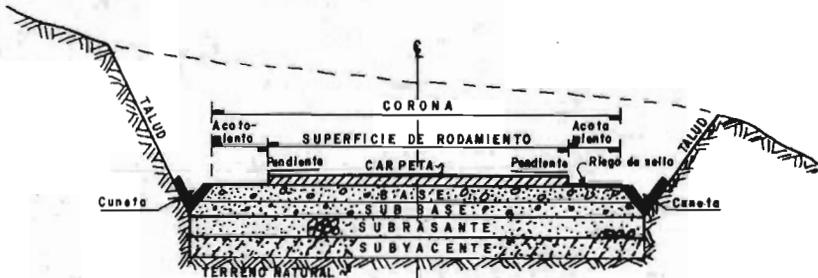
En la construcci3n de carreteras se usan diferentes tipos de pavimentos, que son, principalmente, los siguientes:

- . PAVIMENTOS FLEXIBLES.
- . PAVIMENTOS RIGIDOS.
- . PAVIMENTOS MEJORADOS.

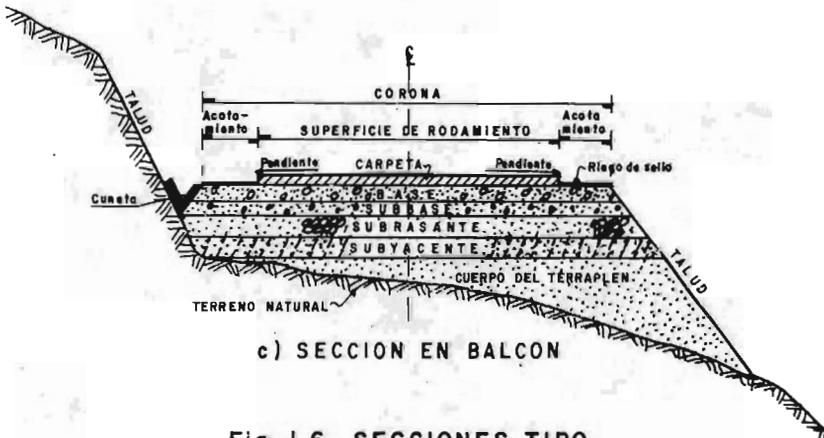
Para llegar a entender las diferencias entre ellos, es necesario definir el concepto de pavimento.



a) SECCION EN TERRAPLEN



b) SECCION EN CORTE



c) SECCION EN BALCON

Fig. 1.6 SECCIONES TIPO

Se llama pavimento al sistema formado por diferentes capas con cierto grado de calidad y resistencia, que va decreciendo conforme la capa es más profunda, generalmente; estas capas no van a funcionar independientemente una de otra, sino en conjunto con las terracerías y el terreno natural, como se dijo al referirse a la sección estructural.

El pavimento deberá cumplir con los requisitos de resistencia, estabilidad, poca deformabilidad y aspecto superficial necesarios para dar un servicio cómodo y seguro a los vehículos que transiten sobre él.

El pavimento en sí, es ya una estructura, pero el funcionamiento de esa estructura va a depender del comportamiento de las capas en que se esté apoyando, o sea, las terracerías.

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

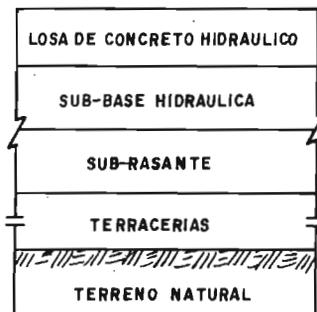
Hecha una definición de pavimentos, se explicará - en qué consisten los tres tipos de pavimento. (Ver la fig. 1.7).

#### 1.2.3.1 PAVIMENTO FLEXIBLE.

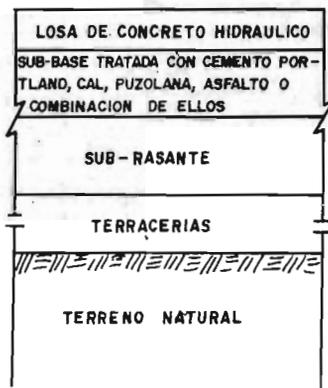
Es el sistema multicapa formado generalmente por una capa llamada sub-base, otra llamada base y por último otra capa con características también diferentes llamada carpeta; estas capas, mencionadas en orden de



SECCION ESTRUCTURAL CON PAVIMENTO FLEXIBLE (USUAL)



SECCION ESTRUCTURAL CON PAVIMENTO RIGIDO (USUAL)



SECCIONES ESTRUCTURALES CON PAVIMENTOS MEJORADOS (USUALES)

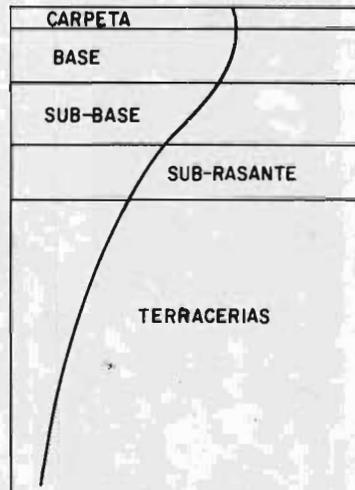
Fig. 1.7

abajo hacia la superficie, aumentan su resistencia conforme más cerca están de la superficie de rodamiento (excepto en las carpetas de riegos). Estas capas van distribuyendo los esfuerzos impuestos por las cargas rodantes a áreas mayores conforme aumenta la profundidad, esto es, van disipando los esfuerzos hasta hacerlos llegar a la capa sub-rasante en la forma que ésta los resista, de acuerdo con sus características de calidad y resistencia. (Ver fig. 1.8).

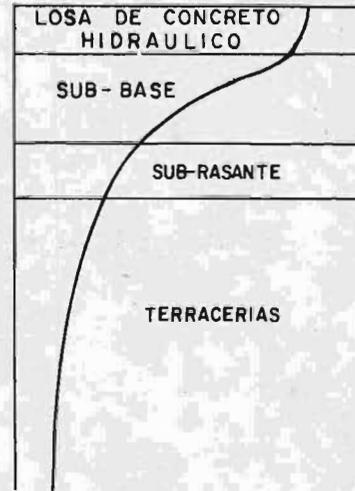
Cabe aclarar que las carpetas formadas por el sistema de riegos, sólo se hacen cuando el tránsito promedio diario anual es menor de 1,000 vehículos pesados y esta tesis se enfocará a casos de caminos con más de 1,000 vehículos pesados diarios, que es el caso general.

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

Generalmente, a esta capa se le da una superficie de desgaste antiderrapante, que es el riego de sello. La carpeta resiste cierto grado de deformación instantánea sin sufrir agrietamientos, por esto se le llama pavimento flexible.



a):- Distribución de esfuerzos en pavimento flexible.



b):- Distribución de esfuerzos en pavimento rígido.

Fig. 1.8

### 1.2.3.2 PAVIMENTO RIGIDO.

Es el pavimento que se compone, en la mayoría de las veces, de una losa de concreto-hidráulico, suprayaciendo a una capa de -- sub-base y ambas apoyadas sobre la capa -- sub-rasante.

La losa de concreto hidráulico, por su rigidez y área, distribuye los esfuerzos producidos por las cargas rodantes a un área mucho mayor en la sub-base, de tal manera que ésta los soporta fácilmente (Ver fig.-1.8), y a su vez los transmite a la capa sub-rasante disminuídos de tal manera que ésta los acepta sin mayor problema.

La losa no admite deformaciones relativamente; es por esto que a este sistema se le llama rígido.

Lo anterior es, esencialmente, lo que se llama un pavimento rígido.

Entre los dos tipos anteriores de pavimento, ya no es tan fácil establecer diferencias debido a que en los pavimentos flexibles, por causa del uso del concreto asfáltico, la carpeta puede llegar a tener una rigidez muy alta.

Conviene aclarar que una carpeta asfáltica, por muy rígida que sea, necesita forzosamente de capas de apoyo de buena calidad. Esto se ha visto en partes donde se han construído carpetas de espesores grue-

sos y muy rígidas pero con capas subyacentes de mala calidad, en donde las carpetas no resistieron el efecto del tránsito y se fracturaron, lo cual es lógico si se piensa en capas de apoyo muy deformables o mal compactadas.

#### 1.2.3.3 PAVIMENTO MEJORADO.

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

Todos los materiales empleados en pavimentos deben cumplir con ciertas características y su uso depende del empleo que se les vaya a dar en un proyecto dado y de la disposición de material en el lugar.

Cabe aclarar que para los fines de este -- trabajo solo se tratarán los pavimentos -- flexibles, ya que la mayor parte de las carreteras nacionales están construídas con este tipo de pavimento.

#### 1.2.4 PAVIMENTO FLEXIBLE.

A continuación se hace una descripción de las diferentes capas que integran a los pavimentos flexibles, así como de las características que deben tener los materiales que los forman:

#### 1.2.4.1 SUB-BASE.

Es una capa de transición entre la capa de base y la capa sub-rasante a la que se le atribuye, más que nada, una función económica, es decir, para no usar un material de mayor calidad y por consiguiente, mayor costo, en un espesor requerido, se usa material granular de menor calidad, que es la sub-base, aún a costa de incrementar los espesores. En este caso conviene revisar el aspecto económico, ya que al aumentar espesores, aumenta el volumen de material y por consiguiente, los acarreos. Si la distancia de acarreo es grande, los costos aumentan considerablemente.

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

Otra de sus funciones es la de desalojar el agua que se infiltre en el pavimento y a su vez impedir la ascensión del agua -- procedente de las terracerías por el fenómeno llamado capilaridad. (Capa rompedora de capilaridad).

El material que se usa en esta capa debe ser procesado, extendido y compactado de acuerdo con lo que suscriban las especificaciones de cada proyecto para esta capa del pavimento. En general a esta capa se

le exige que tenga tamaño máximo de 50.8 mm. (2"), y su granulometría debe caer dentro de cualquiera de las zonas marcadas en la gráfica de la figura 1.9, adoptando la forma de los límites; las características que debe cumplir son las indicadas en la tabla 1.8.

#### 1.2.4.2 BASE.

Es una capa constituida con material seleccionado, de mejor graduación que el de la capa de sub-base, que tiene, entre otras, las siguientes funciones: la primera y la más importante, es la de soportar las cargas que le transmita la carpeta y aminorar los esfuerzos inducidos por las cargas rodantes, de tal manera que lleguen a las capas subyacentes con la intensidad que és--tas los resistan. Esto se debe a la trabazón que existe entre las partículas, originada por la forma de las mismas.

Cuando el material de que se pueda dispo--ner no cuenta con la calidad requerida, --suele mejorarse con aditivos tales como cemento, puzolanas, sulfato de calcio, cal o asfalto, y entonces el pavimento pasa a --ser del tipo mejorado.

Otra función de la capa de base, es la de drenar el agua que se infiltre por la carpeta e impedir la ascensión capilar del --agua natural.

Por último, tiene también objetivos econó-

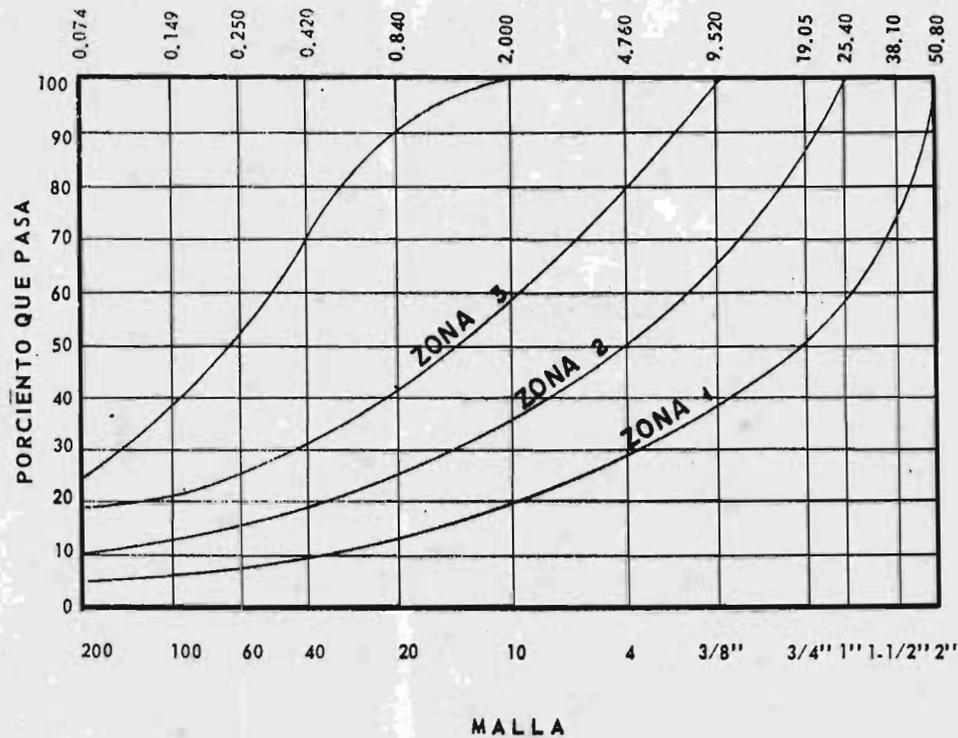


FIG. 1.9.- REQUISICIONES GRANULOMETRICAS PARA LA -  
SUB-BASE Y BASE.

CARACTERISTICAS	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRIA.		
	1	2	3
Contracción lineal, en por ciento.	6.0 Máx.	4.5 Máx.	3.0 Máx.
Valor cementante para materiales angulosos, en $\text{kg/cm}^2$	3.5 Mín.	3.0 Mín.	2.5 Mín.
Valor cementante para materiales redondeados y lisos en $\text{kg/cm}^2$	5.5 Mín.	4.5 Mín.	3.5 Mín.
Valor relativo de soporte estándar saturado, en por ciento.	50 Mín.		
Equivalente de arena, en por ciento.	20 Mín. (Tentativo)		

TABLA 1.8.- Requisiciones para la capa de sub-base.

micos, pues al aumentar el espesor de ésta capa se pueden reducir espesores en la carpeta, que es más cara, lo que reditúa en un ahorro bastante considerable.

El material de esta capa debe tener tamaño máximo de 58.8 mm. (2") si no requiere tratamiento, en caso contrario, el tamaño máximo será de 38 mm. (1.5"), aunque lo más recomendable es esto último. Su granulometría debe caer dentro de las zonas 1 y 2 indicadas en la figura 1.9, adoptando la forma de los límites. Las características del material deberán cumplir lo que indican las tablas 1.9 y 1.10; por último, el material de esta capa debe tener afinidad con el asfalto.

#### 1.2.4.3 CARPETA.

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

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

Por otra parte, la carpeta debe ser tan impermeable como se pueda, es decir, la carpeta no es totalmente impermeable, si se quisiera que la carpeta fuese totalmente impermeable, se tendría que incurrir en un

CARACTERISTICAS	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRIA.					
	1		2		3	
Límite líquido, en porcentaje.	30	Máx.	30	Máx.	30	Máx.
Contracción lineal, porcentaje.	4.5	Máx.	3.5	Máx.	2.0	Máx.
Valor cementante para materiales angulosos, en kg/cm <sup>2</sup> .	3.5	Mín.	3.0	Mín.	2.5	Mín.
Valor cementante, para materiales redondos y lisos, en kg/cm <sup>2</sup> .	5.5	Mín.	4.5	Mín.	3.5	Mín.

TABLA 1.9.- Requisiciones para la capa de base.

INTENSIDAD DE TRANSITO EN AMBOS SENTIDOS	Valor relativo de soporte es- tandard	Equivalente de arena (Tentativo)	Indice de durabi- lidad (Tentativo)
Hasta 1,000 vehículos pesados al día.....	80 Mín.	30 Min.	35 Mín.
Más de 1,000 vehículos pesados al día.....	100 Mín.	50 Mín.	40 Mín.

Los vehículos pesados incluyen los autobuses y los camiones en todos sus tipos.

TABLA 1.10 REQUISICIONES PARA LA CAPA DE BASE

exceso de asfalto, lo que implicaría que la carpeta fuera inestable en su comportamiento y se deformara considerablemente al paso de los vehículos, lo cual no debe ser.

Por último, la superficie de rodamiento debe ser uniforme a lo largo de su vida útil.

Refiriéndose al párrafo anterior, donde se dijo que la carpeta puede tener ciertas características, es necesario aclarar que se tienen diferentes tipos de carpeta, según el procedimiento de construcción empleado y el material que las compone.

Toda carpeta es resultado de una mezcla de materiales pétreos y asfálticos adecuadamente tratados, que posteriormente se extienden y compactan.

#### 1.2.5 MATERIALES ASFÁLTICOS.

Los materiales asfálticos se clasifican como sigue:

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

Los tres son productos de la destilación del petróleo y sus características quedan enmarcadas en lo que sigue:

- a). Cementos asfálticos.

Son los asfaltos obtenidos por un proceso de destilación del petróleo para eliminar a éstos sus solventes volátiles y parte de los aceites.

## b). Rebajados asfálticos.

- 1.- Asfaltos Rebajados de Fraguado Rápido (FR).  
Son los materiales asfálticos líquidos, --  
compuestos de un cemento asfáltico y un di  
solvente del tipo de la nafta o gasolina.
- 2.- Asfaltos Rebajados de Fraguado Medio (FM).  
Son los materiales asfálticos líquidos comu  
puestos de un cemento asfáltico y un disolv  
vente del tipo del queroseno.
- 3.- Asfaltos Rebajados de Fraguado Lento (FL).  
Son los materiales asfálticos líquidos, --  
compuestos de un cemento asfáltico y un di  
solvente de baja volatibilidad o aceite li  
gero.

## c). Emulsiones Asfálticas.

Son los materiales asfálticos líquidos esta---  
bles, formados por dos fases no mezclables, en  
los que la fase continua de la emulsión está -  
formada por agua y la fase discontinua por pe-  
queños glóbulos de asfalto. Dependiendo del --  
agente emulsificante, las emulsiones asfálti--  
cas pueden ser aniónicas, si los glóbulos de -  
asfalto tienen carga eléctrica negativa o ca--  
tiónicas, si los glóbulos asfálticos tienen --  
carga eléctrica positiva. Estas emulsiones pue  
den ser de rompimiento rápido, medio y lento.

Los materiales antes mencionados deben cumplir  
con lo indicado en la tabla 1.11.

Las temperaturas de los materiales asfálticos-  
en el momento de ser empleados, serán:

- A). Cementos Asfálticos.  
De 120°C. a 160°C.
- B). Asfaltos Rebajados de Fraguado Lento:
- FL-0, de 20°C a 30°C.
  - FL-1, de 30°C a 45°C.
  - FL-2, de 75°C a 85°C.
  - FL-3, de 85°C a 95°C.
  - FL-4, de 95°C a 100°C.
- C). Asfaltos rebajados de Fraguado Medio:
- FM-0, de 20°C a 40°C.
  - FM-1, de 30°C a 60°C.
  - FM-2, de 70°C a 85°C.
  - FM-3, de 80°C a 95°C.
  - FM-4, de 90°C a 100°C.
- D). Asfaltos Rebajados de Fraguado Rápido:
- FR-0, de 20°C a 40°C.
  - FR-1, de 30°C a 50°C.
  - FR-2, de 40°C a 60°C.
  - FR-3, de 60°C a 80°C.
  - FR-4, de 80°C a 100°C.
- E). Emulsiones Asfálticas.  
En general no requieren calentamiento.  
De 5°C a 40°C.

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

A) Cementos asfálticos

CARACTERISTICAS	CEMENTO ASFALTICO			
	Núm. 3	Núm. 6	Núm. 7	Núm. 8
Penetración, 100 g. 5 s, 25°C, grados.....	180-200	80-100	60-70	40-50
Viscosidad Saybolt-Furol:				
A 135°C, s, mínimo.....	60	85	100	120
Punto de inflamación (copa abierta de Cleveland), °C mínimo.....	230	232	232	232
Punto de reblandecimiento, °C.....	37-43	45-52	48-56	52-60
Ductilidad, 25°C, cm, mínimo.....	60	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo.....	99.5	99.5	99.5	99.5
Prueba de la película delgada, 60 cm <sup>2</sup> , 5 h, 163°C:				
Penetración retenida, por ciento, mínimo.....	40	50	54	58
Pérdida por calentamiento, por ciento, máximo.....	1.4	1.0	0.8	0.8

B) Asfaltos rebajados de fraguado rápido

CARACTERISTICAS	G R A D O				
	FR-0	FR-1	FR-2	FR-3	FR-4
<b>PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO</b>					
Punto de inflamación (copa abierta de Tag), °C mínimo..			27	27	27
Viscosidad Saybolt-Furol:					
A 25°C, segundos.....	75-150				
A 50°C, segundos.....		75-150			
A 80°C, segundos.....			100-200	250-500	
A 82°C, segundos.....					125-250
Destilación: Por ciento del total destilado a 360°C					
Hasta 190°C, mínimo.....	15	10			
Hasta 225°C, mínimo.....	55	50	40	25	8
Hasta 260°C, mínimo.....	75	70	65	55	40
Hasta 315°C, mínimo.....	90	88	87	83	80
Residuo de la destilación a 360°C. Por ciento del volumen total por diferencia, mínimo.....	50	60	67	73	78
Agua por destilación, por ciento, máximo.....	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
<b>PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION</b>					
Penetración, grados.....	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120
Ductilidad en centímetros, mínimo.....	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo.....	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

TABLA 1.11.- CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES ASFALTICOS.

C) Asfaltos rebajados de fraguado medio

CARACTERISTICAS	GRADO				
	FM-0	FM-1	FM-2	FM-3	FM-4
<b>PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO</b>					
Punto de inflamación (copa abierta de Tag), °C mínimo..	38	38	66	66	66
Viscosidad Saybolt-Furol:					
A 25°C, segundos.....	75-150				
A 50°C, segundos.....		75-150			
A 60°C, segundos.....			100-200	250-500	
A 82°C, segundos.....					125-250
Destilación: Por ciento del total destilado a 360°C					
Hasta 225°C, máximo.....	25	20	10	5	0
Hasta 260°C.....	40-70	25-65	15-55	5-40	30 Máx.
Hasta 315°C.....	75-93	70-90	60-87	55-85	40-80
Residuo de la destilación a 360°C. Por ciento del volumen total por diferencia, mínimo.....	50	60	67	73	78
Agua por destilación, por ciento, máximo.....	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
<b>PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION</b>					
Penetración, grados.....	120-300	128-300	120-300	120-300	120-300
Ductilidad en centímetros, mínimo.....	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo.....	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

D) Asfaltos rebajados de fraguado lento

CARACTERISTICAS	GRADO				
	FL-0	FL-1	FL-2	FL-3	FL-4
<b>PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO</b>					
Punto de inflamación (copa abierta de Cleveland), °C mínimo.....	66	66	80	93	107
Viscosidad Saybolt-Furol:					
A 25°C, segundos.....	75-150				
A 50°C, segundos.....		75-150			
A 60°C, segundos.....			100-200	250-500	
A 82°C, segundos.....					125-250
Destilación: Destilado total a 360°C, por ciento en volumen.....	15-40	10-30	5-25	2-15	10 Máx.
Agua por destilación, por ciento, máximo.....	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Residuo asfáltico de 100 grados de penetración, por ciento, máximo.....	40	50	60	70	75
<b>PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION</b>					
Flotación en el residuo de la destilación, a 25 °C, segundos.....	15-100	30-100	25-100	50-125	60-150
Ductilidad del residuo asfáltico de 100 grados de penetración, 25°C, cm., mínimo.....	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo.....	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

TABLA 1.11.- CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES ASFALTICOS (CONTINUACION).

E) Emulsiones asfálticas aniónicas

CARACTERÍSTICAS	G R A D O				
	ROMPIMIENTO RÁPIDO		ROMPIMIENTO MEDIO	ROMPIMIENTO LENTO	
	RR-1	RR-2	RM-2	RL-1	RL-2
<b>PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO</b>					
Viscosidad Saybolt-Furol a 25°C, segundos.....	20-100		100 Min.	20-100	20-100
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C, segundos.....		75-100			
Residuo de la destilación, por ciento en peso, mínimo.....	57	62	62	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia en por ciento, máximo.....	3	3	3	3	3
Demulsibilidad:					
35 ml de 0.02N CaCl <sub>2</sub> , por ciento, mínimo.....	50	50			
50 ml de 0.10N CaCl <sub>2</sub> , por ciento, máximo.....			30		
Retenido en la malla Núm. 20, por ciento, máximo.....	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máximo.....				2.0	2.0
<b>PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION</b>					
Penetración, 25°C, 100 g, 5 segundos, grados.....	100-200	100-200	100-200	100-200	40-90
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo.....	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5
Ductilidad, 25°C, cm., mínimo.....	40	40	40	40	40

F) Emulsiones asfálticas catiónicas

CARACTERÍSTICAS	G R A D O					
	ROMPIMIENTO RÁPIDO		ROMPIMIENTO MEDIO		ROMPIMIENTO LENTO	
	RR-2K	RR-3K	RM-2K	RM-3K	RL-2K	RL-3K
<b>PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO</b>						
Viscosidad Saybolt-Furol, 25°C, segundos.....	20-100	100-400	50-500	50-500	20-100	20-100
Viscosidad Saybolt-Furol, 50°C, segundos.....						
Residuo de la destilación, por ciento en peso, mínimo.....	60	65	60	65	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia en por ciento, máximo.....	5	5	5	5	5	5
Retenido en la malla Núm. 20, por ciento, máximo.....	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Cubrimiento del agregado (en condiciones de trabajo). Prueba de resistencia al agua:						
Agregado seco, por ciento de cubrimiento, mínimo.....			80	80		
Agregado húmedo, por ciento de cubrimiento, mínimo.....			60	60		
Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máximo.....					2	2
Carga de la partícula.....	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	6.7	6.7
pH, máximo.....						
Disolvente en volumen, por ciento, máximo.....	3	3	20	12		
<b>PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION</b>						
Penetración, 25°C, 100 g, 5 segundos, grados.....	100-250	100-250	100-250	100-250	100-200	40-90
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo.....	97	97	97	97	97	97
Ductilidad, 25°C, cm, mínimo.....	40	40	40	40	40	40

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

TABLA 1.11.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES ASFALTICOS (CONTINUACION).

### 1.2.6 MEZCLAS ASFALTICAS.

Ya se puede entonces clasificar a las mezclas asfálticas, que no son más que la incorporación y distribución uniforme de un material asfáltico en uno pétreo, y se hace de la siguiente manera:

a). Mezclas Frías:

Elaboradas con asfaltos rebajados y con emulsiones asfálticas. Comúnmente llamadas mezclas en el lugar.

b). Mezclas Calientes:

Elaboradas con planta estacionaria.

c). Carpetas de riegos.

a). 1.- Mezclas frías con asfaltos rebajados.

Se producen en el lugar incorporando los agregados con el cementante en frío; el cementante usa gasolina como vehículo.

Esta mezcla se puede transportar a la temperatura ambiente, si no es muy baja.

El asfalto rebajado usado normalmente es el de fraguado rápido FR-3, que contiene 73% de residuos y 27% de solventes.

Estas mezclas se emplean cuando el tránsito es menor a 1,000 vehículos pesados diarios, en bacheos, reconstrucciones en tramos aislados y sobrecarpetas, aunque actualmente no se recomienda.

Es recomendable que la mezcla contenga aproximadamente 1% de humedad al colocarse, previa eliminación por evaporación de la mayor parte de los solventes y la humedad.

Su tendido se hace con motoconformadora y el-

acabado es defectuoso.

a). 2.- Mezclas frías con emulsiones.

Se dividen a su vez en aniónicas y catiónicas, las cuales usan como vehículo agua.

Al incorporarse el material pétreo y dependiendo de la carga eléctrica que tenga, permitirá su acercamiento con el cementante, expulsando el agua que antes separaba a partículas y cementante, entonces se forma una estructura de agregados y cemento que constituye a la mezcla. Al momento en que se expulsa el agua se le llama rompimiento de la emulsión y es en ese momento cuando debe empezarse a compactar.

Estas mezclas pueden hacerse en camellones o máquinas revolventoras, y se usan en carpetas de caminos con poco tránsito, en bacheos y en lugares lluviosos o húmedos donde se hace difícil el empleo de asfaltos rebajados. El material asfáltico más usado es del tipo RM-2.

NOTA: Las mezclas que se elaboran con asfaltos rebajados o emulsiones, deberán cumplir, entre otras, las normas indicadas en la tabla 1.12, por el procedimiento de pruebas de compresión sobre cilindros sin confinar.

b). Mezclas elaboradas en planta.

Son las mezclas hechas en caliente de agregados pétreos y cemento asfáltico. Para que estas mezclas sean buenas, debe cuidarse que los agregados tengan la dureza, forma y distribución de tamaños adecuados, así como afinidad con el cemento.

CARACTERISTICAS		PARA CARRETERAS			OBSERVACIONES
		TRANSITO DIARIO EN AMBOS SENTIDOS DE VEHICULOS PESADOS. (6)			
		Menos de 500	de 500 a 1000	Más de 1000	
Resistencia mínima en kg/cm. <sup>2</sup> . . . . .		2.5	4.0		
Por ciento de vacíos, mínimo (a)	Con material de graduación gruesa ó fina	7	7	En general no debe	Valores Tentativos
	Con material de graduación intermedia	4	4	usarse este tipo de mezclas.	

- (a) El por ciento de vacíos especificado en cada caso, deberá ser calculado de acuerdo con el procedimiento descrito en el capítulo CXII de la Parte Novena.
- (b) Se consideran como vehículos pesados los camiones en todos sus tipos y los autobuses.

TABLA 1.12.- Requisitos para mezclas elaboradas con asfaltos rebajados y emulsiones (Prueba de compresión sobre cilindros sin confinar).

El cemento asfáltico usado en México es el No. 6 y sus características deben ser las indicadas en la tabla de materiales asfálticos. (tabla 1.11)

La mezcla, como tal, debe cumplir con ciertas características de resistencia, durabilidad y textura.

Es necesario aclarar que se debe buscar la proporción adecuada entre los agregados pétreos y el cemento asfáltico; esto se logra por medio de la prueba Marshall para obtener el contenido óptimo de asfalto.

La elaboración de estas mezclas se hace, como su nombre lo indica, en plantas, ya sean contínuas o discontinuas (llamadas también de bachas).

Para la elaboración del concreto asfáltico para carpetas se pide tamaño máximo de 25.4 mm. (1"), sin embargo, se ha visto que las carpetas de concreto asfáltico funcionan mejor con tamaño máximo de 19.05 mm. (3/4").

Por otra parte, las mezclas elaboradas con cemento asfáltico deben cumplir las normas de la tabla 1.13 establecidas para el procedimiento Marshall. Además, el material pétreo usado para elaborar concreto asfáltico para carpetas deberá tener afinidad con el asfalto, granulometría dentro de la zona marcada en la figura 1.10, contracción lineal máxima de 2%, desgaste medido con la prueba de los Angeles de 40% máximo, equivalente de arena 55% mínimo y forma de las partículas alargadas y/o en forma de laja de 35% máximo.

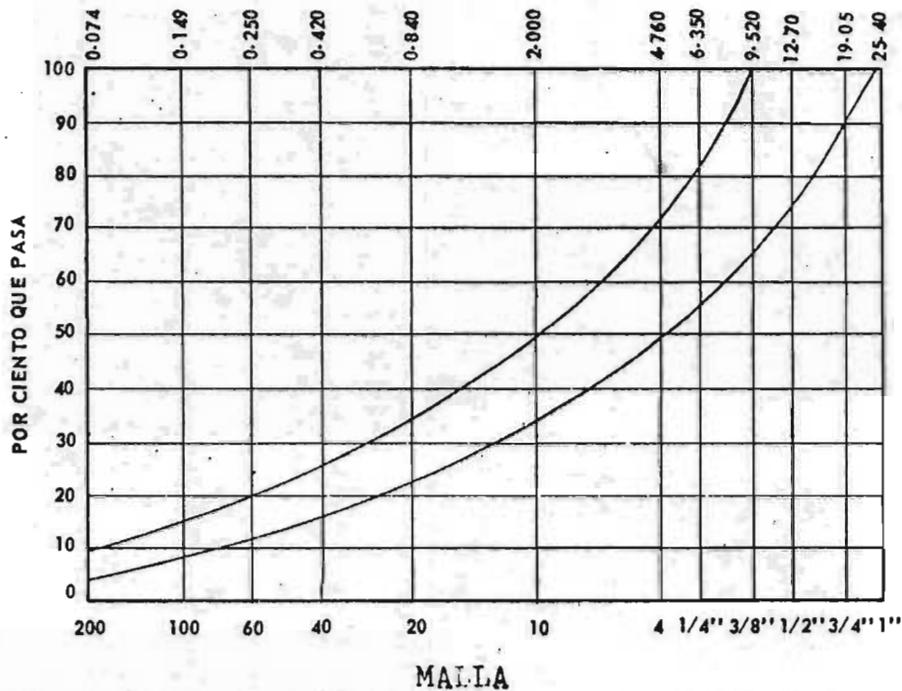


FIG. 1.10.- REQUISITOS GRANULOMETRICOS PARA CONCRETO ASFALTICO.

CARACTERISTICAS	USO DE LA MEZCLA ASFALTICA ELABORADA CON CEMENTO ASFALTICO	PARA CARRETERAS TRANSITO DIARIO EN AMBOS SENTIDOS	
		Hasta 2000 vehiculos pesados (a)	Mas de 2000 vehiculos pesados (a)
Número de golpes por cara.....	.....	50	75
Estabilidad mínima, kilogramos...	Para carpetas, capas de renivelación, bases asfálticas y bacheo.....	450	700
Flujo, en milímetros.....	Para carpetas, capas de renivelación, bases asfálticas y bacheos.....	2-4.5	2-4
Por ciento de vacíos en la mezcla respecto al volumen del espécimen (b).....	Para carpetas y mezclas de renivelación.....	3-5	3-5
	Para bases asfálticas.....	3-8	3-8
Por ciento de vacíos en el agregado mineral (VAM), respecto al volumen del espécimen de mezcla, de acuerdo con el tamaño máximo del material pétreo, mínimo. (b).....	Para carpetas, capas de renivelación, bases asfálticas y bacheo 4.76mm. (Núm. 4)....	18	18
	6.35mm. (1/4 " )....	17	17
	9.51mm. (3/8 " )....	16	16
	12.7 mm. (1/2 " )....	15	15
	19.0 mm. (3/4 " )....	14	14
	25.4 mm. ( 1 " )....	13	13

(a).- Se consideran como vehículos pesados los camiones en todos sus tipos y los autobuses.

(b).- Los porcentos de vacíos de la mezcla y del material pétreo, respecto al volumen del espécimen, deberán determinarse de acuerdo con el procedimiento descrito en el capítulo CXII de la Parte Novena.

TABLA 1.13.- REQUISITOS PARA MEZCLAS ELABORADAS CON CONCRETO ASFALTICO (PRUEBA MARSHALL).

c). Carpetas de Riegos.

Estas carpetas se forman con la colocación de un riego de asfalto caliente y encima un riego de material pétreo y sirven para caminos - con un tránsito menor a 1,000 vehículos pesados diarios. Actualmente se acostumbra dar a la superficie de rodamiento o carpeta, un riego llamado "de sello", que es una carpeta de un riego y es la capa de desgaste que proporciona la textura y color adecuados para dar - seguridad y comodidad al usuario; además "impermeabiliza" la superficie de la carpeta.

Existen carpetas de uno, dos y tres riegos, - en donde para cada riego se usa material pétreo diferente, tal como se indica en las tablas 1.14 y 1.15.

Además, deben cumplir las normas de calidad - para este tipo de carpetas.

El procedimiento para construir las carpetas de riegos se puede generalizar con el sistema de tres riegos que es el siguiente.

- 1.- Barrer la base impregnada.
- 2.- Sobre la base superficialmente barrida e impregnada, aplicar un riego de material asfáltico, generalmente del tipo FR-3, o una emulsión de rompimiento rápido.
- 3.- Cubrir el riego anterior con una capa de material pétreo No. 1.
- 4.- Rastrear y planchar el material pétreo.
- 5.- Sobre el material pétreo planchado, aplicar un segundo riego del material asfáltico citado.
- 6.- Cubrir este segundo riego con una capa de material pétreo No. 2.

- 7.- Rastrear y planchar el material pétreo.
- 8.- Sobre la superficie planchada, aplicar un tercer riego del material asfáltico antes mencionado.
- 9.- Cubrir el tercer riego de material asfáltico con una capa de material pétreo 3-B. (para carpetas de un riego solo se usa material pétreo 3-A o 3-E).
- 10.- Rastrear y planchar el material pétreo.
- 11.- Después de un lapso no menor de tres (3) días, recolectar y remover el material pétreo excedente que no se adhiriera al material asfáltico del tercer riego.

Para las carpetas de 2 y 1 riego, solamente se eliminan las capas de material pétreo No. 1 y 1, 2, respectivamente.

Como el asfalto y el agua no son mezclables, si la llanta rueda directamente sobre el asfalto con agua se produce una superficie resbalosa, por lo que es necesario que las llantas rueden sobre el material pétreo. Esto se logra con una proporción adecuada entre material pétreo y asfalto, hundiendo la gravilla  $2/3$  de su tamaño en el material asfáltico. -- (fig. 1.11), en el caso de un riego de sello.

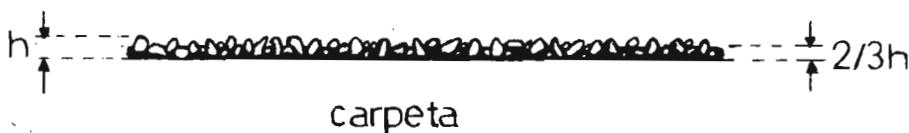


FIG. 1.11.- DISTRIBUCION CORRECTA DE LOS MATERIALES PETREOS Y ASFALTICOS EN LOS RIEGOS DE SELLO.

Las dosificaciones aproximadas de cemento asfáltico y materiales pétreos en Lts/m<sup>2</sup>., para las carpetas de riegos, son las de la tabla -- 1.14.

MATERIALES	TIPO DE CARPETA		
	TRES RIEGOS	DOS RIEGOS	UN RIEGO
Cemento asfáltico Material pétreo No. 1	0.6-1.1 20-25		
Cemento asfáltico Material pétreo No. 2	1.0-1.4 8-12	0.6-1.1 8-12	
Cemento asfáltico Material pétreo 3-A			0.7-1.0 8-10
Cemento asfáltico Material pétreo 3-B	0.7-1.0 6-8	0.8-1.1 6-8	
Cemento asfáltico Material pétreo 3-E			0.8-1.0 9-11

TABLA 1.14

## N O T A S :

- 1). El cemento asfáltico considerado en esta tabla se refiere al que existe en los materiales asfálticos que se emplean.
- 2). Para calcular la cantidad de material asfáltico por aplicar, deberá dividirse el valor anotado en esta tabla entre el contenido de cemento que presente el material asfáltico utilizado, ambos expresados en litros.

Como una norma a seguir, cuando el tránsito diario en ambos sentidos sea mayor a 1,000 vehículos pesados, se hará uso de mezclas con -

MALLAS	CONDICIONES	DENOMINACIÓN DEL MATERIAL PASTREO				
		1	2	3-A	3-B	3-E
De 31.8 mm (1 1/4")	Debe pasar	100%				
De 25.4 mm (1")	Debe pasar	95% mínimo				
De 19.1 mm (3/4")	Debe pasar		100%			
De 12.7 mm (1/2")	Debe pasar		95% mínimo	100%		100%
	Debe retenerse	95% mínimo				
De 9.5 mm (3/8")	Debe pasar			95% mínimo	100%	95% mínimo
De 6.3 mm (1/4")	Debe pasar				95% mínimo	
	Debe retenerse		95% mínimo			
Número 4	Debe retenerse					95% mínimo
Número 8	Debe retenerse		100%	95% mínimo	95% mínimo	100%
Número 40	Debe retenerse			100%	100%	

TABLA 1.15.- Requisitos granulométricos para el material empleado en carpetas de riegos.

cemento asfáltico (concreto asfáltico).

#### 1.2.7 DRENAJE Y SUB-DRENAJE.

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

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

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

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

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

Para encauzar y desalojar estas aguas existe el -

sistema de drenaje y sub-drenaje.

El agua superficial se acostumbra canalizar por medio de las siguientes obras: Bombeo, guarniciones, bordillos, lavaderos, bajadas, bermas, bordos, uso apropiado de vegetación, cunetas, contra cunetas y canales interceptores; los dos últimos generalmente no están bien construidos, pues no se impermeabilizan y son contraproducentes ya que contribuyen a la infiltración del agua con sus consecuencias.

Además de las obras anteriores, se usan las alcantarillas y los puentes, que son obras de drenaje menor y mayor, respectivamente. La diferencia entre ambos se da en función del claro que tengan: menos de 6.00 m., es alcantarilla y más de 6.00 m., se trata de un puente.

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

#### 1.2.8 NORMAS DE CALIDAD.

Hay en vigencia diferentes tipos de normas de calidad que son:

a). Normas de calidad de los materiales, tanto --

pétreos como asfálticos y también los usados en mejoramientos o estabilizaciones.

- b). Normas de calidad para la ejecución de los trabajos.
- c). Normas de calidad complementarias.

En las Especificaciones Generales de Construcción de la S.A.H.O.P., se hallan las normas para los materiales y las capas que forman la sección estructural de un pavimento flexible de carreteras que se deben seguir, ya que la calidad de cada uno de ellos es fundamental en el comportamiento de toda la estructura del camino; en general éstas son las normas que se deben seguir para construir una estructura con pavimento flexible, salvo que en el proyecto se especifiquen otras normas diferentes.

A este respecto, a lo escrito en las especificaciones actuales es conveniente hacerle algunas observaciones, mismas que se incluyen a continuación.

#### 1.2.8.1 OBSERVACIONES A LAS ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION DE LA S.A.H.O.P.

##### PARTE SEGUNDA

En el inciso 11.04.10, dice:

"La capa sub-rasante deberá tener como mínimo treinta (30) centímetros de espesor..."

A este respecto se hace notar que actualmente el espesor de la capa sub-rasante se calcula igual que los espesores de las

capas que forman al pavimento, tomando como referencia el valor relativo soporte - de la capa inferior a la sub-rasante (esto se explicará más adelante), que bien - puede ser la del terreno natural o una capa de material mejorado que tenga calidad de sub-rasante o menor y esté compactada a un grado menor (a dicha capa se le ha - dado en llamar "Subyacente"). Esta capa - también puede ser el propio cuerpo del terraplén y se usará cuando la resistencia - del terreno natural sea tal (se calcula - un espesor sobre el terreno natural), que requiere espesores muy grandes sobre ella, que de ser capas del pavimento, resultan - muy costosas. Por otra parte, es más barato y simple aplicar factores de seguridad en las capas inferiores, porque posterior - mente es más fácil realizar reparaciones - en las capas superiores.

Lo anterior afirma el hecho de que a una - sección estructural de pavimento flexible no la compone solo el pavimento, sino to - das las capas que la forman, incluyendo - el terreno natural.

#### PARTE OCTAVA

En el inciso 90-03.1, se recomienda usar - los materiales de acuerdo con lo indicado en el cuadro anexo 2; en este cuadro, en lo que se refiere a suelos, se indica que los finos con límite líquido entre 50 y - 100, tales como  $MH_1$ ,  $CH_1$ , y  $OH_1$ , pueden -

usarse en el cuerpo del terraplén, compactándolos al 90% de su peso volumétrico seco máximo; aún los materiales  $MH_1$ , y  $CH_1$ , se recomienda usarlos en la capa sub-rasante, compactándolos al 95% de su peso volumétrico seco máximo. Para esta capa se aceptan los materiales que tengan valor relativo de soporte saturado mínimo de 5% y una expansión máxima de 5%. (Las letras  $MH_1$ ,  $CH_1$  y  $OH_1$ , designan a diferentes tipos de material que son: limos inorgánicos de baja o mediana plasticidad o elásticos, arcillas inorgánicas de alta plasticidad o francas y por último limos y arcillas orgánicos de media a alta plasticidad, respectivamente.)

Con respecto a usar materiales como  $MH_1$ ,  $CH_1$  y  $OH_1$  indiscriminadamente en el cuerpo del terraplén, se ha visto de acuerdo con las experiencias en el campo, que al usar estos materiales, que regularmente sufren cambios volumétricos altos bajo diferentes contenidos de humedad, cualquier estructura sobre ellos falla tarde o temprano.

Sería recomendable entonces no usar este tipo de materiales y en el caso obligado de emplearlos (por la poca disponibilidad de material adecuado en el lugar), usar agentes estabilizadores tales como el cemento Portland, la cal, las puzolanas, los materiales asfálticos y el sulfato de calcio, que aunque es una solución ca-

ra, a largo plazo no lo resulta tanto, al disminuir los altos gastos por conservación.

Ahora, si se usan materiales como  $MH_1$  y  $CH_1$ , en la capa sub-rasante, que son peligrosos por sus conocidos cambios volumétricos altos, bajo diferentes contenidos de humedad aún para el cuerpo del terraplén, es de imaginarse el alto efecto nocivo que tendrían sobre el pavimento.

Para el cuerpo del terraplén también es necesario establecer unas normas de calidad que pueden ser: Límite líquido menor a 60%, índice plástico máximo de 25%, valor relativo soporte mínimo de 3% y expansión máxima de 3% (Compactación dinámica al 95% de la prueba AASHTO estándar, con el contenido de agua natural que el suelo tenga a 1.5 m. de profundidad, en el momento de realizar el estudio). En cuanto al tamaño máximo de los fragmentos (cuando el cuerpo del terraplén esté formado por ellos), éste no será mayor que la mitad del espesor del cuerpo del terraplén, con máximo de 1 m. y el metro superior de dicho cuerpo debe ser construido con material con tamaño máximo de 75 mm. (3") y si acaso, con no más de 20% de fragmentos grandes (20 cm.).

Por lo antes expuesto, es recomendable no usar los materiales mencionados en la capa sub-rasante, admitiendo solo materiales --

con valor relativo de soporte saturado mayor o igual a 5% y expansión hasta 1% como máximo (Compactación dinámica al 100% según prueba AASHTO estándar, con contenido de agua óptimo de la prueba.), límite líquido menor a 40%, y un porcentaje granulométrico que pasa la malla No. 200 menor a 25%.

Si se tuviesen que usar dichos materiales, es aconsejable estabilizarlos con alguno de los materiales antes mencionados, con el mismo fundamento mencionado.

Cuando se usa una capa "subyacente" (compactada al 95%), o se le dé tratamiento a la capa inferior a la sub-rasante, ésta se podrá compactar al 100% de su peso volumétrico seco máximo, también se le puede dar ese grado de compactación si no existe capa subyacente y el material del cuerpo del terraplén es de buena calidad y tiene una compactación del 90%.

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

mento.

#### 1.2.9. ANALISIS DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Con referencia a los tipos de pavimentos, en este trabajo solo se mencionan los pavimentos flexi---bles, ya que son los que más se usan en el país, - pero conviene tomar en cuenta los gastos de construcción y conservación de cada uno de los dos tipos principales de pavimentos.

Si se hacen comparaciones, se tendrá que, mien---tras un pavimento flexible requiere de baja inversión en su contrucción (relativamente), durante - su vida útil provoca grandes gastos en su conservación, llegando en casos a necesitar una reconstrucción completa.

Lo anterior se debe a tres razones, la primera, - un proyecto y diseño inadecuados, sea por las deficiencias técnicas o por ahorros mal entendidos, es decir, al evaluar alternativas para realizar - una obra determinada, se puede optar por una solución aparentemente económica, pero mala en cuanto a funcionalidad y durabilidad; es preferible no - escatimar en espesores de pavimento o en calidad- y cantidad de los materiales e invertir en la --- construcción de obras de drenaje y sub-drenaje -- que formen la sección estructural del camino, que estar invirtiendo periódica y fuertemente en reparaciones o refuerzos de un pavimento dado que, a largo plazo, es mucho más caro.

La segunda razón por la que un pavimento flexible no cumple sus funciones adecuadamente, durante un período de vida razonable, es una mala construc---

ción, ya sea porque los materiales no cumplen las condiciones de calidad y resistencia, o porque no se sigan adecuadamente las normas de construcción. Por ello es indispensable una supervisión por parte de los proyectistas en la obra, para ver que se ejecuten los trabajos tal como se dispusieron en el proyecto o para retroalimentar el mismo; -- también es necesario llevar un riguroso control de calidad de los materiales y de la construcción.

La tercera y última razón por la que un pavimento flexible pueda fallar prematuramente, es un inadecuado mantenimiento, o sea, el no realizar trabajos simples tales como limpiezas, desazolves, rellenos de grietas, riegos de sello, etc., puede llevar a una falla funcional y de ahí a una falla estructural o viceversa.

Los pavimentos rígidos, cuando se realice un buen proyecto y construcción, requieren de una alta inversión inicial, pero en sus gastos de conservación necesitan de una mínima inversión.

En este punto es necesario hacer notar que se manejan los conceptos de construcción, conservación, reconstrucción y modernización, más adelante se hablará de lo que es conservación, reconstrucción y modernización; el tema de construcción solo se tratará indirectamente en este escrito.

Para poder entender el desarrollo de este trabajo y continuar con su objetivo, como antecedentes -- también es necesario definir los conceptos de conservación, reconstrucción y modernización de una carretera con pavimento flexible.

Para ésto, es necesario saber antes que es una falla funcional y que es una falla estructural de - un camino pavimentado, en este trabajo se definirán de la siguiente manera:

#### 1.2.9.1 FALLA FUNCIONAL.

Es una alteración de la superficie de rodamiento que repercute, en mayor o menor grado, en la capacidad del camino de permitir un tránsito fluído, cómodo y seguro al usuario; a esta capacidad se le llama de servicio y la manera de cómo medirla - se explicará con mayor detalle más adelante. En este caso será necesario tomar las medidas pertinentes para evitar un mal mayor.

#### 1.2.9.2 FALLA ESTRUCTURAL.

Es la alteración del pavimento que ocasiona, a largo o corto plazo, una reducción en la capacidad de carga de éste, y/o una deformación excesiva.

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

A las medidas que se toman para remediar una falla funcional, o en su defecto, una falla estructural, se les llama "conservación" y cuando el camino ha sido seriamente

te dañado, en tramos cortos o largos, se les llama reconstrucción o modernización. El que se opte por alguna de estas operaciones depende del avance del mal, por un lado y por otro lado, de la disponibilidad de presupuesto. Lo que procede ahora es - definir qué es conservación, reconstruc-- ción y modernización.

### 1.2.9.3 CONSERVACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Se entenderá por conservación, todos los trabajos necesarios a realizar a un camino pavimentado, para que cumpla con sus - funciones en un grado aceptable de comodidad y seguridad, evitando que un pequeño-desperfecto llegue a provocar una falla - funcional y posteriormente, una falla es- tructural. Lo anterior no quiere decir -- que para que haya falla estructural, necesariamente tenga que existir la falla funcional. En otras palabras, es conservarle a la carretera condiciones de servicio -- adecuadas.

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

- Conservación Preventiva
- Conservación Correctiva

La diferencia entre ambas es difícil de - establecer.

Como algo no muy exacto, se dirá que en - la conservación preventiva, se llevan a -

cabo trabajos de limpieza de cunetas y -contracunetas, desazolves de tubos, alcatarillas y puentes, eliminación de vegetación que reduzca el área hidráulica efectiva, limpieza, de sub-drenes, etc.

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

#### 1.2.9.4 RECONSTRUCCION O REHABILITACION DE CARRETERAS CON PAVIMENTO FLEXIBLE.

Se le llama reconstrucción a la metodología que se sigue cuando las condiciones del pavimento son tales, que el tránsito ya no se realiza con comodidad y seguridad, debido a que la estructura ha sido dañada y se ha deformado considerablemente.

Cuando la estructura ha sido dañada o se ha excedido su capacidad de carga, ya no es suficiente con reparar sólo la superficie de rodamiento, y entonces hay que reforzar o renovar dicha estructura, en otras palabras hay que devolverle al pavimento propiedades que den como resultado un tránsito eficaz, cómodo y seguro.

#### 1.2.9.5 MODERNIZACION DE CARRETERAS CON PAVIMENTO FLEXIBLE.

Cuando además de que la estructura de una

carretera haya sido dañada ésta última -- tenga un alto volumen de tránsito y haya llegado o sobrepasado el límite de la capacidad de servicio, o sea, esté saturada, es necesario realizar trabajos más -- profundos que consisten en:

- a). Darle características funcionales adecuadas al pavimento.
- b). Darle a la carretera alineamientos -- verticales y horizontales adecuados a los crecientes tránsitos, así como -- secciones más anchas que permitan un tránsito fluído, esto puede incluir -- ampliación a más carriles de circulación.

## II. FACTORES QUE SE DEBEN TOMAR EN CUENTA PARA LA CONSERVACION, LA RECONSTRUCCION O MODERNIZACION.

Establecidos los antecedentes, se tratará entonces lo relacionado con los factores que intervienen en la conservación, reconstrucción y modernización de carreteras con pavimento flexible.

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

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

Dicho estudio se explica en el apéndice 2.1.

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

## A). Clasificación de transitabilidad.

Corresponde, en general, a etapas de construcción y es como sigue:

<u>TIPO DE CAMINO</u>	<u>CONDICION</u>
camino pavimentado	Pavimento flexible o rígido.
camino revestido	Transitable en todo tiempo
camino de tierra o terracerías.	Transitable en tiempo de secas.

## B). Clasificación administrativa.

En lo general, es independiente de las características técnicas del camino.

Existe una división en base a la dependencia del gobierno - tiene a su cargo la construcción, conservación u operación de un camino determinado y es la siguiente:

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

### C). Clasificación técnica oficial.

Distingue en forma precisa la categoría física del camino además, toma en cuenta los volúmenes de tránsito sobre el camino y las especificaciones geométricas. Generalmente, esta clasificación asigna categorías por letra.

La S.A.H.O.P., clasifica a los caminos como se indica en tabla 2.1, de acuerdo al número de vehículos. En el diario oficial de fecha 28 de noviembre de 1980, aparece la siguiente clasificación, de acuerdo con el tipo de vehículo

#### a). Camino Tipo "A".

Es el que por los requerimientos económicos y de comunicación de los espacios geográficos del territorio nacional permite el tránsito de todos los vehículos cuyos pesos por eje están contenidos en las tablas 2.2 y 2.3.

#### b). Camino tipo "B".

Es el que sólo permite el tránsito de los siguientes vehículos:  $B_2$ ,  $B_{2c}$ ,  $B_3$ ,  $B_4$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $T_2-S_1$ ,  $T_2-S_2$  y  $T_3-S_2$ , cuyos pesos por eje, están incluidos en las tablas 2.2 y 2.3.

#### c). Camino tipo "C".

Es el que únicamente permite el tránsito de los siguientes vehículos:  $B_2$ ,  $B_{2c}$ ,  $B_3$ ,  $B_4$ ,  $C_2$  y  $C_3$  cuyos pesos por eje están señalados en las tablas 2.2 y 2.3; también se muestra un mapa con la red de caminos de jurisdicción federal (fig. 2.1) y un resumen de su longitud (tabla 2.4).

Los tipos de vehículos mencionados son los que se aprecian en la figura 2.2.

CONCEPTO		UNIDAD	TIPO DE CARRETERA																																							
			E					D					C					B					A																			
TDPA	EN EL HORIZONTE DE PROYECTO	Veh/día	HASTA 100					100 a 500					500 a 1500					1500 a 3000					MAS DE 3000																			
TIPO DE TERRENO			<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>MONTAÑOSO</span> <span>LOMERIO</span> <span>PLANO</span> </div>																																							
VELOCIDAD DE PROYECTO		km/h	30	40	50	60	70	30	40	50	60	70	40	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100	110	60	70	80	90	100	110										
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA		m	30	40	55	75	95	30	40	55	75	95	40	55	75	95	115	135	155	55	75	95	115	135	155	175	75	95	115	135	155	175										
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE REBASE		m	-	-	-	-	-	135	180	225	270	315	180	225	270	315	360	405	450	225	270	315	360	405	450	495	270	315	360	405	450	495										
GRADO MAXIMO DE CURVATURA		°	60	30	17	11	7.5	60	30	17	11	7.5	30	17	11	7.5	5.5	4.25	3.25	17	11	7.5	5.5	4.25	3.25	2.75	11	7.5	5.5	4.25	3.25	2.75										
CURVAS		K	CRESTA		m / %																																					
			COLUMPIO		m / %																																					
VERTICALES		LONGTUD MINIMA	m																																							
PENDIENTE GOBERNADORA		%	9 7 -					8 6 -					6 5 -					5 4 -					4 3 -																			
PENDIENTE MAXIMA		%	13 10 7					12 9 6					8 7 5					7 6 4					6 5 4																			
ANCHO DE CALZADA		m	4.00					6.00					6.00					7.00					<table border="1" style="font-size: small;"> <tr> <td>A-2</td> <td>A-4</td> <td>A-5</td> </tr> <tr> <td>7.00</td> <td>7.00</td> <td>7.00</td> </tr> <tr> <td>(2 carriles)</td> <td>(4 carriles)</td> <td>(4 carriles)</td> </tr> <tr> <td>12.00</td> <td>≥ 22.00</td> <td>≥ 31.00</td> </tr> <tr> <td>Un curso</td> <td>Un curso</td> <td>Cursos separados</td> </tr> </table>					A-2	A-4	A-5	7.00	7.00	7.00	(2 carriles)	(4 carriles)	(4 carriles)	12.00	≥ 22.00	≥ 31.00	Un curso	Un curso	Cursos separados
A-2	A-4	A-5																																								
7.00	7.00	7.00																																								
(2 carriles)	(4 carriles)	(4 carriles)																																								
12.00	≥ 22.00	≥ 31.00																																								
Un curso	Un curso	Cursos separados																																								
ANCHO DE CORONA		m	4.00					6.00					7.00					9.00					<table border="1" style="font-size: small;"> <tr> <td>30 cm</td> <td>30 cm</td> <td>30 cm</td> </tr> <tr> <td>Un curso</td> <td>Un curso</td> <td>Cursos separados</td> </tr> </table>					30 cm	30 cm	30 cm	Un curso	Un curso	Cursos separados									
30 cm	30 cm	30 cm																																								
Un curso	Un curso	Cursos separados																																								
ANCHO DE ACOTAMIENTOS		m	-					-					0.50					1.00					<table border="1" style="font-size: small;"> <tr> <td>2.50</td> <td>2.50</td> <td>2.50</td> </tr> <tr> <td>0.5 m</td> <td>0.5 m</td> <td>1.0 m</td> </tr> </table>					2.50	2.50	2.50	0.5 m	0.5 m	1.0 m									
2.50	2.50	2.50																																								
0.5 m	0.5 m	1.0 m																																								
ANCHO DE FAJA SEPARADORA CENTRAL		m	-					-					-					-					<table border="1" style="font-size: small;"> <tr> <td>2.00</td> <td>2.00</td> <td>2.00</td> </tr> </table>					2.00	2.00	2.00												
2.00	2.00	2.00																																								
BOMBEO		%	3					3					2					2					2																			
SOBREELEVACION MAXIMA		%	10					10					10					10					10																			

TABLA 2.1 CLASIFICACION Y CARACTERISTICAS DE LAS CARRETERAS



VEHICULO TIPO	CARGA MAXIMA POR EJE (TON.)								
	EJE 1	EJE 2	EJE 3	EJE 4	EJE 5	EJE 6	EJE 7	EJE 8	EJE 9
C <sub>2</sub> PBV =15,5 Ton. PBV =14,0 Ton. PBV =12,0 Ton.	5,5 RS 5,0 RS 4,0 RS	10,0 RD 9,0 RD 8,0 RD							
B <sub>2</sub> PBV =15,5 Ton.	5,5 RS	10,0 RD							
B <sub>2C</sub> PBV =15,5 Ton.	5,5 RS	10,0 RD							
C <sub>3</sub> PBV =23,5 Ton. PBV =20,0 Ton. PBV =18,0 Ton.	5,5 RS 5,0 RS 4,0 RS	9,0 RD 7,5 RD 7,0 RD	9,0 RD *2T 7,5 RD *2T 7,0 RD *2T						
B <sub>3</sub> PBV =20,0 Ton. PBV =23,5 Ton.	5,5 RS 5,5 RS	9,0 RD 9,0 RD	5,5 RS *2T 9,0 RD *2T						
T <sub>2-S1</sub> PBVC=25,5 Ton. PBVC=23,0 Ton.	5,5 RS 5,5 RS	10,0 RD 9,0 RD	10,0 RD 9,0 RD						
B <sub>4</sub> PBV =27,0 Ton.	4,5 RS	4,5 RS*2T	9,0 RD	9,0 RD *2T					
C <sub>4</sub> PBV =28,0 Ton.	5,5 RS	7,5 RD	7,5 RD	7,5 RD *3T					
T <sub>2-S2</sub> PBVC=33,5 Ton. PBVC=29,0 Ton.	5,5 RS 5,0 RS	10,0 RD 9,0 RD	9,0 RD 7,5 RD	9,0 RD *2T 7,5 RD *2T					
C <sub>2-R2</sub> PBVC=35,5 Ton.	5,5 RS	10,0 RD	10,0 RD	10,0 RD					
C <sub>3-R2</sub> PBVC=43,5 Ton.	5,5 RS	9,0 RD	9,0 RD *2T	10,0 RD	10,0 RD				
T <sub>3-S2</sub> PBVC=41,5 Ton. PBVC=35,0 Ton.	5,5 RS 5,0 RS	9,0 RD 7,5 RD	9,0 RD *2T 7,5 RD *2T	9,0 RD 7,5 RD	9,0 RD *2T 7,5 RD *2T				
T <sub>2-S1-R2</sub> PBVC=45,5 Ton.	5,5 RS	10,0 RD	10,0 RD	10,0 RD	10,0 RD				
T <sub>3-S3</sub> PBVC=46,0 Ton.	5,5 RS	9,0 RD	9,0 RD *2T	7,5 RD	7,5 RD	7,5 RD *3T			
T <sub>3-S1-R2</sub> PBVC=53,5 Ton.	5,5 RS	9,0 RD	9,0 RD *2T	10,0 RD	10,0 RD	10,0 RD			
T <sub>2-S2-R2</sub> PBVC=53,5 Ton.	5,5 RS	10,0 RD	9,0 RD	9,0 RD	10,0 RD	10,0 RD			
C <sub>3-R3</sub> PBVC=51,5 Ton.	5,5 RS	9,0 RD	9,0 RD *2T	10,0 RD	9,0 RD	9,0 RD *2T			
T <sub>3-S2-R2</sub> PBVC=61,5 Ton.	5,5 RS	9,0 RD	9,0 RD *2T	9,0 RD	9,0 RD *2T	10,0 RD	10,0 RD		
T <sub>3-S2-R3</sub> PBVC=69,5 Ton.	5,5 RS	9,0 RD	9,0 RD *2T	9,0 RD	9,0 RD *2T	10,0 RD	9,0 RD	9,0 RD *2T	
T <sub>3-S2-R4</sub> PBVC=77,5 Ton.	5,5 RS	9,0 RD	9,0 RD *2T	9,0 RD	9,0 RD *2T	9,0 RD	9,0 RD*2T	9,0 RD	9,0 RD*2T

TABLA 2.2 PESOS POR EJE DE LOS VEHICULOS

NOTAS: (TABLA 2.2.)

- PBV:           Peso bruto vehicular.
- PBVC:          Peso bruto vehicular combinado.
- RS:            Rueda sencilla.
- RD:            Rueda doble.
- Sin seña:      Eje sencillo.
- \*2T:           Eje tándem.
- \*3T:           Eje triple.
- C:             Camiones.
- B:             Autobuses.
- T:             Tractor.
- S:             Semirremolque.
- R:             Remolque.
  
- El orden de los ejes va del frente de los --  
vehículos hacia atrás.
  
- Cuando aparezcan diferentes pesos brutos vehi-  
culares, el más alto será el permitido en ca-  
minos tipo "A", el que sigue en caminos tipo  
"B" y el último el permitido en caminos tipo  
"C".
  
- El ancho máximo de los vehículos considerados  
es de 2.50 m., por lo que necesitan de un an-  
cho mínimo de 3.00 m., no obstante, con este  
ancho existen restricciones para la circula-  
ción y algunas veces llegan a pasar vehículos  
con anchos mayores, por lo que el ancho ópti-  
mo se considera de 3.65 m.

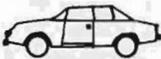
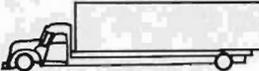
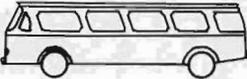
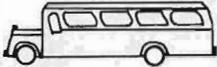
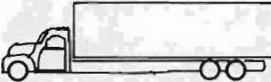
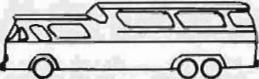
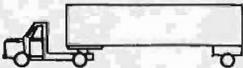
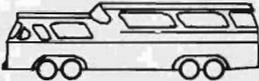
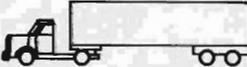
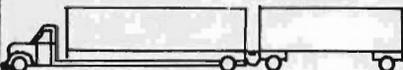
Nomenclatura	Nº de Ejes.	Clase	Croquis del Vehículo
A 2	2	AUTOMOVIL	
C 2	2	CAMION	
B 2	2	AUTOBUS INTEGRAL O SOBRE CHASIS	
B2o	2	AUTOBUS CONVENCIONAL	
C 3	3	CAMION	
B 3	3	AUTOBUS INTEGRAL	
T2-SI	3	TRACTOR Y SEMIRREMOLQUE	
B 4	4	AUTOBUS INTEGRAL	
C 4	4	CAMION	
T2-S2	4	TRACTOR Y SEMIRREMOLQUE	
C2-R2	4	CAMION Y REMOLQUE	

Fig. 2.2

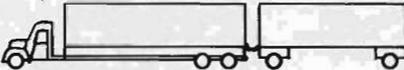
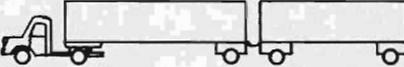
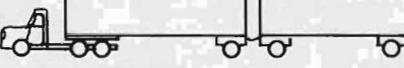
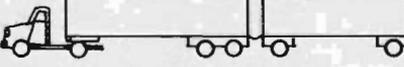
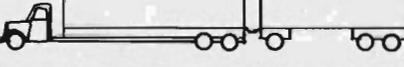
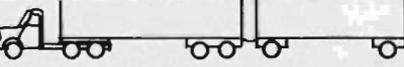
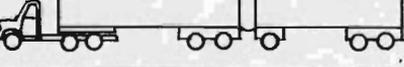
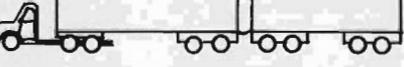
Nomenclatura	Nº de Ejes	Clase	Croquis del Vehículo
C3-R2	5	CAMION REMOLQUE	
T3-S2	5	TRACTOR Y SEMIRREMOLQUE	
T2-S1-R2	5	TRACTOR SEMIRREMOLQUE Y REMOLQUE	
T3-S3	6	TRACTOR Y SEMIRREMOLQUE	
T3-S1-R2	6	TRACTOR SEMIRREMOLQUE Y REMOLQUE	
T2-S2-R2	6	TRACTOR SEMIRREMOLQUE Y REMOLQUE	
C3-R3	6	CAMION Y REMOLQUE	
T3-S2-R2	7	TRACTOR SEMIRREMOLQUE Y REMOLQUE	
T3-S2-R3	8	TRACTOR SEMIRREMOLQUE Y REMOLQUE	
T3-S2-R4	9	TRACTOR SEMIRREMOLQUE Y REMOLQUE	

Fig. 2.2 (Continuación)

Los tipos de camino "D" y "E" no están considerados y corresponden a caminos vecinales y rurales de --- acceso, respectivamente.

D). Clasificación de capacidad.

La práctica popular en el campo técnico, divide a - los caminos en:

- a). Autopistas (de 4 o más carriles).
- b). Caminos de 3 carriles (en México no los hay).
- c). Caminos de 2 carriles.
- d). Brecha.

CARGAS MAXIMAS PERMITIDAS EN LOS  
DIFERENTES TIPOS DE CAMINOS.

TIPO DE EJE	TIPO DE CAMINO	PESO AUTORIZADO EN KG.		
		A	B	C
Un eje sencillo	Con dos llantas	5,500 (1)	5,000 (1)	4,000 (1)
Un eje sencillo	Con cuatro llantas	10,000 (1)	9,000 (1)	8,000 (1)
Dos ejes -- sencillos - en tandem	Con dos -- llantas en cada eje	4,500/eje (1)	3,750/eje (1)	3,500/eje (1)
Dos ejes -- sencillos - en tandem	Con cuatro llantas en cada eje	9,000/eje (1)	7,500/eje (1)	7,000/eje (1)
Tres ejes - sencillos - en tandem	Con cuatro llantas en cada eje	7,500/eje (1)	No permitido (2)	No permitido (2)

TABLA 2.3

## Notas de la Tabla 2.3

- 1) Cuando las llantas que se empleen no soporten la -- concentración de peso indicado, la base de cálculo-- se reducirá a la capacidad de las llantas emplea--- das.
- 2) En cada caso se hará un estudio para determinar la concentración permisible de peso.

N O T A: Se autoriza el tránsito de autobuses en los ca minos tipo "B" y "C" con las concentraciones - de carga por eje estipuladas para caminos tipo "A".

LONGITUD EN KILOMETROS DE LOS PRINCIPALES CAMINOS  
DE JURISDICCION FEDERAL

CAMINO TIPO	SIN RESTRIC CIONES PARA LA CIRCULA CION	CON RESTRIC CIONES PARA LA CIRCULA-- CION	TOTAL
"A"	16,735	1,968	18,703
"B"	15,458	3,871	19,329
"C"	1,251		1,251
TOTAL	33,444	5,839	39,283

TABLA 2.4

La importancia del camino será función de la importancia so cial y/ó económica de los lugares que comunique, o sea, será más importante un camino que conecte, por ejemplo, dos puer tos, que un camino ramal que comunica una población con una vía troncal.

Lo anterior toma en cuenta el punto de vista conservación, re

contrucción o modernización, es decir, la prioridad de conservar, reconstruir o modernizar un camino, será más alta - en el primer tipo de camino puesto que éste brinda mayores beneficios económicos al país.

La rentabilidad del camino se puede valorar usando el ejemplo anterior; el primer tipo de camino será más rentable, - puesto que dará paso al tránsito de camiones con carga comercial, que tiene repercusión directa en la economía del país. Lo mismo sucede con las carreteras que comunican con centros turísticos.

El segundo tipo de camino cumplirá sólo con el objetivo de comunicar a la población pequeña con otras más grandes y, - si acaso, contribuirá al beneficio económico del país de -- una manera mucho menor.

Pasando al aspecto particular, que involucra las características del camino, se analizará con mucho más detalle cada - uno de los factores que intervienen en su conservación, reconstrucción o modernización.

Una vez determinada la necesidad de conservar, reconstruir o modernizar un camino cualquiera en función de su importancia económica y/o social y su deterioro, el siguiente paso es programar las actividades para efectuarle cualquiera de los procedimientos mencionados.

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

tricas. En el capítulo siguiente se tratará con mucha más amplitud este tema.

Un factor importantísimo para decidir si a un camino se le realiza conservación, reconstrucción o modernización es el presupuesto, muchas veces este factor es el que obliga a reforzar un camino con una sobre-carpeta, por ejemplo, en lugar de modernizarlo; también dependiendo de que en la mayoría de los caminos, el flujo no se debe interrumpir.

El siguiente factor es el tránsito, esto es, que cantidad y tipo de vehículos circula por un camino. Si el tránsito existente está compuesto en su mayor parte por vehículos pesados, es muy probable que la sección estructural de ese camino necesite una modernización o reconstrucción y aquí entra otro factor, que es el de la estructura actual del camino y los materiales con que está formado, así como su historia.

Como se vió en el primer capítulo, el eterno problema es -- que el tránsito evoluciona, en número y peso, desproporcionadamente a como evolucionan los caminos, los cuales periódicamente tienen que modernizarse para soportar los crecientes tránsitos y agilizarlos; así tenemos que si un camino se modernizó por ejemplo, hace unos 10 o 15 años, seguramente necesite ya una renovación o cuando menos un refuerzo si no se le ha realizado.

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

vicio del camino. (Explicado en el apéndice 2.1 de éste capítulo). Los anchos y otras especificaciones para los diferentes tipos de caminos son las mostradas en la tabla 2.1.

Los métodos para proyectar refuerzos o reconstrucciones se citan en el capítulo IV de este escrito.

Las cargas autorizadas para cada tipo de vehículos, son -- las ilustradas en la tabla 2.2.

En resumen, los factores que influyen para saber si una carretera necesita conservación, reconstrucción o modernización son los siguientes:

- 1.- Importancia social y/o económica de los puntos que comunica la carretera.
- 2.- Estado actual de la sección estructural de la carretera, que se refleja en la condición de la superficie de rodamiento, y que se puede medir con una evaluación, es decir, una revisión que va desde la superficie de rodamiento hasta el terreno natural, incluyendo obras de drenaje y sub-drenaje; -- como ya se mencionó, esta evaluación se detalla en el siguiente capítulo.
- 3.- La cantidad y tipo de vehículos, o sea, el tránsito, que se debe obtener por aforos que sean representativos y confiables.

La manera de saber si una carretera puede conducir cierto volumen de tránsito, sin saturarse, es por medio de un análisis de capacidad de servicio, que se explica en este mismo capítulo (Apéndice 2.1).

- 4.- El medio ambiente, es decir la topografía, climatología, geografía, vegetación, geología, etc.

Con respecto a éste último inciso, es necesario señalar su

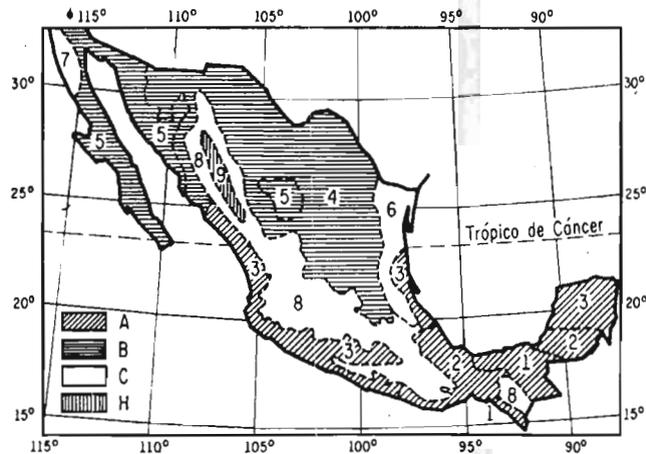
importancia.

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

- a) Terreno plano.- Se define como cualquier combina---ción de los alineamientos horizontal y vertical, -- que permita a los vehículos pesados mantener la misma velocidad de los vehículos ligeros.
- b) Terreno en lomerío.- Es cualquier combinación de -- los alineamientos horizontal y vertical, que obliga a los vehículos pesados a reducir su velocidad con respecto a la de los vehículos ligeros, en algunos-tramos de la carretera. Generalmente a este tipo de terreno se le sub-divide en lomerío suave y fuerte.
- c) Terreno montañoso.- Se le llama así al terreno en - donde la combinación de los alineamientos vertical- y horizontal, obliga a los vehículos pesados a ope- rar con velocidades mucho menores que las de los vehículos ligeros en distancias considerables y a in-tervalos frecuentes.

Dependiendo de su longitud, las carreteras se pueden alojar en zonas con una misma o diferentes climatologías; en el medio de las carreteras se suele usar el sistema de clasificación de climas Köppen-Geiger, para saber la climatología de algún lugar. La carta es la de la figura 2.3, que es de fá-cil empleo; ésta nos sirve para tener idea del comportamiento futuro de los materiales disponibles del lugar bajo las condiciones climatológicas del mismo.

En cuanto a las otras características ambientales, como son geología, geografía vegetación e inclusive uso del suelo,--



### PRIMERA LETRA

- A, C, D - Suficiente calor y precipitación para el crecimiento de árboles grandes  
 A - Climas tropicales. Todas las temperaturas medias mensuales mayores de 18°C  
 B - Climas secos. Fronteras determinadas mediante los gráficos T-R  
 C - Climas templado calurosos. Temperatura media del mes más frío entre 18° y -3°C  
 D - Climas de nieve. Temperatura media del mes más caluroso mayor de 10°C; del mes más frío menor de -3°C  
 E - Climas polares. Temperatura media del mes más caluroso menor de 10°C

### SEGUNDA LETRA

- S - Clima estepario  
 W - Clima desértico  
 f - Suficiente precipitación todos los meses  
 m - Clima de selva, a pesar de una estación seca  
 s - Tiempo seco en verano  
 w - Tiempo seco en invierno  
 \* Fronteras determinadas por gráficos T-R. Solo se usa en combinación con la primera letra B

### TERCERA LETRA

- a - Temperatura media del mes más caluroso, mayor de 22°C  
 b - Temperatura media del mes más caluroso, menor de 22°C (por lo menos cuatro meses tienen medias mayores de 10°C)  
 c - Menos de cuatro meses tienen medias mayores de 10°C  
 d - Igual que c, pero la media del mes más frío menor de -38°C  
 h - Seco y caliente. Temperatura media anual mayor de 18°C  
 k - Seco y frío. Temperatura media anual menor de 18°C  
 H - Clima de montaña. Extremoso, tipo alpino

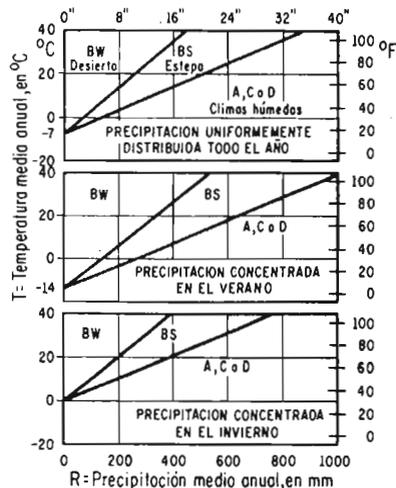


FIG. 2.3.- CLASIFICACION DE CLIMAS BASADAS EN EL SISTEMA KÖPPEN-GEIGER.

CLIMAS				REGIMEN PLUVIOMETRICO	PRECIPITACION ANUAL EN m m	TEMPERATURA DATOS TÍPICOS			CIUDADES REPRESENTATIVAS	
						ANUAL	MENSUAL			
							máx.	mín.		
A	TROPICAL	Afa	1	Ecuatorial, tipo amazónico caluroso regular	Lluvias conveccionales muy abundantes casi todo el año	2000 a 3000	25.0	28.0	21.0	Villahermosa, Coatzacoalcos, Topochula
		Ama	2	Subecuatorial, tipo sudanes caluroso regular	Lluvias conveccionales con dos estaciones	1000 a 2500	24.9	27.6	20.8	Tierra Blanca, Cd del Carmen, Salina Cruz, Córdoba, Orizaba
		Awa	3	Tropical, tipo senegalés variaciones térmicas	Tropical con lluvias conveccionales en verano y otoño	Interior a 2500	27.1	28.6	25.6	Veracruz, Acapulco, Manzanillo, Mazatlán, Mérida, Chetumal, Campeche
B	SECO	Bsk	4	Esteparia, tipo senegalés o tipo sirio. Caluroso o templado medio, oscilaciones térmicas sensibles	Semejante al desértico	100 a 500	16.9	21.8	12.4	Torreón, Saltillo, Monclova, Loredo, Guaymas, Monterrey
		BWh	5	Desértico, tipo sahariano extremo	Desértico	60 a 200	23.0	38.8	17.4	Cuatro Ciéneas, Sta. Rosalía Mexicali, La Paz
C	SUB TROPICAL	Cfa	6	Subtropical mediterráneo con influencia de monzón tipo chino caluroso medio, oscil. term. notab.	Tropical con precipitaciones torrenciales en verano lluvias ciclónicas en invierno	Aprox. a 1000	23.5	29.0	16.4	Matamoros, Ciudad Victoria, Tampico
		Csb	7	Mediterráneo, tipo portugués templado medio, veranos secos y calientes	Mediterráneo con lluvias ciclónicas en invierno	400 a 700	16.6	20.4	13.0	Ensenada, Zaragoza
		Cwh	8	Subtropical de altura, tipo mexicano. Templado regular	Tropical, con lluvias conveccionales en verano y parte del otoño	300 a 1000	15.5	18.3	12.3	México, Guadalajara, Puebla, León, Aguascalientes, Zacotecas, San Cristobal las Casas, Oaxaca
H	DE MONTAÑA	H	9	De montaña, extremo tipo alpino	—	—	10.5	15.5	5.5	Ciudad Guerrero, Cascas Grandes, Temascalh, El Salto

FIG. 2.3.- CLASIFICACION DE CLIMAS BASADAS EN EL SISTEMA KÖPPEN-GEIGER (CONTINUACION).

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

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

La geología nos ayuda a conocer los posibles tipos de mate- riales sobre los que se construirá el camino y además los - materiales que probablemente nos servirán para construirlo.

A P E N D I C E 2.1

## ANALISIS Y CAPACIDAD DE SERVICIO

La capacidad de servicio de un camino es función de sus características geométricas, así como de las características de la superficie de rodamiento. También es función de las características de la operación del tránsito como son los volúmenes de tránsito, tendencias y variaciones en la velocidad, interdependencia entre velocidades y volúmenes, así como también del espaciamiento vehicular en relación con su efecto en la capacidad.

Para introducirse al tema del análisis de la capacidad de servicio es necesario conocer antes algunos conceptos, los que se detallan a continuación de acuerdo con el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras de la SAHOP.

### 1.- CAPACIDAD DE LA CARRETERA O DE UN CARRIL.

Es el número máximo de vehículos que pueden circular por él durante un período de tiempo determinado y bajo condiciones prevaletientes.

### 2.- CONDICIONES PREVALECIENTES.

Se dividen en dos grupos generales, que son:

- a). Condiciones establecidas por las características físicas del camino.
- b). Condiciones que dependen de la naturaleza del tránsito en el camino. Existen también las condiciones ambientales, pero su efecto no será discutido.

### 3.- NIVEL DE SERVICIO.

Este término denota un número de condiciones de ope

ración diferentes que pueden ocurrir en un camino o carril dado, cuando circulan por él varios volúmenes de tránsito. Es una manera de medir cualitativamente los efectos que causan la velocidad, el tiempo de recorrido, las interrupciones del tránsito, - la libertad de manejo, la seguridad, la comodidad y los costos de operación, todos ellos interrelacionados.

#### 4.- VOLUMEN DE SERVICIO.

Es el máximo número de vehículos que pueden circular por un camino durante un período de tiempo de - terminado con las condiciones de operación corres-- pondientes a un nivel de servicio dado. A cada ni-- vel de servicio le corresponde un volumen de trásito al que se le llama volumen de servicio para ese nivel.

La capacidad y el volumen de servicio máximo son -- equivalentes y ambos se expresan como volúmenes ho-- rarios.

#### 5.- TIPOS DE CAMINO.

Existen varios tipos de caminos que, dependiendo de su función, son los siguientes:

- a) Con control total de accesos.
- b) Con control parcial de accesos.
- c) Camino dividido. Divide el tránsito en dos sentidos mediante una faja separadora central.
- d) Camino no dividido.
- e) Arterias urbanas.
- f) Camino de dos carriles. Que es un camino no dividido.
- g) Camino de tres carriles.

- h) Camino de carriles múltiples. También es un camino no dividido.
- i) Vía rápida. Camino dividido.
- j) Autopista. Vía rápida con control total de accesos.

En este trabajo se enfocarán solamente los caminos de dos carriles, carriles múltiples, las vías rápidas y las autopistas.

#### 6.- CONCEPTOS RELACIONADOS CON EL TRANSITO.

Algunos conceptos de interés relacionados con el tránsito son:

- a) Factor de la Hora de Máxima Demanda (FHMD). Es la relación entre el volumen registrado en la hora de máxima demanda y el valor máximo de la circulación durante un período de tiempo dado dentro de dicha hora, multiplicado por el número de veces que ese período cabe en una hora. Su valor más alto es la unidad y debe limitarse para un período corto dentro de la hora, generalmente cinco o seis minutos en las autopistas y 15 minutos en las intersecciones.
- b) Circulación continua. Es aquella condición del tránsito por la que un vehículo que recorra un tramo de camino no está obligado a detenerse por alguna causa externa a la corriente del tránsito.

#### 7.- OBJETIVOS DEL ANALISIS DE LA CAPACIDAD DE SERVICIO.

El cálculo de la capacidad o el volumen de servicio de un camino, es útil para dos cosas:

- A) Proyectar un camino nuevo.
- B) Saber las condiciones actuales y futuras de ope-

ración de un camino existente y tomar decisiones en cuanto a reconstruirlo o modernizarlo.

Para el objetivo de éste escrito, sólo interesa el segundo caso, es decir, al comparar el volumen de tránsito que circula por un camino existente y el volumen de servicio del mismo, acorde con sus características geométricas y del tránsito mismo, se puede determinar el nivel de servicio a que está operando, y la fecha futura probable en que quedará saturado.

Este conocimiento de los niveles de servicio actuales y futuros permite establecer prioridades en cuanto a la conservación, reconstrucción o modernización de los diferentes caminos.

Por otra parte, para realizar el análisis es necesario conocer las características del tránsito que siguen:

A) Características del volumen.

- a) Máximos volúmenes observados.
- b) Distribución por sentidos.
- c) Distribución por carriles.
- d) Composición del tránsito (Porcentajes de los tipos de vehículos).
- e) Fluctuaciones del tránsito en el tiempo.
- f) Relación entre los volúmenes horarios de proyecto y el tránsito promedio diario anual (T.P.D.A.).

B) Características de la velocidad:

- a) Tendencias de la velocidad.

- b) Variaciones diarias de la velocidad.
  - c) Velocidad media por carriles.
  - d) Fluctuaciones de la velocidad.
- C) También es necesario conocer otras condiciones - relativas al modo de moverse de los vehículos, - como son:

- a) La distancia entre frente y frente de vehículos sucesivos es el espaciamiento y el tiempo transcurrido entre el paso del frente de un vehículo y el del otro sucesivo, es el intervalo.

Las relaciones matemáticas son:

$$\text{Intervalo (Seg.)} = \frac{\text{Espaciamiento (m)}}{\text{Velocidad (m/seg.)}}$$

Siempre que las corrientes de tránsito operen en forma constante.

$$\text{Densidad (Veh/Km)} = \frac{1000 \text{ (m/Km.)}}{\text{Espaciamiento medio (m/veh.)}}$$

$$\text{Volumen (v.p.h.)} = \frac{3600 \text{ (seg/h.)}}{\text{Intervalo medio (seg/veh.)}}$$

- b) El espaciamiento como una medida de la capacidad. Se presenta como la siguiente relación, - considerando un solo carril de tránsito para diseño, por simplicidad.

$$\text{Volumen (v.p.h.)} = \frac{1000 \text{ (m/Km.)} \times \text{velocidad (Km/h.)}}{\text{Espaciamiento (m/veh.)}}$$

- c) Distribución de los intervalos y flujo al azar.
- d) Efecto de las interrupciones del tránsito en los intervalos. Las relaciones entre veloci--

dad, volumen y densidad y su variación son -- las siguientes:

- Relación velocidad-volumen.

Su variación se aprecia en la fig. 2.4.

- Relación velocidad-densidad

En la figura 2.5 se puede ver su interdependencia.

- Relación volumen-densidad

En la figura 2.6 se puede conocer la variación de ésta relación.

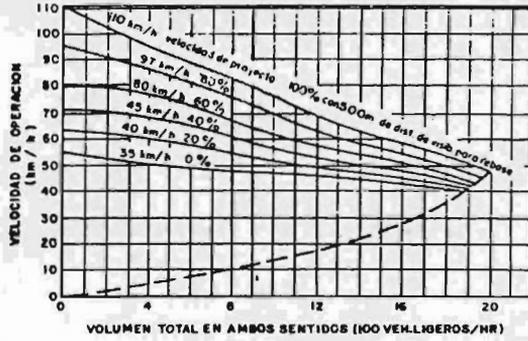
#### 8.- CAPACIDADES MAXIMAS PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE CAMINOS.

De acuerdo con observaciones y análisis de tránsito, se ha llegado a establecer valores de la capacidad para diferentes caminos, suponiendo ciertas condiciones que llamaremos ideales.

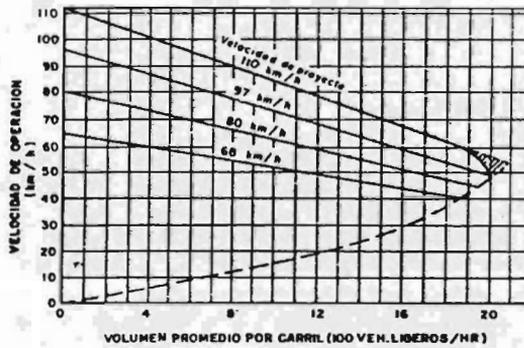
Estas condiciones son:

- a) Circulación continua, libre de interferencias de vehículos y peatones.
- b) Solamente circulan vehículos ligeros.
- c) Los carriles son de 3.65 m., de ancho, con acotamientos adecuados y sin obstáculos laterales a menos de 1.80 m., a partir de la orilla de la calzada.
- d) Sin restricciones en la distancia de visibilidad de rebase para caminos de dos carriles, y alineamiento horizontal y vertical que permita velocidades de proyecto de 110 K.p.h. o mayores.

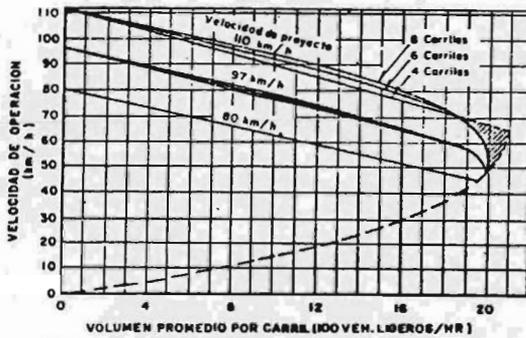
Las capacidades obtenidas son:



A) Caminos de dos carriles

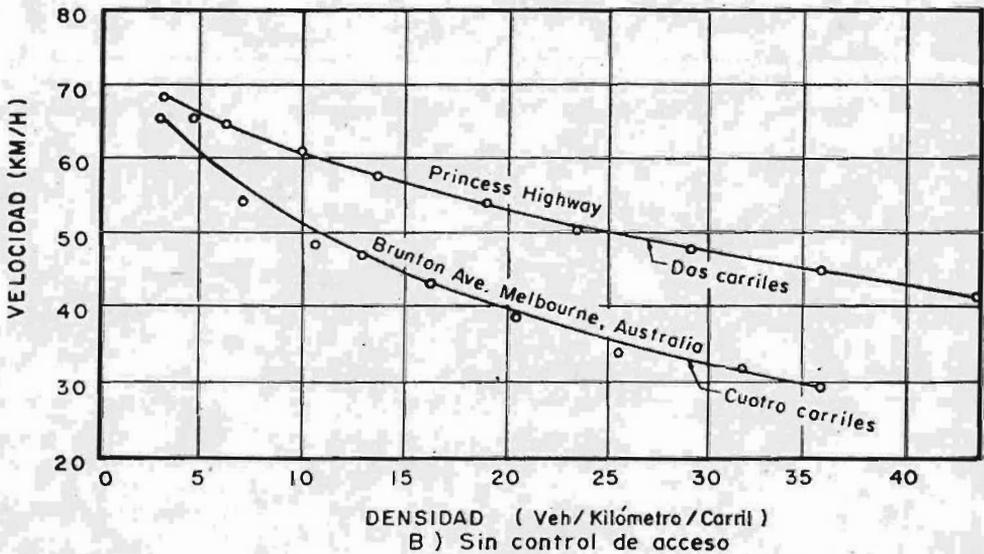
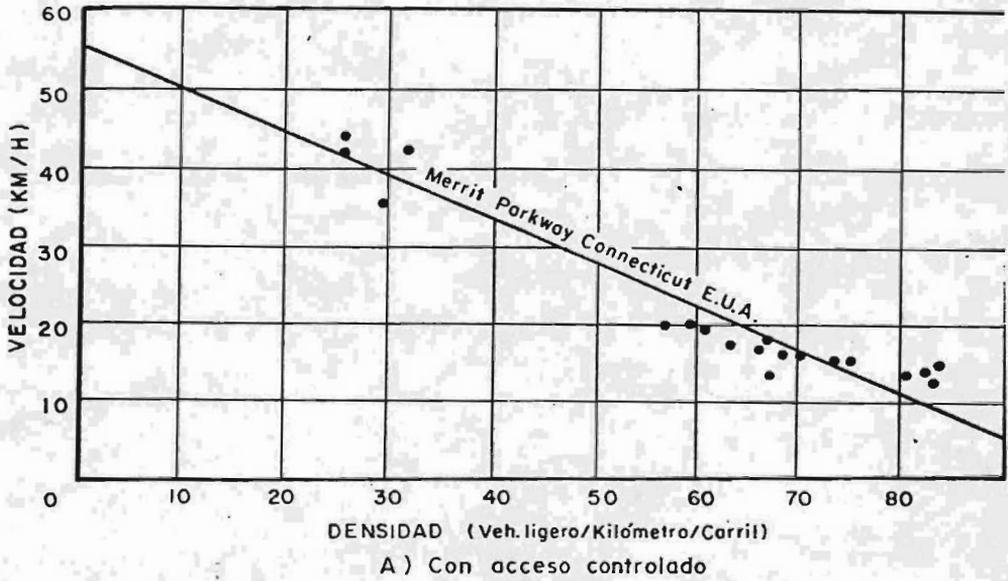


B) Caminos de carriles múltiples



C) Autopistas y vías rápidas

FIGURA 2.4 RELACIONES ENTRE EL VOLUMEN Y LA VELOCIDAD DE OPERACION, BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA, EN CARRETERAS RURALES



**FIGURA 2.5 RELACION VELOCIDAD-DENSIDAD BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA EN LOS CAMINOS INDICADOS**

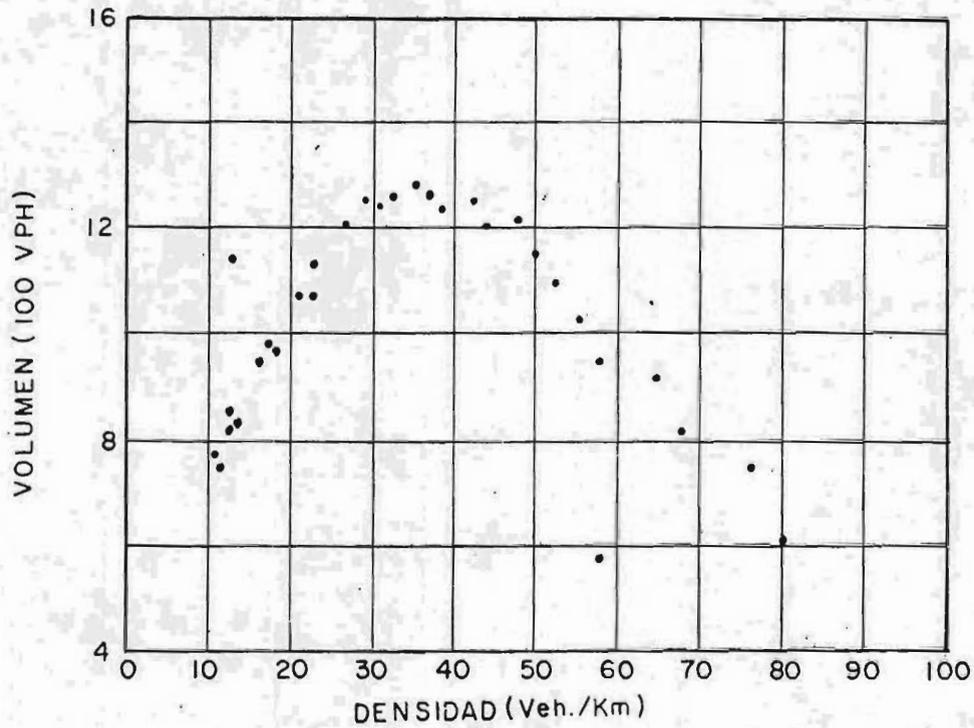


FIGURA 2.6 RELACION VOLUMEN-DENSIDAD BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA (HOLLAND TUNNEL, NEW YORK, U.S.A.)

TIPO DE CARRETERA	CAPACIDAD (VPH)
Carriles múltiples	2,000 por carril
Dos carriles, dos sentidos	2,000 total ambas direcciones
Tres carriles, dos sentidos	4,000 total ambas direcciones.

TABLA 2.5

### 9.- CALCULO DE LA CAPACIDAD, VOLUMEN Y NIVELES DE SERVICIO.

Para evaluar el nivel de servicio, se deben tomar en consideración los factores que en seguida se enumeran:

- a) Velocidad y tiempo durante el recorrido.
- b) Interrupciones de tránsito o restricciones.
- c) Libertad para maniobrar.
- d) Seguridad.
- e) Comodidad en el manejo.
- f) Economía.

Por otra parte, tanto el volumen de demanda como la capacidad, varían en los diferentes tramos del camino. Además el nivel de servicio varía de acuerdo a las condiciones del tránsito (poco o muy numeroso) en un instante dado.

Es obvio entonces, que para carreteras con tramos no homogéneos, en cuanto a sus características generales (geometría, alineamientos vertical y horizontal, estado de la superficie de rodamiento), es necesario dividir el camino en tramos homogéneos determinados y calcular para ellos el volumen de de-

manda, la capacidad, o el nivel de servicio en un momento cualquiera.

Para conocer los niveles de servicio, el volumen de servicio y la capacidad actuales y a futuro se cuenta con las características del camino, como son el tipo, geometría, velocidad de proyecto, composición del tránsito y el volumen, tanto actuales como futuros.

Existen métodos para calcular la capacidad y el volumen de servicio y consecuentemente, el nivel de servicio para diferentes tipos de caminos, estos últimos son:

- a) Autopistas y vías rápidas.
- b) Carreteras de carriles múltiples.
- c) Carreteras de dos y tres carriles.
- d) Arterias urbanas.
- e) Calles del centro de la ciudad.

Para el objeto de este trabajo, sólo nos ocuparemos de los marcados con los incisos (a, b) y c).

Por otra parte, los métodos para calcular la capacidad y el nivel de servicio en intersecciones, enlaces y zonas de entrecruzamientos, se pueden encontrar en el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras de la S.A.H.O.P.

Para conocer el nivel de servicio en algún tramo, los valores que se deben tomar en cuenta son los de la tabla 2.6, siguiente:

CONCEPTOS	AUTOPISTAS	CARRETERAS DE CARRILES MULTIPLES	CARRETERAS DE DOS Y TRES CARRILES
<u>Conceptos básicos:</u>			
-Velocidad de operación para el tramo.	X	X	X
-Velocidad global.			
-Relación volumen-capacidad:			
a) Punto más crítico.	X	X	X
b) Cada sub-tramo	X	X	X
c) Tramo completo	X	X	X
<u>Conceptos asociados:</u>			
a) Velocidad de proyecto ponderada	X	X	X
b) Número de carriles	X	X	
c) Distancia de visibilidad			X

TABLA 2.6

Existen seis niveles de servicio, designados con letras de la "A" a la "F", siendo el mejor y el peor, respectivamente.

El nivel de servicio "A" corresponde al flujo libre y el "F" a circulación forzada.

Los factores que afectan a la capacidad y al volumen de servicio de un camino, se pueden enmarcar en dos grandes grupos:

- a) Factores relativos al camino.
- b) Factores relativos al tránsito.

Para fines prácticos estos factores se harán intervenir conforme se vayan requiriendo en el ejemplo de análisis del capítulo IV.

#### 9.1 PROCEDIMIENTO DE CALCULO DEL VOLUMEN DE SERVICIO, EL NIVEL DE SERVICIO Y LA CAPACIDAD.

Los conceptos que se pueden calcular son:

- A) Capacidad de servicio.
- B) Volumen de servicio.
- C) Nivel de servicio.

El procedimiento que se puede seguir es:

- a) Definir las condiciones en toda la carretera.
- b) Dividir el camino en tramos con condiciones **homogéneas**; en las autopistas generalmente no se hace esta división.
- c) Calcular el concepto de interés para los diferentes tramos y luego obtener el valor ponderado para la longitud total de la carretera. Para algún punto en especial como un **tramo** corto con fuerte pendiente será necesario calcular el volumen o nivel de servicio en ese punto.

Para el efecto se usan las fórmulas que siguen:

- A) Capacidad de servicio. (Sin elementos que restrinjan la circulación).

$$C = 2000 N \frac{v}{c} W T$$

donde:

C = Capacidad (tránsito mixto en vehículos por hora en un sentido).

N= Número de carriles (en un sentido).

$\frac{V}{C}$  = Relación volumen-capacidad (en este caso  $\frac{V}{C} = 1$ )

W= Factor de ajuste por ancho de carril y distancia a obstáculos laterales, obtenido de la tabla 2.9, 2.15 o 2.17, ya sea para autopistas y vías rápidas, carreteras de carriles múltiples o carreteras de dos carriles, respectivamente. Cuando el obstáculo se encuentra en tramos muy largos, el conductor se acostumbra a él y por lo tanto, el valor de las tablas es muy bajo y conviene aumentarlo.

T= Factor de ajuste a la capacidad por vehículos pesados, o sea, el factor con que se convierten los vehículos pesados a vehículos ligeros, de acuerdo a la tabla 2.7. Por otra parte, cualquier volumen de tránsito mixto se puede convertir a vehículos ligeros equivalentes, multiplicando por el factor de ajuste de camiones:  $(100 - P_t + E_t P_t) / 100$ , donde  $P_t$  es el porcentaje de camiones y  $E_t$  los vehículos ligeros equivalentes a un camión, de la misma manera se puede hacer para los autobuses.

Tramos \ Tipo de carretera.	COMBINACION DE TABLAS A EMPLEAR		
	Autopistas o vías rápidas.	Carreteras - de carriles-múltiples.	Carreteras de dos carriles.
Tramos largos.	2.10 y 2.13	2.10 y 2.13	2.18 y 2.13
Sub-tramos específicos.	2.11 y 2.13	2.11 y 2.13	2.20 y 2.13
Cuando el volumen de autobuses sea importante, el segundo término de la fórmula básica anterior deberá multiplicarse por el factor de autobuses (B <sub>c</sub> ) obtenido de:	2.13 y 2.12	2.13 y 2.12	2.13 y 2.19

TABLA 2.7

B) Volumen de servicio.

$$VS = 2000 N \frac{V}{C} WT$$

donde:

VS=Volumen de servicio (tránsito mixto en vehículos por hora en un sentido).

N= Número de carriles (en un sentido).

$\frac{V}{C}$ = Relación volumen-capacidad, obtenida de la tabla 2.8 (o la fig. 2.7), 2.14 (o fig. 2.8) o 2.16 (o fig. 2.9 a 2.14) para autopistas y vías rápidas, carreteras de carriles múltiples o carreteras de dos carriles, respectivamente, para un nivel de servicio dado.

W= Factor de ajuste por ancho de carril y distancia a obstáculos laterales, usando las --

NIVEL DE SERVICIO	CONDICIONES DEL FLUJO DE TRANSITO		VOLUMEN DE SERVICIO-CAPACIDAD (v/c) <sup>a</sup>				VOLUMEN DE SERVICIO MAXIMO BAJO CONDICIONES IDEALES, INCLUYENDO VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 110 km/h (TOTAL DE VEHICULOS LIGEROS POR HORA EN UN SENTIDO)																
	DESCRIPCION	VELOCIDAD DE OPERACION (km/h)	VALOR LIMITE PARA VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 110 km/h.			VALOR APROXIMADO PARA CUALQUIER NUMERO DE CARRILES con velocidad de proyecto ponderada de		4 CARRILES dos para cada sentido			6 CARRILES tres para cada sentido			8 CARRILES cuatro para cada sentido			PARA CADA CARRIL ADICIONAL A CUATRO CARRILES EN UNA DIRECCION						
			4 CARRILES dos para cada sentido	6 CARRILES tres para cada sentido	8 CARRILES cuatro para cada sentido	95 km/h	80 km/h																
A	FLUJO LIBRE	≥ 95	≤ 0.35	≤ 0.40	≤ 0.43	— <sup>b</sup>	— <sup>b</sup>	1400			2400			3400			1000						
B	FLUJO ESTABLE Val. Superior del rango	≥ 90	≤ 0.50	≤ 0.58	≤ 0.63	≤ 0.25	— <sup>b</sup>	2000			3500			5000			1500						
FACTOR DE LA HORA DE MAXIMA DEMANDA (FHMD) <sup>c</sup>							0.77	0.83	0.91	1.00 <sup>d</sup>	0.77	0.83	0.91	1.00 <sup>d</sup>	0.77	0.83	0.91	1.00 <sup>d</sup>	0.77	0.83	0.91	1.00 <sup>d</sup>	
C	FLUJO ESTABLE	≥ 80	≥ 0.75 x FHMD	≥ 0.80 x FHMD	≥ 0.83 x FHMD	≥ 0.45 x FHMD	— <sup>b</sup>	2300	2500	2750	3000	3700	4000	4350	4800	5100	5500	6000	6600	1400	1500	1650	1800
D	FLUJO PROXIMO AL INESTABLE	≥ 65	≥ 0.90 x FHMD			≥ 0.80 x FHMD	≥ 0.45 x FHMD	2800	3000	3300	3600	4150	4500	4900	5400	5600	6000	6600	7200	1400	1500	1650	1800
E <sup>f</sup>	FLUJO INESTABLE	50-55 <sup>e</sup>	≤ 1.00				4000 <sup>e</sup>			6000 <sup>e</sup>			8000 <sup>e</sup>			2000 <sup>e</sup>							
F	FLUJO FORZADO	< 50	NO SIGNIFICATIVO				MUY VARIABLE (desde cero hasta la capacidad)																

- a). - La velocidad de operación y la relación v/c son medidas independientes del nivel de servicio; ambos límites deben satisfacerse en cualquier determinación del nivel.  
b). - La velocidad de operación requerida para este nivel no se alcanza aún a bajos volúmenes.  
c). - El factor de hora de máxima demanda para autopistas es la relación entre el volumen de una hora completa y el valor más alto del flujo que ocurre durante un intervalo de 5 minutos dentro de la hora de máxima demanda.  
d). - Un factor de hora de máxima demanda de uno raramente se alcanza; los valores en la tabla deben considerarse como los valores máximos del flujo medio que probablemente se obtengan durante el intervalo de máxima demanda de 5 minutos dentro de la hora de máxima demanda.  
e). - Aproximadamente.  
f). - Capacidad.

TABLA 2.8 NIVELES DE SERVICIO Y VOLUMENES DE SERVICIO MAXIMOS PARA AUTOPISTAS Y VIAS RAPIDAS BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA

Distancia desde la orilla del carril al obstáculo (en m)	Factor de ajuste, W, por ancho de carril y distancia a obstáculos laterales							
	Obstáculos a un lado de un sentido de circulación				Obstáculos a ambos lados de un sentido de circulación			
	Carriles en metros				Carriles en metros			
	3.65	3.35	3.05	2.75	3.65	3.35	3.05	2.75
Carretera dividida de 4 carriles								
1.80	1.00	0.97	0.91	0.81	1.00	0.97	0.91	0.81
1.20	0.99	0.96	0.90	0.80	0.98	0.95	0.89	0.79
0.60	0.97	0.94	0.88	0.79	0.94	0.91	0.86	0.76
0.00	0.90	0.87	0.82	0.73	0.81	0.79	0.74	0.66
Carretera dividida de 6 y 8 carriles								
1.80	1.00	0.96	0.89	0.78	1.00	0.96	0.89	0.78
1.20	0.99	0.95	0.88	0.77	0.98	0.94	0.87	0.77
0.60	0.97	0.93	0.87	0.76	0.96	0.92	0.85	0.75
0.00	0.94	0.91	0.85	0.74	0.91	0.87	0.81	0.70

**TABLA 2.9 EFECTO COMBINADO DEL ANCHO DE CARRIL Y DE LA DISTANCIA A OBSTACULOS LATERALES SOBRE LA CAPACIDAD Y LOS VOLUMENES DE SERVICIO EN AUTOPISTAS Y VIAS RAPIDAS CON CIRCULACION CONTINUA**

NIVEL DE SERVICIO		EQUIVALENTE, PARA:		
		TERRENO PLANO	TERRENO EN LOMERIO	TERRENO MONTAÑOSO
A		Muy variable; a este nivel uno ó más camiones tienen prácticamente la misma influencia sobre el volumen de servicio. Para el análisis, úsense las equivalencias indicadas para los niveles B hasta E		
B hasta E	E <sub>T</sub> Para camiones	2	4	8
	E <sub>B</sub> Para autobuses*	1.6	3	5

\*- En la mayoría de los análisis no se consideran por separado; aplíquese únicamente cuando el volumen de autobuses sea importante.

**TABLA 2.10 VEHICULOS LIGEROS EQUIVALENTES POR CAMION Y POR AUTOBUS PARA TRAMOS LARGOS DE AUTOPISTAS, VIAS RAPIDAS Y CARRETERAS DE CARRILES MULTIPLES**

PENDIENTE (%)	LONGITUD DE LA PENDIENTE (KM)	EQUIVALENCIA EN VEHICULOS LIGEROS, E <sub>f</sub>									
		Niveles de servicio entre A y C para:					Niveles de servicio D y E para:				
		3% CAMIONES	5% CAMIONES	10% CAMIONES	15% CAMIONES	20% CAMIONES	3% CAMIONES	5% CAMIONES	10% CAMIONES	15% CAMIONES	20% CAMIONES
0-1	TODAS	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	0.4-0.8	5	4	4	3	3	5	4	4	3	3
	1.2-1.6	7	5	5	4	4	7	5	5	4	4
	2.4-3.2	7	6	6	6	6	7	6	6	6	6
	4.8-6.4	7	7	8	8	8	7	7	8	8	8
3	0.4	10	8	5	4	3	10	8	5	4	3
	0.8	10	8	5	4	4	10	8	5	4	4
	1.2	10	8	6	5	5	10	8	5	4	5
	1.6	10	8	6	5	6	10	8	6	5	6
	2.4	10	9	7	7	7	10	8	7	7	7
	3.2	10	9	8	8	8	10	9	8	8	8
	4.8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	6.4	10	10	11	11	11	10	10	11	11	11
4	0.4	12	9	5	4	3	13	9	5	4	3
	0.8	12	9	5	5	5	13	9	5	5	5
	1.2	12	9	7	7	7	13	9	7	7	7
	1.6	12	10	8	8	8	13	10	8	8	8
	2.4	12	11	10	10	10	13	11	10	10	10
	3.2	12	11	11	11	11	13	12	11	11	11
	4.8	12	12	13	13	13	13	13	14	14	14
	6.4	12	13	15	15	14	13	14	16	16	15
5	0.4	13	10	6	4	3	14	10	6	4	3
	0.8	13	11	7	7	7	14	11	7	7	7
	1.2	13	11	9	8	8	14	11	9	8	8
	1.6	13	12	10	10	10	14	13	10	10	10
	2.4	13	13	12	12	12	14	14	13	13	13
	3.2	13	14	14	14	14	14	15	15	15	15
	4.8	13	15	16	16	15	14	17	17	17	17
	6.4	15	17	19	19	17	16	19	22	21	19
6	0.4	14	10	6	4	3	15	10	6	4	3
	0.8	14	11	8	8	8	15	11	8	8	8
	1.2	14	12	10	10	10	15	12	10	10	10
	1.6	14	13	12	12	11	15	14	13	13	11
	2.4	14	14	14	14	13	15	16	15	15	14
	3.2	14	15	16	16	15	15	18	18	18	16
	4.8	14	16	18	18	17	15	20	20	20	19
	6.4	19	19	20	20	20	20	23	23	23	23

TABLA 2.11 EQUIVALENCIAS DE VEHICULOS LIGEROS POR CAMION, PARA SUBTRAMOS O PENDIENTES ESPECIFICAS DE AUTOPISTAS, VIAS RAPIDAS Y CARRETERAS DE CARRILES MULTIPLES

PENDIENTE (%)	EQUIVALENCIA EN VEHICULOS LIGEROS <sup>a</sup> E <sub>B</sub>	
	Niveles de servicio A, B y C	Niveles de servicio D y E
0-4 <sup>b</sup>	1.6	1.6
5 <sup>c</sup>	4	2
6 <sup>c</sup>	7	4
7 <sup>c</sup>	12	10

a - Para todos los porcentajes de autobuses

b - Todas las longitudes

c - Sólo cuando la longitud de las pendientes sea mayor de 800 m

**TABLA 2.12 VEHICULOS LIGEROS EQUIVALENTES POR AUTOBUS EN SUBTRAMOS O PENDIENTES ESPECIFICAS DE AUTOPISTAS, VIAS RAPIDAS Y CARRETERAS DE CARRILES MULTIPLES**

VEHICULOS LIGEROS EQUIVALENTES, E <sub>T</sub> ó E <sub>B</sub>	FACTOR DE AJUSTE <sup>b</sup> POR CAMIONES T <sub>C</sub> ó T <sub>L</sub> (B <sub>C</sub> ó B <sub>L</sub> POR AUTOBUSES <sup>c</sup> )																						
	PORCENTAJE DE CAMIONES, P <sub>T</sub> (ó DE AUTOBUSES, P <sub>B</sub> ) de:																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.93	0.92	0.91	0.89	0.88	0.86	0.85	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63
3	0.98	0.96	0.94	0.93	0.91	0.89	0.88	0.86	0.85	0.83	0.81	0.78	0.76	0.74	0.71	0.67	0.63	0.59	0.56	0.53	0.50	0.48	0.45
4	0.97	0.94	0.92	0.89	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77	0.74	0.70	0.68	0.65	0.63	0.57	0.53	0.49	0.45	0.43	0.40	0.38	0.36
5	0.96	0.93	0.89	0.86	0.83	0.81	0.78	0.76	0.74	0.71	0.68	0.64	0.61	0.58	0.56	0.50	0.45	0.42	0.38	0.36	0.33	0.31	0.29
6	0.95	0.91	0.87	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71	0.69	0.67	0.63	0.59	0.56	0.53	0.50	0.44	0.40	0.36	0.33	0.31	0.29	0.27	0.25
7	0.94	0.89	0.85	0.81	0.77	0.74	0.70	0.68	0.65	0.63	0.58	0.54	0.51	0.48	0.45	0.40	0.36	0.32	0.29	0.26	0.24	0.22	0.21
8	0.93	0.88	0.83	0.78	0.74	0.70	0.67	0.64	0.61	0.59	0.54	0.51	0.47	0.44	0.42	0.36	0.32	0.29	0.26	0.24	0.22	0.21	0.19
9	0.93	0.86	0.81	0.76	0.71	0.68	0.64	0.61	0.58	0.56	0.51	0.47	0.44	0.41	0.38	0.33	0.29	0.26	0.24	0.22	0.20	0.19	0.17
10	0.92	0.85	0.79	0.74	0.69	0.65	0.61	0.58	0.55	0.53	0.48	0.44	0.41	0.38	0.36	0.31	0.27	0.24	0.22	0.20	0.18	0.17	0.16
11	0.91	0.83	0.77	0.71	0.67	0.63	0.59	0.56	0.53	0.50	0.45	0.42	0.38	0.36	0.33	0.29	0.25	0.22	0.20	0.18	0.17	0.15	0.14
12	0.90	0.82	0.75	0.69	0.65	0.60	0.57	0.53	0.50	0.48	0.43	0.39	0.36	0.34	0.31	0.27	0.23	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13
13	0.89	0.81	0.74	0.68	0.63	0.58	0.54	0.51	0.48	0.45	0.41	0.37	0.34	0.32	0.29	0.25	0.22	0.19	0.17	0.16	0.14	0.13	0.12
14	0.88	0.79	0.72	0.66	0.61	0.56	0.52	0.49	0.46	0.43	0.39	0.35	0.32	0.30	0.28	0.24	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11
15	0.88	0.78	0.70	0.64	0.59	0.54	0.51	0.47	0.44	0.42	0.37	0.34	0.31	0.28	0.26	0.22	0.19	0.17	0.16	0.14	0.13	0.11	0.11
16	0.87	0.77	0.69	0.63	0.57	0.53	0.49	0.45	0.43	0.40	0.36	0.32	0.29	0.27	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10
17	0.86	0.76	0.68	0.61	0.56	0.51	0.47	0.44	0.41	0.38	0.34	0.31	0.28	0.26	0.24	0.20	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09
18	0.85	0.75	0.66	0.60	0.54	0.49	0.46	0.42	0.40	0.37	0.33	0.30	0.27	0.25	0.23	0.19	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09
19	0.85	0.74	0.65	0.58	0.53	0.48	0.44	0.41	0.38	0.36	0.32	0.28	0.26	0.24	0.22	0.18	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08
20	0.84	0.72	0.64	0.57	0.51	0.47	0.42	0.40	0.37	0.34	0.30	0.27	0.25	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.08
22	0.83	0.70	0.61	0.54	0.49	0.44	0.40	0.37	0.35	0.32	0.28	0.25	0.23	0.21	0.19	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07
24	0.81	0.68	0.59	0.52	0.47	0.42	0.38	0.35	0.33	0.30	0.27	0.24	0.21	0.19	0.16	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07
26	0.80	0.67	0.57	0.50	0.44	0.40	0.36	0.33	0.31	0.29	0.25	0.22	0.20	0.18	0.17	0.14	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06
27	0.79	0.65	0.55	0.48	0.43	0.38	0.35	0.32	0.29	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.13	0.11	0.10	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06
28	0.78	0.63	0.53	0.46	0.41	0.36	0.33	0.30	0.28	0.26	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05
31	0.75	0.60	0.49	0.42	0.37	0.33	0.30	0.27	0.25	0.23	0.20	0.17	0.16	0.14	0.13	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.05
40	0.72	0.56	0.46	0.39	0.34	0.30	0.27	0.24	0.22	0.20	0.18	0.15	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04
45	0.69	0.53	0.43	0.36	0.31	0.27	0.25	0.22	0.20	0.19	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04
50	0.67	0.51	0.40	0.34	0.29	0.25	0.23	0.20	0.18	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
55	0.65	0.48	0.38	0.32	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
60	0.63	0.46	0.36	0.30	0.25	0.22	0.19	0.17	0.16	0.15	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
65	0.61	0.44	0.34	0.28	0.24	0.21	0.18	0.16	0.15	0.14	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
70	0.59	0.42	0.33	0.27	0.22	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
75	0.57	0.40	0.31	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
80	0.56	0.39	0.30	0.24	0.20	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
90	0.53	0.36	0.27	0.22	0.18	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.07	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
100	0.50	0.34	0.25	0.20	0.17	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02

a.- De las tablas 7-E ó 7-F y 7-G

b.- Calculadas con la fórmula  $100/(100 - P_T + E_T P_T)$ , ó bien  $100/(100 - P_B + E_B P_B)$ . Aplíquese esta fórmula para otros porcentajes

c.- Cuando la proporción de autobuses sea importante, úsese una equivalencia para camiones y otra para autobuses obteniendo factores de ajuste independientes.

TABLA 2.13 FACTORES DE AJUSTE POR CAMIONES Y AUTOBUSES EN AUTOPISTAS, CARRETERAS DE CARRILES MÚLTIPLES Y CARRETERAS DE DOS CARRILES

NIVEL DE SERVICIO	CONDICIONES DEL FLUJO DE TRANSITO		VOLUMEN DE SERVICIO - CAPACIDAD (v/c)			VOLUMEN DE SERVICIO MAXIMO BAJO CONDICIONES IDEALES, INCLUYENDO VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 110 km/h (Total de vehículos ligeros por hora, en un sentido)		
	DESCRIPCION	VELOCIDAD DE OPERACION <sup>a</sup> (Km/h)	VALOR LIMITE <sup>a</sup> PARA VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 110 km/h	VALOR APROXIMADO PARA UNA VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE:		CARRETERA DE 4 CARRILES (2 CARRILES POR SENTIDO)	CARRETERA DE 6 CARRILES (3 CARRILES POR SENTIDO)	CADA CARRIL ADICIONAL
				95 km/h	80 km/h			
A	FLUJO LIBRE	$\geq 95$	$\leq 0.30$	— b	— b	1200	1800	600
B	FLUJO ESTABLE (Velocidad superior del rango)	$\geq 90$	$\leq 0.50$	$\leq 0.20$	— b	2000	3000	1000
C	FLUJO ESTABLE	$\geq 70$	$\leq 0.75$	$\leq 0.50$	$\leq 0.25$	3000	4500	1500
D	APROXIMANDOSE AL FLUJO INESTABLE	$\geq 55$	$\leq 0.90$	$\leq 0.85$	$\leq 0.70$	3600	5400	1800
E <sup>c</sup>	FLUJO INESTABLE	50 <sup>d</sup>		$\leq 1.00$		4000	6000	2000
F	FLUJO FORZADO	< 50 <sup>d</sup>	NO SIGNIFICATIVO <sup>e</sup>			MUY VARIABLE (Desde cero hasta la capacidad)		

a.- La velocidad de operación y la relación v/c son medidas independientes del nivel de servicio, ambos límites deben satisfacerse en cualquier terminación del nivel.

b.- La velocidad de operación requerido para este nivel no se alcanza aún a bajos volúmenes

c.- Capacidad.

d.- Aproximadamente.

e.- La relación volumen de demanda-capacidad puede exceder el valor de 1.00 indicando que hay sobrecargo.

TABLA 2.14 NIVELES DE SERVICIO Y VOLUMENES DE SERVICIO MAXIMOS PARA CARRETERAS DE CARRILES MULTIPLES, BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA

DISTANCIA DESDE LA ORILLA DEL CARRIL AL OBSTACULO (m)	FACTOR DE AJUSTE <sup>a</sup> , W POR ANCHO DE CARRIL Y DISTANCIA A OBSTACULOS LATERALES							
	Obstáculos en el lado derecho (Considerando que circula transi- to en sentido contrario del lado izquierdo.)				Obstáculos a ambos lados de un sentido de circulación <sup>b,c</sup>			
	CARRILES EN METROS				CARRILES EN METROS			
	3.65	3.35	3.05	2.75	3.65	3.35	3.05	2.75
Carretera no dividida de 4 carriles.								
1.80	1.00	0.95	0.89	0.77	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
1.20	0.98	0.94	0.88	0.76	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
0.60	0.95	0.92	0.86	0.75	0.94	0.91	0.86	N.A.
0.00	0.88	0.85	0.80	0.70	0.81	0.79	0.74	0.66
Carretera no dividida de 6 y 8 carriles								
1.80	1.00	0.95	0.89	0.77	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
1.20	0.99	0.94	0.88	0.76	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
0.60	0.97	0.93	0.86	0.75	0.96	0.92	0.85	N.A.
0.00	0.94	0.90	0.83	0.72	0.91	0.87	0.81	0.70

- a- Los mismos valores de ajuste para la capacidad y niveles de servicio.  
b- Su uso es apropiado sólo cuando el camino no dividido este separado totalmente en dos calzadas, por obstáculos tales como barreras centrales, elementos estructurales de pasos a desnivel, más cercanos de lo que estaría el tránsito opuesto.  
c- N.A = no aplicable; úsese el ajuste para obstáculos en el lado derecho.

**TABLA 2.15 EFECTO COMBINADO DEL ANCHO DE CARRIL Y DE LA DISTANCIA A OBSTACULOS LATERALES SOBRE LA CAPACIDAD Y LOS VOLUMENES DE SERVICIO EN CARRETERAS DE CARRILES MÚLTIPLES CON CIRCULACION CONTINUA**

NIVEL DE SERVICIO	CONDICIONES DEL FLUJO DE TRANSITO		DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE REBASE > 500mts (%)	VOLUMEN DE SERVICIO - CAPACIDAD					VOLUMEN DE SERVICIO MAXIMO BAJO CONDICIONES IDEALES (INCLUYENDO VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 10km/h (total de Vehiculos ligeros por hora en ambas direcciones))	
	DESCRIPCION	VELOCIDAD DE OPERACION (Km/h)		VALOR LIMITE PARA VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 110 km/h	VALOR PARA UNA VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 100 km/h					
					95 Km/h	80 Km/h	70 Km/h	65 Km/h		55 Km/h
A	FLUJO LIBRE	≥ 95	100	<	—	—	—	—	400	
			80	0.20	—	—	—	—		
			60	0.18	—	—	—	—		
			40	0.15	—	—	—	—		
			20	0.12	—	—	—	—		
B	FLUJO ESTABLE (Velocidad superior del rango)	≥ 80	100	<	<	—	—	—	900	
			80	0.45	0.40	—	—	—		
			60	0.42	0.35	—	—	—		
			40	0.38	0.30	—	—	—		
			20	0.34	0.24	—	—	—		
C	FLUJO ESTABLE	≥ 65	100	<	<	<	<	—	1400	
			80	0.70	0.66	0.56	0.51	—		
			60	0.68	0.61	0.53	0.46	—		
			40	0.65	0.56	0.47	0.41	—		
			20	0.62	0.51	0.38	0.32	—		
D	FLUJO PROXIMO A L INESTABLE	≥ 55	100	<	<	<	<	—	1700	
			80	0.85	0.83	0.75	0.67	0.58		
			60	0.84	0.81	0.72	0.62	0.55		
			40	0.83	0.79	0.69	0.57	0.51		
			20	0.82	0.76	0.66	0.52	0.45		
E <sup>c</sup>	FLUJO INESTABLE	50 <sup>d</sup>	NO ES APLICABLE <sup>e</sup>	≥ 1.00					2000	
			NO ES APLICABLE <sup>e</sup>	NO SIGNIFICATIVO <sup>f</sup>						
F	FLUJO FORZADO	< 50 <sup>d</sup>	NO ES APLICABLE <sup>e</sup>	NO SIGNIFICATIVO <sup>f</sup>					MUY VARIABLE (Desde cero hasta la capacidad)	

O.- La velocidad de operación y la relación v/c son medidas independientes de nivel de servicio; ambos límites deben satisfacerse en cualquier determinación del nivel

D.- Cuando el espacio esté en blanco, la velocidad de operación requerida para este nivel es inalcanzable aún a volúmenes bajos.

C.- Capacidad

d.- Aproximadamente

e.- No hay rebase

f.- La relación volumen de demanda-capacidad puede exceder el valor de 1.00 indicando que hay sobrecarga.

**TABLA 2.18 NIVELES DE SERVICIO Y VOLUMENES DE SERVICIO MAXIMOS PARA CARRETERAS DE DOS CARRILES BAJO CONDICIONES DE FLUJO CONTINUO**

DISTANCIA DESDE LA ORILLA DEL CARRIL AL OBSTACULO (m)	FACTORES DE AJUSTE <sup>a</sup> $W_L$ Y $W_C$ POR ANCHO DE CARRIL Y DISTANCIA A OBSTACULOS LATERALES																
	OBSTACULO EN UN SOLO LADO <sup>b</sup>								OBSTACULO EN AMBOS LADOS <sup>b</sup>								
	CARRILES EN METROS																
	3.65		3.35		3.05		2.75		3.65		3.35		3.05		2.75		
	NIVEL		NIVEL		NIVEL		NIVEL		NIVEL		NIVEL		NIVEL		NIVEL		
	B	E <sup>c</sup>	B	E <sup>c</sup>	B	E <sup>c</sup>	B	E <sup>c</sup>	B	E <sup>c</sup>	B	E <sup>c</sup>	B	E <sup>c</sup>	B	E <sup>c</sup>	
1.80	1.00	1.00	0.86	0.88	0.77	0.81	0.70	0.76	1.00	1.00	0.86	0.88	0.77	0.81	0.70	0.76	
1.20	0.96	0.97	0.83	0.85	0.74	0.79	0.68	0.74	0.92	0.94	0.79	0.83	0.71	0.76	0.65	0.71	
0.60	0.91	0.93	0.78	0.81	0.70	0.75	0.64	0.70	0.81	0.85	0.70	0.75	0.63	0.69	0.57	0.65	
0.00	0.85	0.88	0.73	0.77	0.66	0.71	0.60	0.66	0.70	0.76	0.60	0.67	0.54	0.62	0.49	0.58	

a.- Factores de ajuste,  $W_C$  para el nivel "E" (Capacidad) y  $W_L$  para nivel "B"; interpolar para otros niveles.

b.- Incluye el efecto del tránsito en sentido contrario

c.- Capacidad

**TABLA 2.17 EFECTO COMBINADO DEL ANCHO DE CARRIL Y DE LA DISTANCIA A OBSTACULOS LATERALES SOBRE LA CAPACIDAD Y LOS VOLUMENES DE SERVICIO EN CARRETERAS DE DOS CARRILES BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA**

EQUIVALENTE	NIVEL DE SERVICIO	EQUIVALENTE, PARA:		
		TERRENO PLANO	TERRENO EN LOMERIO	TERRENO MONTAÑOSO
E <sub>T</sub> , PARA CAMIONES	A	3	4	7
	B y C	2.5	5	10
	D y E	2	5	12
E <sub>B</sub> PARA AUTOBUSES <sup>a</sup>	Todos los Niveles	2	4	6

a.- Hacer consideraciones por separado no es requisito en la mayoría de los problemas; aplíquese únicamente cuando el volumen de autobuses sea significativo.

TABLA 2.18 VEHICULOS LIGEROS EQUIVALENTES POR CAMION Y POR AUTOBUS EN TRAMOS LARGOS DE CARRETERAS DE DOS CARRILES

PENDIENTE <sup>a</sup> (%)	EQUIVALENCIA EN VEHICULOS LIGEROS, <sup>b</sup> E <sub>B</sub>		
	Niveles de servicio A y B	Nivel de servicio C	Niveles de servicio D y E (capacidad)
0-4	2	2	2
5 <sup>c</sup>	4	3	2
6 <sup>c</sup>	7	6	4
7 <sup>c</sup>	12	12	10

a.- Todas las longitudes

b.- Para todos los porcentajes de autobuses

c.- Solo cuando la longitud de las pendientes, sea mayor de 800 m

TABLA 2.19. VEHICULOS LIGEROS EQUIVALENTES POR AUTOBUS EN SUBTRAMOS O PENDIENTES ESPECIFICAS DE CARRETERAS DE DOS CARRILES

PENDIENTE (%)	LONGITUD DE LA PENDIENTE (Km)	VEHICULOS LIGEROS EQUIVALENTES (Para todos los Porcentajes de Camiones)								
		PESO POTENCIA = 90 kg/HP			PESO POTENCIA = 120 kg/HP			PESO POTENCIA = 180 kg/HP		
		NIVEL DE SERVICIO A Y B	NIVEL DE SERVICIO C	NIVEL DE SERVICIO D Y E	NIVEL DE SERVICIO A Y B	NIVEL DE SERVICIO C	NIVEL DE SERVICIO D Y E	NIVEL DE SERVICIO A Y B	NIVEL DE SERVICIO C	NIVEL DE SERVICIO D Y E
0 - 1	TODOS	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1 - 2	TODOS	2	2	2	2	2	2			
2	0.400							6	4	2
	0.800							6	5	2
	1.200							8	7	2
	1.600							8	8	4
	2.400							9	9	6
	3.200							10	10	7
	4.800							11	11	8
3	0.400	4	2	2	5	4	2	7	7	2
	0.800	4	2	2	6	5	2	11	11	8
	1.200	4	2	2	7	6	2	14	14	13
	1.600	5	3	2	8	7	3	16	16	15
	2.400	5	3	2	9	8	4	17	21	21
	3.200	5	3	2	10	9	5	18	22	22
	4.800	5	3	2	10	9	5	19	24	24
4	0.400	6	4	2	7	6	2	11	11	8
	0.800	7	6	2	10	10	7	18	22	22
	1.200	7	7	2	12	12	10	22	28	29
	1.600	7	7	2	13	13	12	24	31	34
	2.400	8	8	3	14	14	14	25	34	37
	3.200	8	8	4	15	15	15	26	35	39
	4.800	8	8	5	16	16	16	27	36	40
5	0.400	7	7	2	10	10	7	16	19	19
	0.800	10	10	7	15	17	17	26	35	39
	1.200	11	11	9	17	20	20	30	41	46
	1.600	12	12	10	18	23	23	32	45	50
	2.400	13	13	11	19	25	25	34	47	54
	3.200	13	13	12	20	26	26	34	47	54
	4.800	14	14	12	20	26	27	35	48	55
6	0.400	10	10	7	15	17	16	24	31	34
	0.800	14	14	13	21	27	29	34	47	54
	1.200	15	16	15	23	30	32	39	54	64
	1.600	16	17	17	24	32	34	41	58	67
	2.400	17	18	18	25	34	36	44	60	72
	3.200	17	19	19	26	35	37	45	61	73
	4.800	18	20	21	26	35	38	46	62	74
7	0.400	14	14	14	20	25	27	31	44	49
	0.800	18	23	23	27	38	42	44	61	74
	1.200	19	25	26	29	40	45	47	65	79
	1.600	20	26	27	30	42	47	49	68	83
	2.400	21	27	28	31	43	48	51	70	86
	3.200	22	28	29	32	44	49	51	71	87
	4.800	22	28	30	32	45	50	52	72	88
8	0.400	18	22	22	25	34	37	41	58	67
	0.800	22	29	31	33	45	51	52	72	88
	1.200	24	32	34	35	49	55	57	77	97
	1.600	25	33	35	36	50	57	59	80	100
	2.400	25	34	36	37	51	58	61	84	104
	3.200	26	35	37	38	52	59	61	84	105
	4.800	26	35	38	38	52	60	62	85	106
	6.400	26	35	38	38	52	60	62	85	106

TABLA 2.20 VEHICULOS LIGEROS EQUIVALENTES POR CAMION, PARA SUBTRAMOS O PENDIENTES ESPECIFICAS DE CARRETERAS DE DOS CARRILES

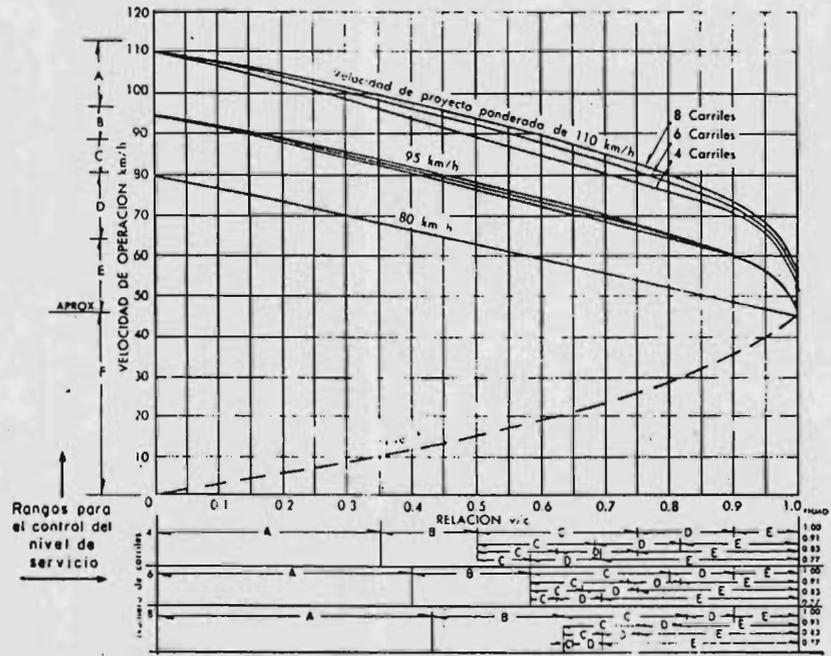


FIGURA 2.7. RELACIONES ENTRE LA VELOCIDAD DE OPERACION Y LA RELACION V/C, EN AUTOPISTAS Y VIAS RAPIDAS, BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA

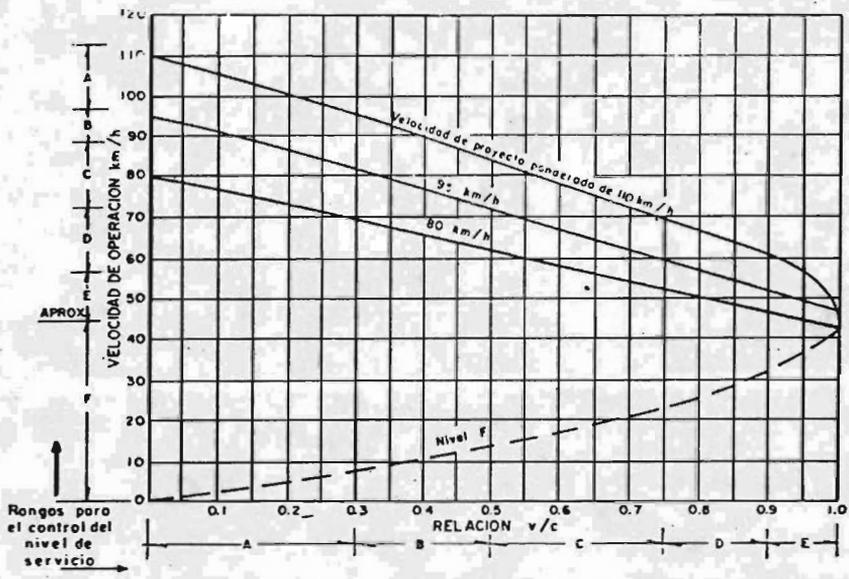


FIGURA 2.8 RELACIONES ENTRE LA VELOCIDAD DE OPERACION Y LA RELACION V/C, EN CARRETERAS DE CARRILES MULTIPLES, BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA

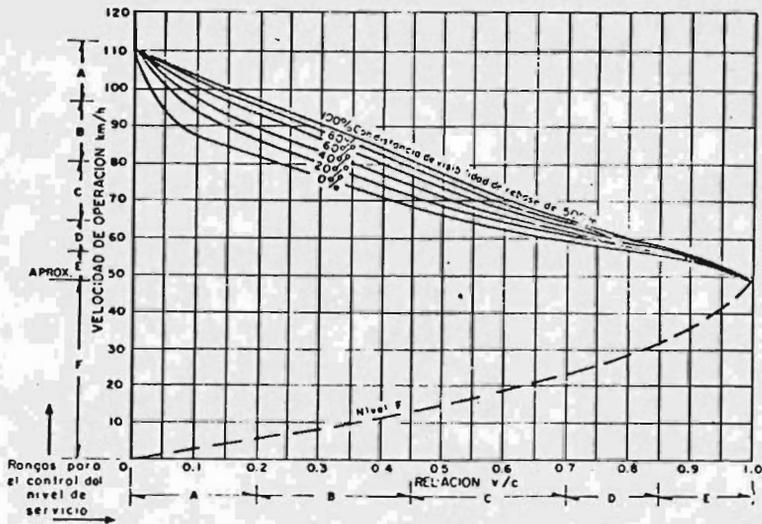


FIGURA 2.9 RELACIONES ENTRE LA VELOCIDAD DE OPERACION Y LA RELACION V/C, PARA AMBOS SENTIDOS DE CIRCULACION EN CARRETERAS DE DOS CARRILES CON VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 110 KM/H, BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA

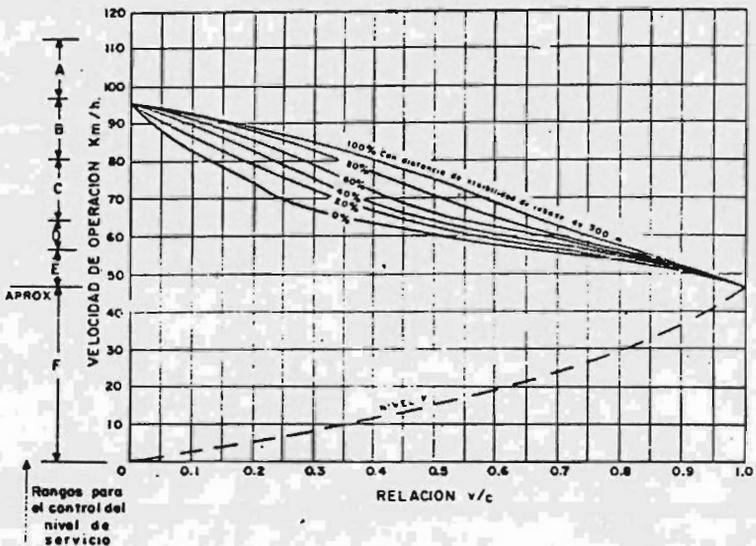


FIGURA 2.10 RELACIONES ENTRE LA VELOCIDAD DE OPERACION Y LA RELACION V/C, PARA AMBOS SENTIDOS DE CIRCULACION EN CARRETERAS DE DOS CARRILES CON VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 95 KM/H, BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA

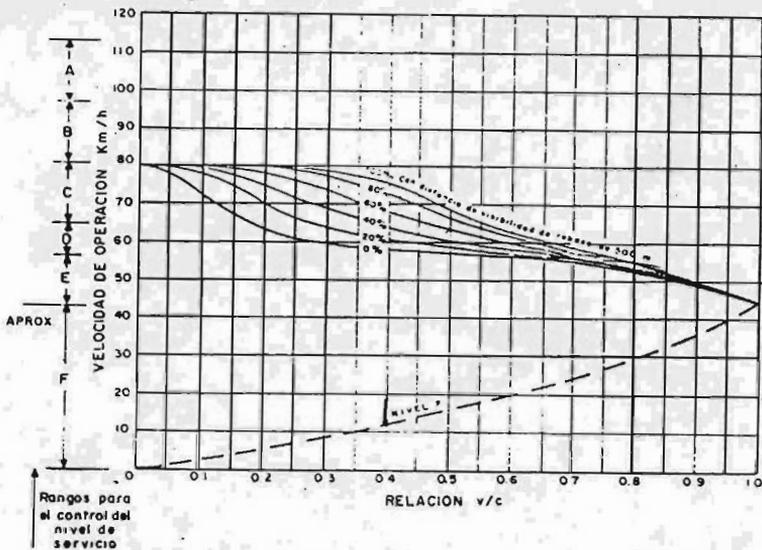


FIGURA 2.11 RELACIONES ENTRE LA VELOCIDAD DE OPERACION Y LA RELACION V/C, PARA AMBOS SENTIDOS DE CIRCULACION EN CARRETERAS DE DOS CARRILES CON VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 80 KM/H, BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA

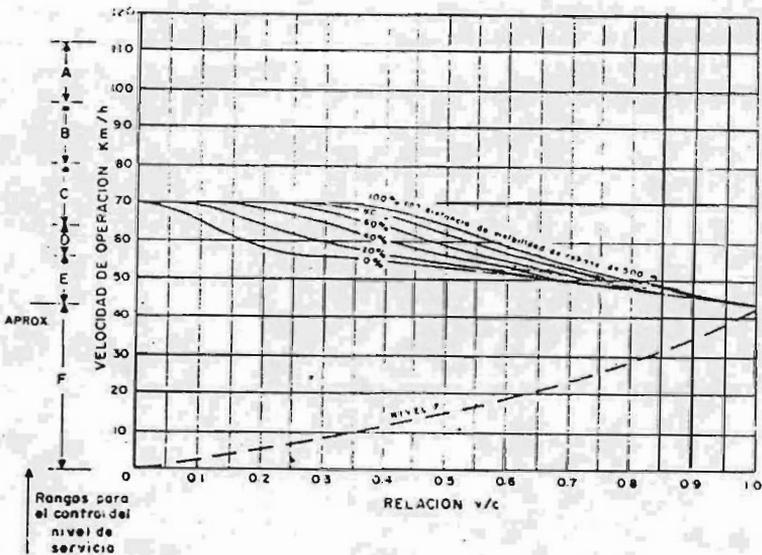


FIGURA 2.12 RELACIONES ENTRE LA VELOCIDAD DE OPERACION Y LA RELACION V/C, PARA AMBOS SENTIDOS DE CIRCULACION EN CARRETERAS DE DOS CARRILES CON VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 70 KM/H, BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA

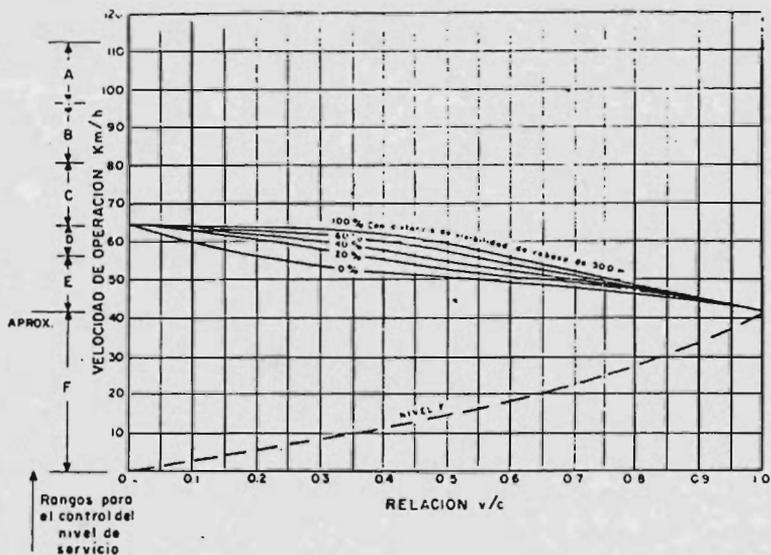


FIGURA 2.13 RELACIONES ENTRE LA VELOCIDAD DE OPERACION Y LA RELACION V/C, PARA AMBOS SENTIDOS DE CIRCULACION EN CARRETERAS DE DOS CARRILES CON VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 65 KM/H, BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA

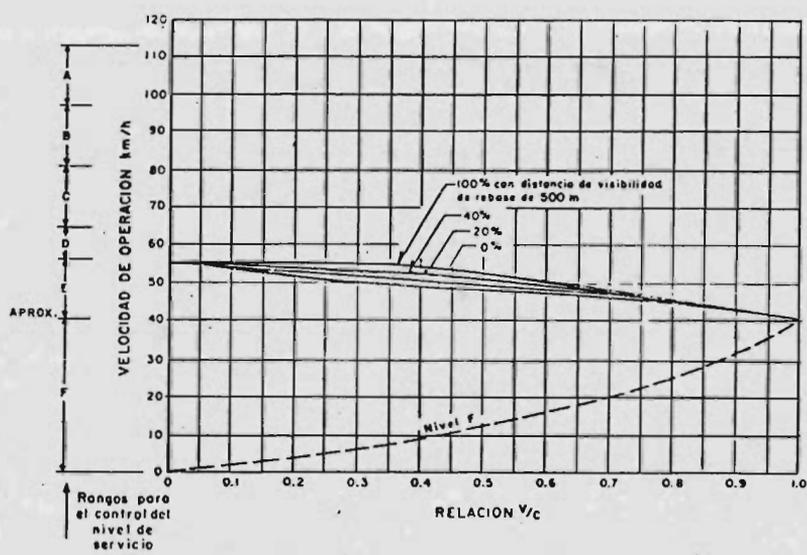


FIGURA 2.14 RELACIONES ENTRE LA VELOCIDAD DE OPERACION Y LA RELACION V/C, PARA AMBOS SENTIDOS DE CIRCULACION EN CARRETERAS DE DOS CARRILES CON VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 55 KM/H, BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA

mismas tablas que en el cálculo de la capacidad de servicio.

T= Factor de ajuste a la capacidad por vehículos pesados, obtenido como en el cálculo de la capacidad de servicio.

C) Nivel de servicio.

Para los tres tipos de carreteras se sigue el procedimiento por tanteos que a continuación se presenta:

- 1.- Suponer un nivel de servicio a criterio, de acuerdo con las características del camino y del tránsito.
- 2.- Calcular el volumen de servicio para el nivel de servicio supuesto, siguiendo lo indicado anteriormente.
- 3.- Comparar el volumen de servicio calculado con el de demanda de la carretera. -- Realizando dos tanteos como máximo, se conoce el rango de volúmenes de servicio dentro del cual está el volumen de demanda y por lo tanto, el nivel de servicio buscado.

Las tablas y figuras que se emplean en el análisis, son las marcadas con los números 2.8 a 2.20 y 2.7 a 2.14, respectivamente.

### III. EVALUACION DE LA RED CARRETERA.

#### 3.1 EVALUACION.

Para conocer el estado de la sección estructural de una carretera es necesario realizarle una evaluación, para conocer los materiales con que está construido, cómo es está construido y como se comporta. El grado en que estos conceptos son adecuados, se refleja en las condiciones de la superficie de rodamiento y por consiguiente en la capacidad de servicio del pavimento. Aquí es necesario distinguir entre capacidad de servicio de la carretera y capacidad de servicio del pavimento, siendo la primera la que se refiere al volumen de tránsito que puede circular por una carretera y la segunda la que se refiere a conducir ese volumen en forma cómoda y segura, esto es, la capacidad del pavimento es función del estado de la superficie de rodamiento.

Para efectuar una evaluación a la red carretera de México, se tiene que tomar en cuenta que ésta tiene varios años de antigüedad en su mayor parte y existe la urgencia de adecuarla a las condiciones que le impone el tránsito actual y futuro, además de no disponer de los recursos económicos necesarios, por lo que debe establecerse un sistema por medio del cual se lleve un récord de las carreteras y sus condiciones, para así poder determinar jerarquías en cuanto a la prioridad para conservarlas, reconstruirlas o modernizarlas. En el Capítulo V de ésta tesis, se propone un modelo para llevar a cabo lo antes expuesto.

Este capítulo tratará solo la manera de realizar una evaluación y los medios que se utilizan para ello, por

lo cual se establecerá una clasificación de los tipos de evaluación, que son:

- . Evaluación cualitativa
- . Evaluación cuantitativa

Se entenderá por evaluación cualitativa la que se realice tomando en cuenta la comodidad y seguridad del usuario, en forma subjetiva, por medio del concepto de Calificación Actual, el cual mide el grado de comodidad que proporciona un pavimento. El otro tipo de evaluación es el que se realiza en forma objetiva, utilizando dispositivos que miden físicamente y valoran numéricamente diversos conceptos como son los deterioros o fallas, las deformaciones, resistencia al deslizamiento, deflexiones, etc.

Dentro de la evaluación cuantitativa, se utilizan dos métodos en general, que son los destructivos y los no destructivos.

Los métodos no destructivos son aquéllos en los que no es necesario destruir el pavimento para conocer sus características y propiedades, en éstos encajan los que miden las propiedades superficiales del pavimento y las deflexiones bajo una carga estática o dinámica.

Los métodos destructivos están representados por los sondeos o calas y la extracción de corazones, en los que la estructura del pavimento tiene que ser alterada o destruída para conocer los espesores de las capas que la forman y sus propiedades y estado, así como los tipos de materiales que la constituyen.

Para que la evaluación sea completa, se deben revisar también el drenaje y sub-drenaje, factores fundamenta--

les que norman el comportamiento futuro de la estructura de la carretera.

### 3.2 METODOS USADOS PARA REALIZAR UNA EVALUACION.

Para introducirnos al tema, es necesario conocer antes algunos conceptos. Como se mencionó anteriormente, el estado de la superficie de rodamiento es el factor fundamental en la capacidad de servicio de un pavimento, lo que quiere decir que cuando un pavimento falla (funcional y estructuralmente), la capacidad de servicio -- del pavimento se ve afectada en forma inversamente proporcional, o sea, a mayor grado de falla, menor capacidad de servicio del pavimento. Los conceptos de falla funcional y falla estructural fueron mencionados en el capítulo I y el concepto de falla es el resultado apreciable de la intervención de varios factores sobre el pavimento que conducen a una reducción de su capacidad de servicio.

#### 3.2.1 TIPOS Y CAUSAS DE FALLA.

Las fallas de las secciones estructurales con pavimento flexible, se pueden originar por varias razones, como son: mal diseño, mala construcción, empleo de materiales inadecuados y específicamente por consolidación o esfuerzos cortantes en la terracería, subrasante o alguna capa del pavimento. Generalmente, cuando la falla es por consolidación, se origina una depresión en el lugar por donde acostumbra pasar las ruedas de los vehículos. Cuando la falla es por cortante en las terracerías o subrasante se origina esa misma depre---sión, pero el material en la superficie a una ---cierta distancia de la huella de la rodada de los vehículos se levanta o "bufa"; si la falla por --

cortante se produce en la superficie, ocurre lo mismo, sólo que el bufamiento se localiza muy cerca de la huella de las llantas de los vehículos, sin embargo, para conocer con más exactitud la causa de la falla, es conveniente realizar un análisis más detallado, que puede ser por medio de trincheras o sondeos en el pavimento, sólo que esta prueba es destructiva.

También se originan las fallas por comportamientos inadecuados de la carpeta o riego de sello.

#### 3.2.1.1 FALLA DE PIEL DE COCODRILO (O DE MAPA).

Es un tipo de agrietamiento que figura la piel del cocodrilo y se debe a las siguientes causas:

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

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

#### 3.2.1.2 FALLA DE CONSOLIDACION.

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

#### 3.2.1.3 FALLA POR CORTANTE.

Tienen su origen en la falta de cohesión y fricción interna en la sub-estructura, se les conoce por el bufamiento a los la-

dos de la rodada; cuando los acotamientos no están bien construidos o diseñados, esta falla ocurre en la rodada exterior.

#### 3.2.1.4 FALLA LONGITUDINAL.

Son grietas paralelas al eje del camino - que aparecen a poca distancia del borde - del pavimento y que suelen acompañarse -- con ramificaciones transversales hacia -- los acotamientos; se originan por falta - de soporte lateral, asentamiento de los - terraplenes, cambios de humedad y temperara o uso de materiales con alta contracción. Esta grieta también puede aparecer en la carpeta o en la junta entre la carpeta y el acotamiento por causa de un mal proyecto, o sea, no dar a los acotamien--tos el ancho suficiente para que la grieta se produzca en ellos.

#### 3.2.1.5 FALTA DE ADHERENCIA.

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

#### 3.2.1.6 GRIETAS REFLEJADAS.

Este tipo de fallas ocurren sólo en las - sobrecarpetas y son la reflexión de grietas de un pavimento antiguo en la misma - sobrecarpeta. En éstas es necesario cui--dar que no permitan infiltraciones de --

agua por medio de sellados. En EE.UU. -- han evitado las reflexiones construyendo una capa de mezcla asfáltica con agregados pétreos de tamaño uniforme, más o menos de 5.08 mm. (2") y sobre ella la sobrecarpeta. En todos los casos, es necesario sellar las grietas antes de construir las sobrecarpetas.

#### 3.2.1.7 GRIETAS DE CONTRACCION.

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

#### 3.2.1.8 FALLAS TRANSVERSALES.

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

#### 3.2.1.9 DEPRESIONES EN LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO.

Son asentamientos en zonas pequeñas aisladas y pueden ser originadas por tráfico que excede al diseñado, hundimientos-

de las capas inferiores o defectos de ---  
construcción.

### 3.2.1.10 DESINTEGRACION DE LAS CARPETAS.

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

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

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

### 3.2.1.11 PAVIMENTO RESBALOSO.

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

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

Estas se manifiestan por depresiones o -- abultamientos en zonas grandes aisladas y pueden ser indicios de posibles fallas de talud, por lo que hay que investigarlas.-

Empiezan con el agrietamiento longitudinal o semicircular de la superficie de rodamiento y terminan con las depresiones o abultamientos que se reflejan en la carpeta.

### 3.2.1.13 FALLAS POR CONDICIONES ADVERSAS DEL AGUA Y EL NIVEL FREÁTICO.

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

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

### 3.2.2 METODOS PARA VALORAR EL ESTADO DE LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO.

Al realizar la evaluación se puede hacer revisando lo siguiente:

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

El primer concepto (inciso a), se evalúa por medio del índice de servicio o la calificación actual, que son métodos cuantitativo y cualitativo, respectivamente. El término del inciso b) se valora por medio de pruebas en el lugar (destructivas y no destructivas) y pruebas en el laboratorio para determinar deflexiones, espesores, grados de compactación, calidad y resistencia de las diferentes capas. (métodos cuantitativos).

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

El sub-drenaje es un factor de la sección estructural que cuando se construye no se ve, pero su inexistencia es apreciable en el pavimento por los efectos que causa.

El sub-drenaje intercepta las aguas infiltradas en el terreno natural donde se aloja la carretera, canalizándolas hacia el sistema de drenaje o hacia lugares donde no afecte a la estructura del camino y evitando que lleguen al material de apoyo del pavimento o a las capas que lo constituyen,

conservándoles una humedad uniforme.

El sub-drenaje es necesario en las secciones en corte, o cuando las terracerías están cerca o incrustadas en el terreno natural.

Es fácil ver cuando en una sección en corte donde existen aguas de infiltración hace falta el sub-drenaje, pues la superficie del pavimento y el mismo pavimento están muy deteriorados.

Valorados los conceptos de los incisos a), b) y c), se puede determinar:

- a) Si el nivel de servicio es aceptable o inaceptable.
- b) Cuál es el nivel de seguridad.
- c) El grado de deterioro.
- d) Si la capacidad estructural es o no adecuada.
- e) Los costos que gravan al usuario.
- f) Cuáles son los costos de conservación rutinaria y si estos son aceptables.

Realizando una evaluación de la superficie del pavimento a nivel nacional, se puede determinar qué carreteras tienen más urgencia de ser conservadas, reconstruidas o modernizadas. Una vez determinada la necesidad de practicarle alguna de las operaciones anteriores a una carretera determinada, -- con la evaluación a fondo de su estructura, se -- pueden adoptar procedimientos de construcción o -- medidas adecuados.

De igual manera se procede con las obras de drenaje y subdrenaje, pues de la evaluación se decide si hay que limpiarlas, ampliarlas, reubicarlas o

construir más.

### 3.2.2.1 INDICE DE SERVICIO ACTUAL.

Este índice 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 todo cuantitativo, puesto que es objetivo.

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

- a) El rugosímetro del B.P.R.
- b) El perfilómetro C.H.L.O.E.
- c) La regla rodante R.S.E.
- d) El perfilómetro británico R.R.L.
- e) El perfilómetro dinámico de superficie S.D.P.
- f) El vehículo medidor de carreteras Mays C.R.M.
- g) El método nivelador preciso para la --

determinación de perfiles "LEVEL".

Los más conocidos en México son el perfilómetro C.H.L.O.E. y el vehículo Mays C.R.M. y son a los que nos enfocaremos.

El perfilómetro C.H.L.O.E., se usa para -- calcular la variancia de la pendiente longitudinal del camino, es decir, mide la de formación longitudinal por cambio de ángulo entre dos líneas de referencia, no obstante, este 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.

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

$$\overline{SV} = \frac{\sum_{i=1}^N \left\{ 8.46 \left[ \frac{\sum_{i=1}^n y^2}{n} - \left( \frac{\sum_{i=1}^n y}{n} \right)^2 \right] - 2.5 \right\}}{N}$$

$$P = 4.85 - 1.91 \log(1 + \overline{SV}) + 0.81 \log(1 + T) - 0.01 \sqrt{10(G+B)} - 1.38 \times \left[ \frac{\text{Amf}}{25.4} \right]^2$$

donde:

$\overline{SV}$  = Variancia media de la pendiente del perfil longitudinal, basada en lecturas discretas a cada 15 cm. del avance del perfilógrafo C.H.L.O.E.

y = Lectura del perfilógrafo C.H.L.O.E. proporcional a la pendiente longitudinal en un punto determinado. La constante de proporcionalidad es  $8.46 \times 10^6$

n = Número de lecturas en un recorrido del perfilómetro.

N = Número de recorridos en una misma sección.

P = Índice de servicio actual.

T = Textura de la carpeta, promedio de 10 mediciones con el texturómetro de Texas, en milésimos de pulgada.

G+B = Porcentaje de áreas agrietadas o con baches, tanto abiertas como reparadas.

Amf = Flecha media final, promedio de 60 lecturas representativas de la sección transversal, en la huella exterior, referidas a 2 puntos distantes 1.20 m. entre sí.

Como se habrá notado, el índice de servicio involucra los factores citados al principio de este inciso, sin embargo, se ha visto -- que los factores que más intervienen en el sentimiento de incomodidad del usuario, son

la deformación longitudinal y la transversal.

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

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

## 3.2.2.2 CALIFICACION ACTUAL.

Es la manera de valorar el estado de la su superficie de rodamiento en forma subjetiva, esto es, el grado de comodidad de viaje que tiene el usuario al transitar sobre un pavimento. Este es un método cualitativo.

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

La escala de calificación de la superficie del pavimento es la siguiente:

Calificación	Estado del pavimento.
4 - 5	Excelente o muy bueno
3 - 4	Bueno
2 - 3	Regular
1 - 2	Malo
0 - 1	Muy malo

Se considera que el juicio de las personas que realicen la calificación es representativo de los usuarios en general y de acuerdo a las experiencias se ha visto que un grupo de cinco personas calificadoras es apropiado, con un error de  $\pm 0.5$ , lo cual -

es aceptable, no obstante, si se requiere mayor precisión hay que aumentar el número de personas calificadoras o usar un mé todo directo o cuantitativo.

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

Por otra parte, como el recorrido lo debe efectuar el grupo de personas en una vez, por cuestión económica, se debe procurar que el criterio de un calificador no sea influenciado por la opinión de otro y se recomienda que cada calificador lleve su propio registro. Una vez que los calificado res realicen el recorrido, se tomarán todos los resultados y se sacará el promedio para cada tramo de la siguiente manera:

$$CA = \bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

Donde:

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

X = Valores de las calificaciones individuales de cada integrante del grupo.

n = Número de integrantes del grupo.

De esta manera se puede establecer el nivel de servicio en el que se encuentra la superficie del pavimento y si es acepta--

ble o no. A este respecto se ha establecido un límite en el cual un pavimento tiene que ser reparado, a este límite se le llama "de rechazo" cuyo valor es de 2.5 en la escala antes mencionada y ningún pavimento debe tener una calificación menor a éste - límite.

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

Aquí cabe aclarar que para calificar a un pavimento sólo debe intervenir la sensa---ción de comodidad al viajar sobre él, sin realizar la calificación en función de las fallas que se le aprecien al pavimento.

Como su nombre lo dice, el concepto de "Calificación Actual" sólo es la calificación del pavimento en el momento de realizarla. Si se realizara esta calificación periódicamente, se tendría información del estado de la superficie de rodamiento a través -- del tiempo, o sea, se tendría el "comportamiento del pavimento", lo cual en un momento dado puede influir mucho en la toma de decisiones con respecto a si sólo realizarle un mantenimiento menor, mayor o ninguno.

KILOMETRAJE		DE																		
		A																		
CALIFICACION ACTUAL DEL PAVIMENTO	3																			
	4																			
5																				
2																				
1																				
0																				
CALIFICACION ACTUAL																				
PAVIMENTO ACEPTABLE	SI																			
	NO																			
	DUDOSO																			
DESCRIPCION DE 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	
	DEFORMACIONES																			
	GRIETAS																			
	BACHES	ABIERTOS																		
		TAPADOS																		
	ZONAS LLORADAS																			
	DESPRENDIMIENTOS																			
OBSERVACIONES																				

FIG.- 3.1.- CALIFICACION ACTUAL DE LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO.

Por otra parte, tanto el "Índice de Servicio Actual" como la "Calificación Actual" se basan principalmente en lo deformado de la superficie de rodamiento, es decir, en la comodidad que se sienta al circular sobre ella, sin embargo, también es necesario considerar el aspecto de seguridad para poder circular sobre un pavimento, lo cual se hará en lo que sigue.

### 3.2.2.3 EVALUACION DE SEGURIDAD DE LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO.

En este aspecto, lo que se analiza es la resistencia al deslizamiento o derrapamiento de los vehículos que ofrece el pavimento, pero intervienen otros factores, que son:

- a) Existencia de roderas, por el peligro de acumulación de aguas que dan origen al acuaplano y la acumulación de hielo. Acuaplano se le llama al hecho de que las ruedas de un vehículo no hagan contacto con el pavimento, sino que van "flotando" sobre el agua acumulada.
- b) Que el pavimento, por su color o debido al afloramiento de asfalto, refleje la luz y deslumbre a los conductores.
- c) Piedras u objetos extraños sobre el pavimento.

En sí, la propiedad antiderrapante de un pavimento es función de la interrelación de tres factores: el pavimento, las llan-

tas y el conductor.

La A.S.T.M. ha formalizado un método (el E-274) para obtener los números de deslizamiento (SN) de un pavimento, los cuales -- son valores medios y representan a la mayor parte de los vehículos que transiten -- por un camino determinado.

Para obtener estos números hay variedad de dispositivos, de los cuales se citan algunos a continuación:

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

Como comentarios adicionales, cuando las -- roderas tengan profundidades menores a 1.0-cm., no constituyen peligro alguno, pero -- cuando la profundidad de las depresiones -- es mayor o igual a 2 cm. son un riesgo.

En cuanto al color de la superficie de rodamiento, debe ser un color que no refleje la luz en el día, pero en la noche y más -- aún si es lluviosa, se recomienda un riego

de sello color claro para mejorar la visibilidad.

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

Actualmente no se realiza esta prueba en las carreteras mexicanas, pero sería conveniente pues basándose en esta prueba se pueden realizar obras que evitarían accidentes.

### 3.2.3 EVALUACION DE LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO.

Este tipo de valuación es necesaria, porque con ella podemos determinar, por ejemplo, cuando un pavimento necesita de una carpeta niveladora, en el caso de estar deformado, pero estructuralmente sano, o cuando necesita una verdadera sobrecarpeta de refuerzo al haberse rebasado su capacidad de carga.

En este renglón, existe una amplia variedad de métodos, mismos que se pueden encasillar dentro de dos tipos generales.

- a) Métodos destructivos.
- b) Métodos no destructivos.

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

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

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

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

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

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

Dentro de estos tipos de dispositivos, el más conocido en México es la viga Benkelman.

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

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

Tanto el deflectómetro viajero como el deflectógrafo Lacroix operan bajo el mismo principio. Son instrumentos electromecánicos que miden deflexiones de manera uniforme y continua. Tienen un rendimiento aproximado de 2,000 mediciones individuales por jornada de trabajo.

La segunda categoría, o sea, la que incluye los dispositivos que miden la respuesta del pavimento a repeticiones de cargas dinámicas, está represen

tada por el vehículo más generalmente usado, el -- "Dynalect", que es un aparato electromecánico pa-  
ra medir la deflexión dinámica de la superficie -  
de una carretera, producida por una carga oscila-  
toria. Consiste en un generador de fuerza dinámi-  
ca, un aparato móvil de medición, una unidad de -  
calibración y una serie de cinco geófonos móviles,  
montados en un pequeño remolque, el cual, estando  
en posición fija, ejerce en la superficie del pa-  
vimento, mediante dos ruedas de acero cubiertas de  
hule, una carga oscilatoria cuya intensidad es de  
1,000 lbs. en los puntos máximos. La amplitud re--  
sultante de la deflexión, es recogida por los geó-  
fonos y leída como una medida de la propia defle-  
xión, en un aparato colocado dentro de la cabina -  
del vehículo remolcador.

Pasando a los métodos destructivos, se puede de--  
cir que se usan cuando se requiere saber exacta--  
mente dónde están ocurriendo las fallas en el pa-  
vimento y sus causas, o para determinar los tipos  
de capas y materiales que constituyen la estructu-  
ra de la carretera, así como sus características  
de calidad y resistencia.

Los métodos destructivos están representados por-  
trincheras, sondeos, calas o extracción de corazo-  
nes, que destruyen parcialmente la estructura del  
pavimento. Cuando se realiza alguna de estas ope-  
raciones es necesario que las capas del pavimento  
destruidas sean repuestas con material de calidad  
adecuada, dándoles una buena compactación.

Llevar a cabo cualquiera de las operaciones ante-  
riores sirve para poder medir los espesores de la

estructura actual, los grados de compactación de las capas que forman al pavimento y con ayuda de pruebas de laboratorio poder determinar propiedades de interés fundamental de los materiales del pavimento y las terracerías.

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

También se requiere conocer la granulometría del material pétreo, así como otros aspectos.

Para las bases y sub-bases se requiere conocer su granulometría, V.R.S. estándar, propiedades índice, clasificación, contracción lineal, contenido natural de agua, etc.

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

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

Por lo regular, en los caminos construídos de antiguo, la capa sub-rasante y las terracerías están hechas con material de préstamos laterales de mala calidad, sensible a los cambios de humedad y en los caminos alojados en zonas de alta precipitación o con drenaje y sub-drenaje deficientes, las terracerías y capa sub-rasante tienen casi --

siempre excesos de humedad (valores mayores al -- óptimo), a los que reaccionan con disminución de resistencia al esfuerzo cortante y con deformaciones volumétricas.

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

Con estas bases se decide, cuando un camino va a ser modificado, si se pueden aprovechar capas del pavimento actual o éste en su totalidad, o se tiene que deshechar.

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

Para evaluar totalmente un pavimento, es necesario analizar cuidadosamente todos los factores -- que intervienen, pudiendo usar como guía general en primera instancia, los defectos superficiales del pavimento para luego, en función de éstos, determinar si se requiere un estudio más a fondo de las condiciones en las capas inferiores del pavimento. (Evaluación cuantitativa).

Aquí conviene mencionar la ventaja de llevar un registro de la historia de cada pavimento, pues si se realiza una evaluación cualitativa cuando al -

pavimento se le acaba de dar un riego de sello, -- por ejemplo, el resultado que se obtenga no es representativo de las condiciones de toda la estructura ya que puede ser que el camino necesite de reparaciones frecuentes que rebasen el límite de presupuesto de conservación normal otorgado a un camino cualquiera. Entonces los técnicos que realicen una evaluación deben estar concientes de esto al tomar decisiones con respecto a lo que hay-que hacerle en lo futuro al pavimento analizado.

Por último, hay que comentar que no se debe esca-timar en la búsqueda de las verdaderas causas de las fallas, realizando estudios concientes y con-fiables para así poder remediar los males desde su origen y no sólo en los resultados apreciables de su comportamiento, esto es equiparable al caso de una persona con caries a la que se le puede tapar una muela picada y el mal no se ve, pero existe, molesta y sigue avanzando.

#### IV. REVISION DEL ESTADO DEL ARTE SOBRE CONSERVACION Y RECONSTRUCCION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Después de evaluada superficialmente una carretera, se puede tomar la decisión de practicarle tan sólo operaciones de conservación o una evaluación de su estructura para determinar las necesidades que tenga de ser reconstruída o modernizada. Este capítulo trata de las formas que hay para practicar tanto operaciones de conservación, como reconstrucciones en el aspecto de diseño y las maneras de llevarlas a cabo en el campo en la República Mexicana, hasta la fecha.

Las modernizaciones, como ya se había mencionado, son cambios en el alineamiento horizontal y vertical así como ampliación en los anchos o número de carriles de la carretera, dentro de las cuales se incluyen construcciones de partes nuevas (las ampliaciones y los cuerpos nuevos) y reconstrucciones.

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

- a) Evaluación de la superficie del pavimento.
- b) Evaluación de la sección estructural (Sólo si se requiere).
- c) Proyecto de reconstrucción (En caso de ser necesaria esta última).
- d) Operaciones de reconstrucción o conservación normal.

Llamaremos conservación normal a la que requiere de inversiones que estén dentro del presupuesto disponible para una carretera cualquiera.

En este capítulo sólo se tratará lo referente al proyecto de reconstrucción y modernización de las carreteras.

En el proyecto de reconstrucción los factores de interés -- son: el cálculo de espesores de la nueva estructura, o del refuerzo o modificación que se vaya a realizar sobre la estructura existente y los procedimientos de construcción que se deben seguir para llevar a cabo la obra de que se trate.

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

De aquí se puede llegar a una resolución que puede ser, por ejemplo, un riego de sello cuando la estructura no está dañada, o una reconstrucción o refuerzo cuando lo está.

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

Para el cálculo de espesores o diseño de la nueva estructura y del refuerzo, existe una amplia variedad de métodos entre los que se encuentran, por ejemplo, el método francés - que se basa en el uso de un catálogo y sistemas automáticos para la obtención de datos, o varios procedimientos de origen norteamericano, sin embargo, en esta tesis el enfoque - se hará únicamente sobre los métodos más ampliamente usados en los Estados Unidos Mexicanos, detallándolos en lo que a -

continuación se presenta.

#### 4.1 DETERMINACION DE LAS NECESIDADES DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE.

Cuando la evaluación superficial de una carretera arroje resultados positivos, es decir, dé como resultado -- que la superficie del pavimento es apropiada a las condiciones actuales y sólo necesite de una textura apropiada (antiderrapante), que soporte el desgaste y tenga la propiedad de impedir el paso de agua hacia la estructura interna del pavimento, será suficiente con aplicar un riego de sello (que no es más que una carpeta de un riego), por ejemplo.

Si ocurre lo contrario, es decir, si de la evaluación de la superficie del pavimento se llega a que ésta no es adecuada y se encuentra muy dañada o deformada, o sea, cuando el índice de servicio o la calificación actual arrojen un resultado igual o menor que 2.5, el cual es el límite de rechazo (o muy cercano a éste), es necesario realizar una evaluación de la sección estructural, que puede dar como resultado que hay necesidad de un refuerzo en algunos casos, pero en otros hay que eliminar la estructura de mala calidad y/o mal construída (totalmente o en parte), construyendo una nueva en su lugar o modificándola.

Para determinar que capas de la estructura se pueden -- aprovechar y cuáles hay que eliminar, así como los procedimientos de construcción, se requiere de pruebas destructivas mediante las que se obtengan muestras que se analicen en el laboratorio, determinando de esta manera la calidad y resistencia de cada capa.

En general, lo que se analiza de cada capa es que su --

granulometría, resistencia, expansión, contracción lineal, etc., sean las apropiadas de acuerdo con las especificaciones de cada proyecto, que regularmente son las citadas en el Capítulo I, entre otras.

Con estos antecedentes ya se puede entrar a lo que es el diseño de refuerzos, modificaciones o estructuras nuevas.

#### 4.1.1 DISEÑO DE ESTRUCTURAS NUEVAS.

En México, los métodos generalmente usados eran los del Instituto de Ingeniería de la UNAM, el Instituto de Asfaltos de Norteamérica, el Método de la AASHO, la Tecnología Porter Modificada y el Método S.O.P., todos ellos proponen espesores de pavimento en función de la resistencia (Valor relativo soporte) de las capas de apoyo y el volumen de tránsito, sin embargo, el método S.O.P, además de que sólo propone espesores sobre la capa sub-rasante, no es adecuado a las condiciones actuales, lo cual se puede apreciar en la figura 1.5 del Capítulo I.

En esta se observa que para un tránsito de 2,000 vehículos por ejemplo, con un valor relativo soporte de 6% de la capa sub-rasante, se necesita un espesor de base más sub-base de 43 cm., si se tratara de 20,000 vehículos, el resultado sería el mismo, lo cual no es real ni adecuado, pues al construir una misma estructura para un T.P.D.A de 20,000 vehículos que para 2,000, es obvio que con el tránsito mayor la estructura será insuficiente para soportar dicho tránsito en el período para el que se le haya diseñado. Por lo antes expuesto

y otras consideraciones se llega a que éste método no debe ser usado para las condiciones actuales y futuras y se debe modificar.

Los métodos a que se refiere este trabajo serán los del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M., el Instituto de Asfaltos de Norteamérica y la Tecnología Porter Modificada.

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

Como se había comentado anteriormente, -- existe un manual llamado "Instructivo para el Diseño Estructural de Pavimentos -- Flexibles para Carreteras", en el cual se muestran los lineamientos para calcular espesores de estructuras tomando en cuenta el volumen de tránsito, su composición y la resistencia (valor relativo soporte) de las capas de apoyo. Las condiciones para las cuales se realizó el método son -- las imperantes en la República Mexicana.

A continuación se explica en forma somera el método y se hacen algunas observaciones.

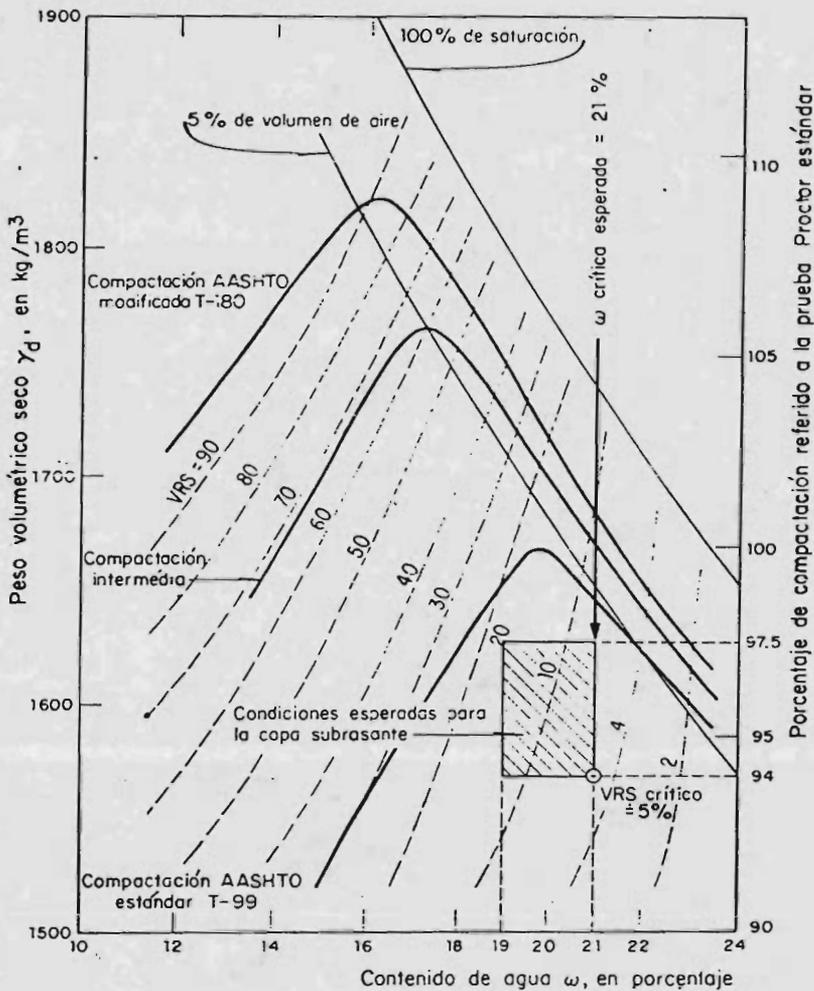
En primera instancia, se trata de valuar la resistencia crítica esperada en el campo de las diferentes capas que forman a la sección estructural; esta resistencia se valúa por medio de índices, los cuales se obtienen mediante las pruebas de valor relativo soporte (V.R.S. o C.B.R.), que son pruebas de punzonamiento en donde

se comparará el resultado de una prueba realizada a cualquier material con una efectuada en un material pétreo triturado al que llamaremos "patrón".

Para el cálculo de estos índices, el Instituto de Ingeniería de la UNAM, propone el empleo de criterios similares a los del Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos de Norteamérica (CE) y del Laboratorio de Investigación de Transporte y Carreteras de Inglaterra (TRRL). La figura 4.1 muestra un ejemplo del criterio del Cuerpo de Ingenieros (CE). El método del TRRL, propone determinar el contenido último de agua en sub-rasantes de pavimentos impermeables según tres categorías:

I.- El nivel freático se localiza cerca de la superficie del terreno y controla el contenido de agua de la sub-rasante, dependiendo del tipo de suelo. En suelos no plásticos, el nivel freático influirá si está a menos de 90 cm. de la superficie del camino. Si se tienen arcillas arenosas ( $IP \geq 20$ ), el nivel de aguas freáticas influirá cuando se localice a menos de 3.0 m. de la superficie de la superficie de rodamiento. Cuando existan arcillas activas ( $IP \geq 40$ ) el nivel freático influirá si está a no más de 7.0 m. de la superficie de la carretera.

Además el TRRL, recomienda determinar



Nota: Suelo arcilloso (CL),

Ejemplo: Relaciones peso volumétrico seco - contenido de agua - VRS, para un suelo arcilloso.

Fig. 4.1

el contenido de agua último de las terraceras bajo pavimentos existentes--  
midiéndolo en condiciones similares a  
la época del año donde el nivel de --  
aguas freáticas se encuentre más cer-  
ca de la superficie, cuando los pavi-  
mentos tengan más de 2 años de edad.

**II.-** El contenido de agua de la sub-rasan-  
te depende de la entrada del agua de  
lluvia y evaporación por los acota---  
mientos y orillas del pavimento. Gene-  
ralmente ocurre en zonas donde la llu-  
via es mayor a los 250 mm. por año, -  
con distribución estacional. Aquí el  
TRRL, recomienda utilizar el conteni-  
do óptimo de agua determinado en la -  
prueba estándar de compactación por -  
impacto con pisón de 2.5 Kg., como el  
contenido probable en la sub-rasante.

**III.-** No existe nivel freático permanente -  
cerca de la superficie del terreno y  
el clima es árido. Se considera que -  
éstas zonas tienen precipitación anual  
menor a 250 mm. Bajo estas condicio--  
nes, el TRRL propone adoptar el conte-  
nido de agua último para la sub-rasan-  
te el mismo del terreno natural descu-  
bierto a la misma profundidad.

Actualmente en la S.A.H.O.P. se utilizan-  
los valores relativos de soporte obteni--  
dos en la prueba Modificada a diferentes-  
compactaciones, pero recalcando, se trata

de obtener los valores relativos de soporte críticos de los materiales en las mismas condiciones en que van a estar en el campo.

Para estimar el valor relativo de soporte crítico esperado en el campo, el Instituto de Ingeniería de la UNAM, propone la siguiente fórmula:

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

donde:

$VRS_z$  = Valor relativo de soporte crítico-  
esperado en el campo o de diseño.

$\overline{VRS}$  = Valor relativo de soporte esperado  
en el campo, bajo condiciones me--  
dias.

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

donde:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{X}}$$

siendo:

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

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

$\sigma$  = Desviación estándar.

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

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

$n$  = Número de muestras.

$c$  = Factor que depende del nivel de confianza elegido, según la siguiente tabla:

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

El Instituto de Ingeniería de la UNAM - - - (II UNAM), recomienda usar un nivel de confianza de 80%.

Para evaluar la resistencia crítica a lo largo de la carretera, hay que zonificarla en zonas homogéneas de acuerdo con las condiciones climatológicas y geotécnicas y di

seños estructural y geométrico. (Además, - hay que estimar las humedades de los mate riales que vayan a prevalecer en el camino, en base al criterio del TRRL y la experiencia regional). Por último, hay que realizar suficientes pruebas que reproduz can dentro de lo posible las condiciones-reales de comportamiento en el campo, con siderando a la vez, que van a existir va riaciones a lo largo del camino.

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

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

El procedimiento es el siguiente:

- a) Se obtiene el T.P.D.A. actual y su com posición, o sea, los porcentajes de ca da tipo de vehículos.
- b) Se hace intervenir una tasa de creci-- miento vehicular anual ( $r$ ), ya sea ---

constante o variable durante el período de diseño.

- c) Se convierte el volumen de vehículos - de cada tipo a ejes equivalentes de -- 8.2 toneladas que denominaremos  $\Sigma L$ , - obteniéndose el total para el período de diseño.

La fórmula empleada es la siguiente:

$$\Sigma L = (T.P.D.A.) (CD) (C_T) \sum_{i=1}^P C_i \left[ W_i \Sigma dm + (1-W_i) \Sigma dV \right]$$

donde:

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

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

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

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

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

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

siendo "r" la tasa de incremento - anual antes mencionada y "n" el número de años de vida útil o período de proyecto.

El coeficiente  $C_T$  también se puede obtener de la gráfica de la figura 4.2.

$C_i$  = Porcentaje en el tránsito total de cada tipo de vehículo (i).

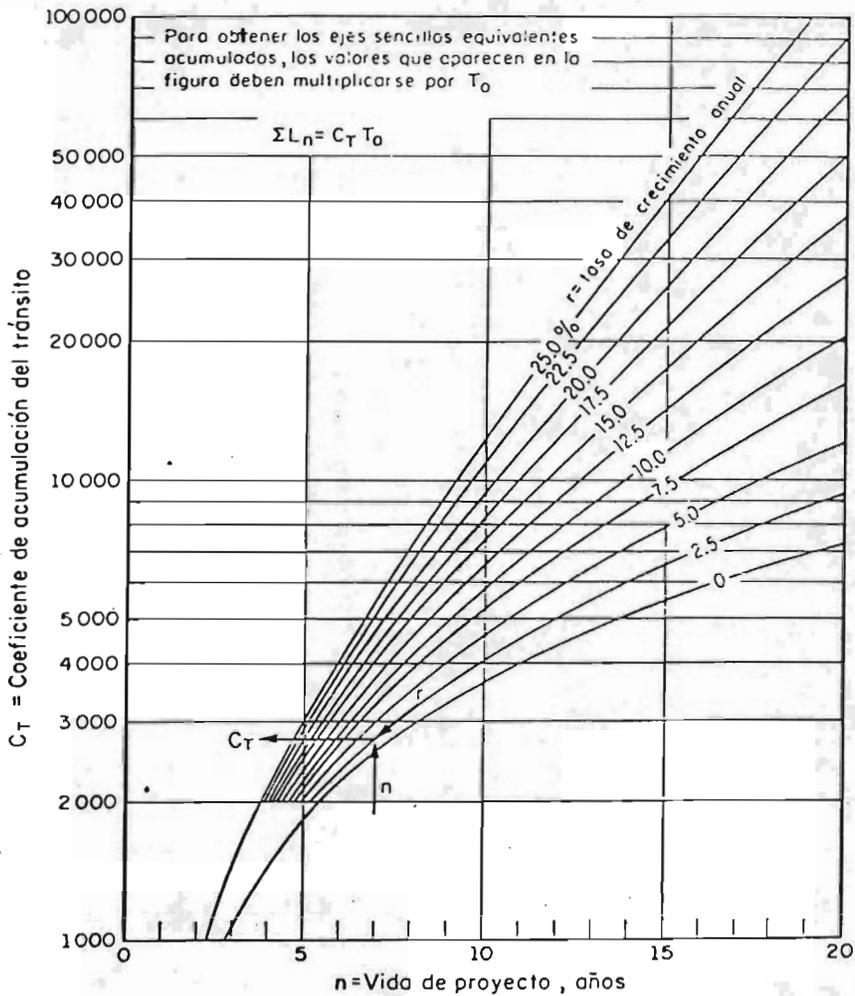
$W_i$  = Porcentaje de vehículos cargados - de cada tipo de vehículo (i).

$d_m$  = Coeficiente de daño del vehículo - tipo i cargado.

$d_v$  = Coeficiente de daño del vehículo - tipo i vacío.

Los coeficientes de daño para vehículos - cargados y vacíos, son los de la Tabla -- 4.1 y corresponden a los vehículos mostrados en la fig. 2.2 y clasificados en la - tabla 2.2.

Si se desea obtener el coeficiente de da- ño para vehículos especiales, se puede -- usar la gráfica de la fig. 4.3. Cabe aclarar que regularmente los aforos de tránsito solo proporcionan los volúmenes de -- tránsito y la composición o porcentaje de vehículos tipo "A" (Automóviles), tipo -- "B" (Autobuses) y tipo "C" (Camiones), sin aclarar que tipo de vehículos pesados son



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

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

$T_0$  = Tránsito equivalente medio diario en el carril de proyecto, durante el primer año de servicio, ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton

$\Sigma L_n$  = Tránsito acumulado al cabo de  $n$  años de servicio, ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton

Fig 4.2. Gráfico para estimar el coeficiente de acumulación del tránsito.



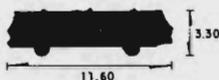
**A2** Automóvil

Camino A, B, C	Conjunto	Peso, en ton		p, kg/cm <sup>2</sup>	d <sub>m</sub> = Coeficiente daño bajo carga máxima				d <sub>v</sub> = Coeficiente de daño vacío			
		Carga máxima	Vacío		z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60
1 <sup>a</sup>		1.0	0.6	2.0	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
2 <sup>a</sup>		1.0	0.8	2.0	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
Σ		2.0	1.6		0.004	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000



**A'2** Camión ligero, con capacidad de carga hasta de 3 ton

Camino A, B, C	Conjunto	Peso, en ton		p, kg/cm <sup>2</sup>	d <sub>m</sub> = Coeficiente daño bajo carga máxima				d <sub>v</sub> = Coeficiente de daño vacío			
		Carga máxima	Vacío		z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60
1 <sup>a</sup>		1.7	1.3	4.6	0.268	0.003	0.000	0.000	0.268	0.001	0.000	0.000
2 <sup>a</sup>		3.8	1.2	4.6	0.268	0.061	0.023	0.015	0.268	0.001	0.000	0.000
Σ		5.5	2.5		0.536	0.064	0.023	0.015	0.536	0.002	0.000	0.000



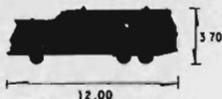
**B2** Autobús de dos ejes

Camino A, B, C	Conjunto	Peso, en ton		p, kg/cm <sup>2</sup>	d <sub>m</sub> = Coeficiente daño bajo carga máxima				d <sub>v</sub> = Coeficiente de daño vacío			
		Carga máxima	Vacío		z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60
Camino A	1 <sup>a</sup>	5.5	3.5	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.079	0.001	0.010
	2 <sup>a</sup>	10.0	7.0	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.679	0.501	0.433
	Σ	15.5	10.5		2.000	1.890	2.457	2.939	2.000	0.757	0.502	0.443
Camino B	1 <sup>a</sup>	5.0	3.5	5.8	1.000	0.261	0.106	0.071	1.000	0.079	0.001	0.010
	2 <sup>a</sup>	9.0	6.5	5.8	1.000	1.234	1.483	1.630	1.000	0.558	0.359	0.292
	Σ	14.0	10.0		2.000	1.495	1.589	1.701	2.000	0.637	0.360	0.302
Camino C	1 <sup>a</sup>	4.0	3.0	5.8	1.000	0.126	0.002	0.021	1.000	0.044	0.009	0.004
	2 <sup>a</sup>	8.0	6.0	5.8	1.000	0.944	0.900	0.878	1.000	0.448	0.249	0.190
	Σ	12.0	9.0		2.000	1.070	0.902	0.899	2.000	0.492	0.258	0.194

† Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

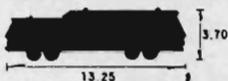
- \*EJE SENCILLO
- \*\*EJE TANDEM
- \*\*\*EJE TRIPLE

TABLA. 4.1.- COEFICIENTES DE DAÑO.



**B3** Autobús de tres ejes

Conjunto	Peso, en ton			$p, \text{kg/cm}^2$	$d_m$ = Coeficiente daño bajo carga máxima				$d_v$ = Coeficiente de daño vacío			
	+Carga máxima	Vacío			z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0'	z = 15	z = 30	z = 60
Camino A	1 <sup>st</sup>	5,5	4,0	5,4	0,666	0,286	0,155	0,116	0,666	0,107	0,034	0,021
	2 <sup>nd</sup> *	14,0	8,0	5,4	1,333	1,083	0,722	0,735	1,333	0,214	0,057	0,037
	$\Sigma$	19,5	12,0		1,999	1,369	0,877	0,852	1,999	0,321	0,091	0,058
Camino B	1 <sup>st</sup>	5,0	4,0	5,4	0,666	0,216	0,099	0,070	0,666	0,107	0,034	0,021
	2 <sup>nd</sup> *	14,0	7,5	5,4	1,333	1,083	0,722	0,735	1,333	0,172	0,042	0,026
	$\Sigma$	19,0	11,5		1,999	1,299	0,821	0,805	1,999	0,279	0,076	0,047
Camino C	1 <sup>st</sup>	4,0	3,5	5,4	0,666	0,107	0,034	0,021	0,666	0,068	0,018	0,010
	2 <sup>nd</sup> *	14,0	7,5	5,4	1,333	1,083	0,722	0,735	1,333	0,172	0,042	0,026
	$\Sigma$	18,0	11,0		1,999	1,190	0,756	0,756	1,999	0,240	0,060	0,036



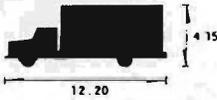
**B4** Autobús de cuatro ejes

Conjunto	Peso, en ton			$p, \text{kg/cm}^2$	$d_m$ = Coeficiente daño bajo carga máxima				$d_v$ = Coeficiente de daño vacío			
	+Carga máxima	Vacío			z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60
Camino A	1 <sup>st</sup>	7,0	5,0	5,4	1,333	0,136	0,030	0,018	1,333	0,038	0,006	0,003
	2 <sup>nd</sup> *	14,0	8,0	5,4	1,333	1,083	0,722	0,735	1,333	0,214	0,057	0,037
	$\Sigma$	21,0	13,0		2,666	1,219	0,752	0,753	2,666	0,252	0,063	0,040
Camino B	1 <sup>st</sup>	7,0	5,0	5,4	1,333	0,136	0,030	0,018	1,333	0,038	0,006	0,003
	2 <sup>nd</sup> *	14,0	8,0	5,4	1,333	1,083	0,722	0,735	1,333	0,214	0,057	0,037
	$\Sigma$	21,0	13,0		2,666	1,219	0,752	0,753	2,666	0,252	0,063	0,040
Camino C	1 <sup>st</sup>	7,0	5,0	5,4	1,333	0,136	0,030	0,018	1,333	0,038	0,006	0,003
	2 <sup>nd</sup> *	14,0	8,0	5,4	1,333	1,083	0,722	0,735	1,333	0,214	0,057	0,037
	$\Sigma$	21,0	13,0		2,666	1,219	0,752	0,753	2,666	0,252	0,063	0,040

†Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

- \*EJE SENCILLO
- \*\*EJE TANDEM
- \*\*\*EJE TRIPLE

TABLA. 4.1.- COEFICIENTES DE DAÑO. (CONTINUACION)



**C2** Camión de dos ejes

Camino	Conjunto	Peso, en ton			p, kg/cm <sup>2</sup>	+d <sub>m</sub> = Coeficiente daño bajo carga máxima				d <sub>v</sub> = Coeficiente de daño vacío			
		+Carga máxima	Vacío			z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60
Camino A	1*	5.5	3.5	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.079	0.019	0.010	
	2*	10.0	3.0	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.044	0.009	0.004	
	Σ	15.5	6.5		2.000	1.890	2.457	2.939	2.000	0.123	0.028	0.014	
Camino B	1*	5.0	3.0	5.8	1.000	0.261	0.106	0.071	1.000	0.044	0.009	0.004	
	2*	9.0	3.0	5.8	1.000	1.234	1.483	1.630	1.000	0.044	0.009	0.004	
	Σ	14.0	6.0		2.000	1.495	1.589	1.701	2.000	0.088	0.018	0.008	
Camino C	1*	4.0	2.5	5.8	1.000	0.126	0.036	0.021	1.000	0.022	0.003	0.002	
	2*	8.0	2.5	5.8	1.000	0.944	0.900	0.878	1.000	0.022	0.003	0.002	
	Σ	12.0	5.0		2.000	1.070	0.936	0.899	2.000	0.044	0.006	0.004	



**C3** Camión de tres ejes

Camino	Conjunto	Peso, en ton			p, kg/cm <sup>2</sup>	+d <sub>m</sub> = Coeficiente daño bajo carga máxima				d <sub>v</sub> = Coeficiente de daño vacío			
		+Carga máxima	Vacío			z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60
Camino A	1*	5.5	4.0	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.126	0.036	0.021	
	2**	18.0	4.5	5.8	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.028	0.003	0.002	
	Σ	23.5	8.5		3.000	2.817	2.457	2.940	3.000	0.154	0.039	0.023	
Camino B	1*	5.0	3.8	5.8	1.000	0.261	0.106	0.071	1.000	0.106	0.028	0.016	
	2**	15.0	4.2	5.8	2.000	1.615	1.072	1.089	2.000	0.021	0.002	0.001	
	Σ	20.0	8.0		3.000	1.876	1.178	1.160	3.000	0.127	0.030	0.017	
Camino C	1*	4.0	3.5	5.4	0.666	0.107	0.034	0.021	0.666	0.068	0.018	0.010	
	2**	14.0	4.0	5.4	1.333	1.083	0.722	0.735	1.333	0.015	0.002	0.001	
	Σ	18.0	7.5		1.999	1.190	0.756	0.756	1.999	0.083	0.020	0.011	

+Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

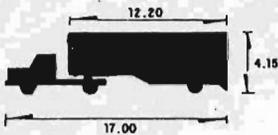
- \*EJE SENCILLO
- \*\*EJE TANDEM
- \*\*\*EJE TRIPLE

TABLA. 4.1.- COEFICIENTES DE DAÑO (CONTINUACION).



**C4** Camión de cuatro ejes

Camino A	Conjunto	Peso, en ton		p, kg/cm <sup>2</sup>	+ d <sub>m</sub> = Coeficiente daño bajo carga máxima				d <sub>v</sub> = Coeficiente de daño vacío			
		+Carga máxima	Vacío		z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60
					z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60
1*	5,5	4,5	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,187	0,064	0,040	
2**	22,5	8,0	5,8	3,000	2,422	2,289	2,818	3,000	0,084	0,020	0,011	
Σ	28,0	12,5		4,000	2,771	2,456	2,937	4,000	0,271	0,084	0,051	



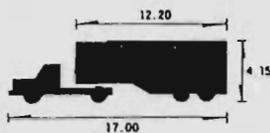
**T2-S1** Tractor de dos ejes con semirremolque de un eje

Camino A	Conjunto	Peso, en ton		p, kg/cm <sup>2</sup>	+ d <sub>m</sub> = Coeficiente daño bajo carga máxima				d <sub>v</sub> = Coeficiente de daño vacío			
		+Carga máxima	Vacío		z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60
					z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60
1*	5,5	3,2	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,057	0,012	0,006	
2*	10,0	3,4	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,071	0,016	0,009	
3*	10,0	3,4	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,071	0,016	0,009	
Σ	25,5	10,0		3,000	3,431	4,747	5,759	3,000	0,199	0,044	0,024	
Camino B	1*	5,0	3,0	5,8	1,000	0,261	0,106	0,071	1,000	0,044	0,009	0,004
	2*	9,0	3,0	5,8	1,000	1,234	1,483	1,630	1,000	0,044	0,009	0,004
	3*	9,0	3,0	5,8	1,000	1,234	1,483	1,630	1,000	0,044	0,009	0,004
	Σ	23,0	9,0		3,000	2,729	3,072	3,331	3,000	0,132	0,027	0,012

+Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

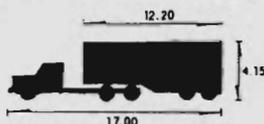
- \*EJE SENCILLO
- \*\*EJE TANDEM
- \*\*\*EJE TRIPLE

TABLA 4.1.- COEFICIENTES DE DAÑO (CONTINUACION).



**T2-S2** Tractor de dos ejes con semirremolque de dos ejes

Conjunto	Peso, en ton		$\rho$ , kg/cm <sup>2</sup>	$+d_m$ = Coeficiente daño bajo carga máxima				$-d_v$ = Coeficiente de daño vacío				
	+Carga máxima	Vacío		$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$	$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$	
Camino A	1 <sup>*</sup>	5,5	4,0	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126	0,036	0,021
	2 <sup>**</sup>	10,0	3,5	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,079	0,019	0,010
	3 <sup>***</sup>	18,0	4,0	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,017	0,002	0,001
	$\Sigma$	33,5	11,5		4,000	4,358	4,747	5,760	4,000	0,222	0,057	0,032
Camino B	1 <sup>*</sup>	5,0	3,4	5,8	1,000	0,261	0,106	0,071	1,000	0,071	0,016	0,009
	2 <sup>**</sup>	9,0	3,4	5,8	1,000	1,234	1,483	1,630	1,000	0,071	0,016	0,009
	3 <sup>***</sup>	15,0	3,7	5,8	2,000	1,615	1,072	1,089	2,000	0,012	0,001	0,001
	$\Sigma$	29,0	10,5		4,000	3,110	2,661	2,790	4,000	0,154	0,033	0,019



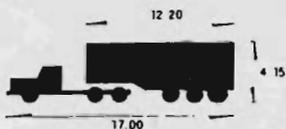
**T3-S2** Tractor de tres ejes con semirremolque de dos ejes

Conjunto	Peso, en ton		$\rho$ , kg/cm <sup>2</sup>	$+d_m$ = Coeficiente daño bajo carga máxima				$d_v$ = Coeficiente de daño vacío				
	+Carga máxima	Vacío		$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$	$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$	
Camino A	1 <sup>*</sup>	5,5	4,0	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126	0,036	0,021
	2 <sup>**</sup>	18,0	4,0	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,017	0,002	0,001
	3 <sup>***</sup>	18,0	4,0	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,017	0,002	0,001
	$\Sigma$	41,50	12,0		5,000	5,285	4,747	5,761	5,000	0,160	0,040	0,023
Camino B	1 <sup>*</sup>	5,0	3,5	5,8	1,000	0,261	0,106	0,071	1,000	0,079	0,019	0,010
	2 <sup>**</sup>	15,0	4,0	5,8	2,000	1,615	1,072	1,089	2,000	0,017	0,002	0,001
	3 <sup>***</sup>	15,0	4,0	5,8	2,000	1,615	1,072	1,089	2,000	0,017	0,002	0,001
	$\Sigma$	35,0	11,5		5,000	3,491	2,250	2,249	5,000	0,113	0,023	0,012

+Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

- \*EJE SENCILLO
- \*\*EJE TANDEM
- \*\*\*EJE TRIPLE

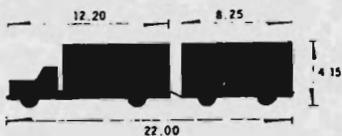
TABLA. 4.1.- COEFICIENTES DE DAÑO (CONTINUACION).



**T3-S3**

Tractor de tres ejes con  
semirremolque de tres ejes

Camino A	Conjunto	Peso, en ton		p, kg/cm <sup>2</sup>	+ d <sub>m</sub> = Coeficiente daño bajo carga máxima				d <sub>v</sub> = Coeficiente de daño vacío			
		+Carga máxima	Vacío		z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60
	1 <sup>*</sup>	5,5	4,0	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126	0,036	0,021
	2 <sup>**</sup>	18,0	4,0	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,017	0,002	0,001
	3 <sup>***</sup>	22,5	5,0	5,8	3,000	2,422	2,289	2,818	3,000	0,011	0,002	0,001
	Σ	46,0	13,0		6,000	5,239	4,746	5,758	6,000	0,154	0,040	0,023



**C2-R2**

Comión de dos ejes con  
remolque de dos ejes

Camino A	Conjunto	Peso, en ton		p, kg/cm <sup>2</sup>	+ d <sub>m</sub> = Coeficiente daño bajo carga máxima				d <sub>v</sub> = Coeficiente de daño vacío			
		+Carga máxima	Vacío		z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60
	1 <sup>*</sup>	5,5	3,5	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,079	0,019	0,010
	2 <sup>**</sup>	10,0	3,0	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,044	0,009	0,004
	3 <sup>*</sup>	10,0	2,0	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,009	0,001	0,000
	4 <sup>**</sup>	10,0	2,0	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,009	0,001	0,000
	Σ	35,5	10,5		4,000	4,972	7,037	8,579	4,000	0,141	0,030	0,014

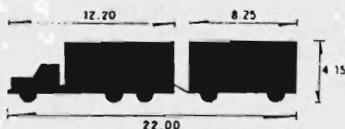
+ Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

\*EJE SENCILLO

\*\*EJE TANDEM

\*\*\*EJE TRIPLE

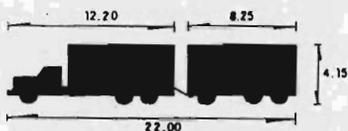
TABLA. 4.1.- COEFICIENTES DE DAÑO (CONTINUACION).



**C3-R2**

Camión de tres ejes con  
remolque de dos ejes

Camino A	Conjunto	Peso, en ton		p, kg/cm <sup>2</sup>	+ d <sub>m</sub> : Coeficiente daño bajo carga máxima				d <sub>v</sub> : Coeficiente de daño vacío			
		+Carga máxima	Vacío		z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60
		1 <sup>o</sup>	5,5		4,0	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126
2 <sup>o**</sup>	18,0	4,5	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,028	0,003	0,002	
3 <sup>o</sup>	10,0	2,0	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,009	0,001	0,000	
4 <sup>o**</sup>	10,0	2,0	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,009	0,001	0,000	
Σ	43,5	12,5		5,000	5,899	7,037	8,580	5,000	0,172	0,041	0,023	



**CR-R3**

Camión de tres ejes con  
remolque de tres ejes

Camino A	Conjunto	Peso, en ton		p, kg/cm <sup>2</sup>	+ d <sub>m</sub> : Coeficiente daño bajo carga máxima				d <sub>v</sub> : Coeficiente de daño vacío			
		+Carga máxima	Vacío		z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60
		1 <sup>o</sup>	5,5		4,0	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126
2 <sup>o**</sup>	18,0	4,5	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,028	0,003	0,002	
3 <sup>o</sup>	10,0	2,0	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,009	0,001	0,000	
4 <sup>o**</sup>	14,0	3,0	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,005	0,000	0,000	
Σ	51,5	13,5		6,000	6,826	7,037	8,581	6,000	0,168	0,040	0,023	

+Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

- \*EJE SENCILLO
- \*\*EJE TANDEM
- \*\*\*EJE TRIPLE

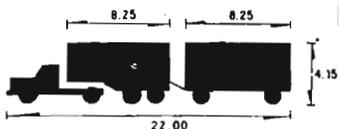
TABLA. 4.1.- COEFICIENTES DE DAÑO (CONTINUACION)



T2-S1-R2

Tractor de dos ejes con semirremolque de un eje y remolque de dos ejes

Camino A	Conjunto	Peso, en ton			$d_m$ = Coeficiente daño bajo carga máxima				$d_v$ = Coeficiente de daño vacío			
		Carga máxima	Vacío	$p, \text{kg/cm}^2$	$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$	$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$
					1	2	3	4	5	6	7	8
	1 <sup>o</sup>	5.5	3.2	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.057	0.012	0.004
	2 <sup>o</sup>	10.0	3.4	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.071	0.016	0.005
	3 <sup>o</sup>	10.0	2.4	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.018	0.003	0.001
	4 <sup>o</sup>	10.0	2.3	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.015	0.002	0.001
	5 <sup>o</sup>	10.0	2.2	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.013	0.002	0.001
	$\Sigma$	45.5	13.5		5.000	6.513	9.327	11.399	5.000	0.174	0.035	0.016



T2-S2-R2

Tractor de dos ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de dos ejes

Camino A	Conjunto	Peso, en ton			$d_m$ = Coeficiente daño bajo carga máxima				$d_v$ = Coeficiente de daño vacío			
		Carga máxima	Vacío	$p, \text{kg/cm}^2$	$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$	$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$
					1	2	3	4	5	6	7	8
	1 <sup>o</sup>	5.5	4.0	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.126	0.036	0.021
	2 <sup>o</sup>	10.0	4.0	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.126	0.036	0.021
	3 <sup>o</sup>	18.0	3.5	5.8	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.009	0.001	0.000
	4 <sup>o</sup>	10.0	2.3	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.015	0.002	0.001
	5 <sup>o</sup>	10.0	2.2	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.013	0.002	0.001
	$\Sigma$	53.5	16.0		6.000	7.440	9.327	11.400	6.000	0.289	0.077	0.044

† Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

- \*EJE SENCILLO
- \*\*EJE TANDEM
- \*\*\*EJE TRIPLE

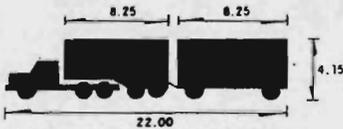
TABLA. 4.1.- COEFICIENTES DE DAÑO (CONTINUACION)



**T3-S1-R2**

Tractor de tres ejes con semirremolque de un eje y remolque de dos ejes

Camino A	Conjunto	Peso, en ton			$d_m$ = Coeficiente daño bajo carga máxima				$d_v$ = Coeficiente de daño vacío			
		+Carga máxima	Vacío	$p, \text{kg/cm}^2$	$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$	$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$
	1 <sup>a</sup>	5.5	4.0	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.126	0.036	0.021
2 <sup>da</sup>	18.0	4.0	5.8	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.017	0.002	0.001	
3 <sup>ra</sup>	10.0	2.5	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.022	0.003	0.002	
4 <sup>a</sup>	10.0	2.3	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.015	0.002	0.001	
5 <sup>a</sup>	10.0	2.2	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.013	0.002	0.001	
I	53.5	15.0		6.000	7.440	9.327	11.400	6.000	0.193	0.045	0.026	



**T3-S2-R2**

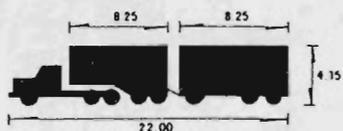
Tractor de dos ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de dos ejes

Camino A	Conjunto	Peso, en ton			$d_m$ = Coeficiente daño bajo carga máxima				$d_v$ = Coeficiente de daño vacío			
		+Carga máxima	Vacío	$p, \text{kg/cm}^2$	$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$	$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$
	1 <sup>a</sup>	5.5	4.0	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.126	0.036	0.021
2 <sup>da</sup>	18.0	4.0	5.8	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.017	0.002	0.001	
3 <sup>ra</sup>	18.0	3.5	5.8	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.009	0.001	0.000	
4 <sup>a</sup>	10.0	2.3	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.015	0.002	0.001	
5 <sup>a</sup>	10.0	2.2	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.013	0.002	0.001	
I	61.5	16.0		7.000	8.367	9.327	11.401	7.000	0.180	0.043	0.024	

+Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

- \*EJE SENCILLO
- \*\*EJE TANDEM
- \*\*\*EJE TRIPLE

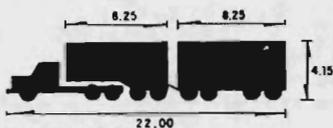
TABLA. 4.1.- COEFICIENTES DE DAÑO (CONTINUACION).



**T3-S2-R3**

Tractor de tres ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de tres ejes

Camino A	Conjunto	Peso, en ton			p, kg/cm <sup>2</sup>	+ d <sub>m</sub> = Coeficiente daño bajo carga máxima				d <sub>v</sub> = Coeficiente de daño vacío			
		+Carga máxima	Vacío			z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60
						1 <sup>o</sup>	2 <sup>o</sup>	3 <sup>o</sup>	4 <sup>o</sup>	5 <sup>o</sup>	6 <sup>o</sup>	7 <sup>o</sup>	8 <sup>o</sup>
	1 <sup>o</sup>	5,5	4,0	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126	0,036	0,021	
	2 <sup>o</sup>	18,0	4,0	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,017	0,002	0,001	
	3 <sup>o</sup>	18,0	3,5	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,009	0,001	0,000	
	4 <sup>o</sup>	10,0	2,3	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,015	0,002	0,001	
	5 <sup>o</sup>	18,0	3,2	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,006	0,001	0,000	
	Σ	69,5	17,0		8,000	9,294	9,327	11,401	8,000	0,173	0,042	0,023	



**T3-S2-R4**

Tractor de tres ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de cuatro ejes

Camino A	Conjunto	Peso, en ton			p, kg/cm <sup>2</sup>	+ d <sub>m</sub> = Coeficiente daño bajo carga máxima				d <sub>v</sub> = Coeficiente de daño vacío			
		+Carga máxima	Vacío			z = 0	z = 15	z = 30	z = 60	z = 0	z = 15	z = 30	z = 60
						1 <sup>o</sup>	2 <sup>o</sup>	3 <sup>o</sup>	4 <sup>o</sup>	5 <sup>o</sup>	6 <sup>o</sup>	7 <sup>o</sup>	8 <sup>o</sup>
	1 <sup>o</sup>	5,5	4,0	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126	0,036	0,021	
	2 <sup>o</sup>	18,0	4,0	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,017	0,002	0,001	
	3 <sup>o</sup>	18,0	3,5	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,009	0,001	0,000	
	4 <sup>o</sup>	18,0	3,3	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,007	0,001	0,000	
	5 <sup>o</sup>	18,0	3,2	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,006	0,001	0,000	
	Σ	77,5	18,0		9,000	10,221	9,327	11,403	9,000	0,165	0,041	0,022	

+Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D F, 1978.

- \*EJE SENCILLO
- \*\*EJE TANDEM
- \*\*\*EJE TRIPLE

TABLA 4.1.- COEFICIENTES DE DAÑO (CONTINUACION).

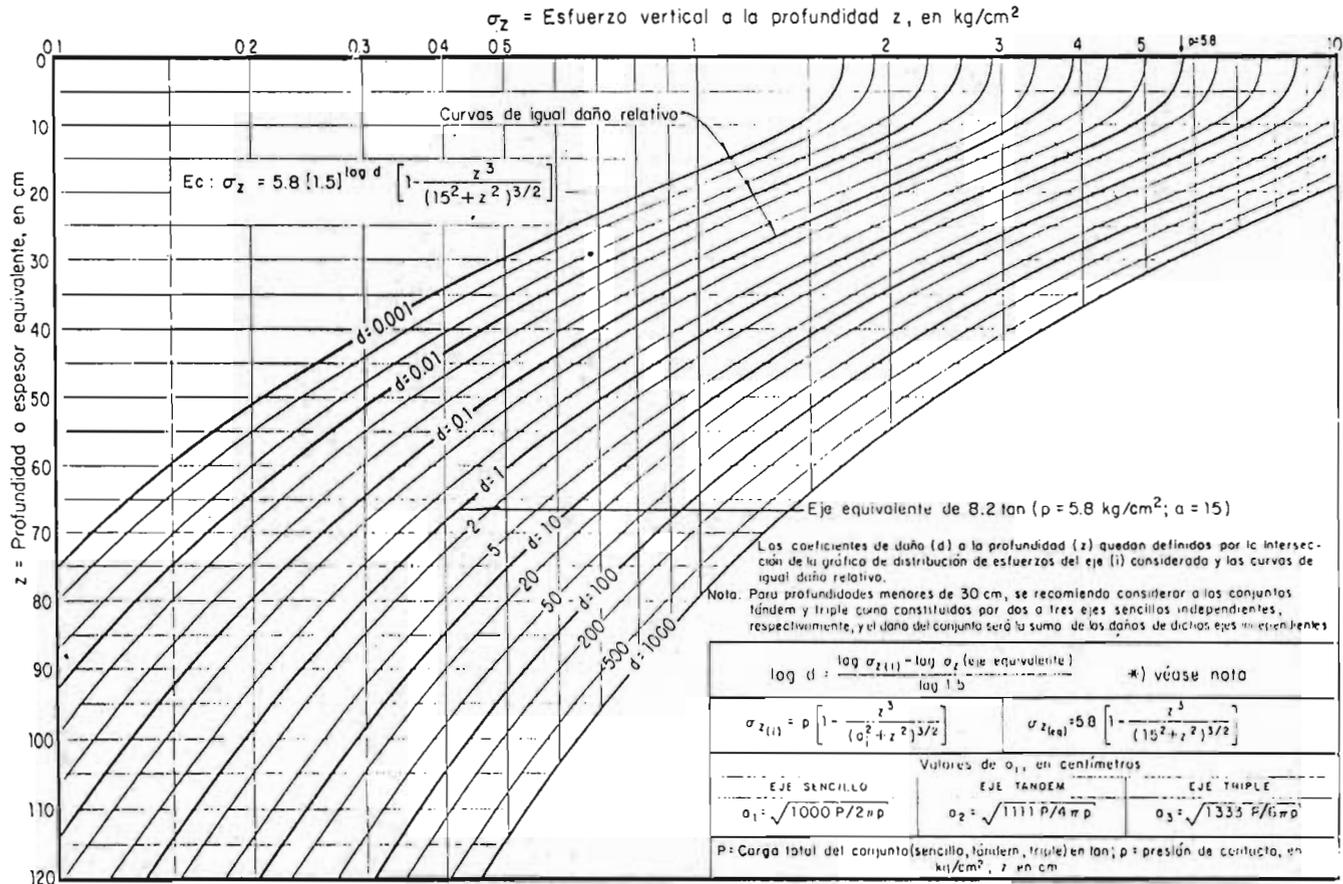


Fig.4.3 Coeficientes de daño por tránsito.

los que circulan; entonces es difícil establecer los porcentajes de cada tipo de vehículo pesado y por lo tanto es más difícil aún fijar un porcentaje de vehículos cargados o vacíos.

Por otra parte, el estado actual de las carreteras requiere de medidas enérgicas y se debe tomar en cuenta que la mayoría de los transportistas circula con sobrecarga con respecto a la carga máxima permitida. Adicionalmente, las obras de modernización y reconstrucción se están realizando en las carreteras de mayor importancia (Caminos tipo "A").

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

Entonces la fórmula queda:

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

que se puede calcular usando la forma mostrada en la figura 4.4.

En esa figura se encuentran los tipos de vehículos que usualmente circulan por las carreteras, no obstante, en caso de considerarse otro tipo de vehículos, se puede acondicionar dicha forma. Determinados las resistencias críticas esperadas y el número de ejes equivalentes a 8.2 Ton. a dife-

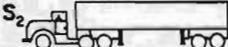
CARRETERA _____		TRAMO: _____								
VDPA ( ) _____		COMPOSICION: A <sub>2</sub> _____ A' <sub>2</sub> _____ B <sub>2</sub> _____ C <sub>2</sub> _____ C <sub>3</sub> _____ T <sub>2</sub> -S <sub>1</sub> _____ T <sub>2</sub> -S <sub>2</sub> _____ T <sub>3</sub> -S <sub>2</sub> _____ T <sub>3</sub> -S <sub>3</sub> _____								
TIPO DE VEHICULO	Nº DE VEHICULOS EN AMBOS LADOS	Nº DE VEHICULOS EN EL CARRIL DE PROJ.	COEFICIENTE DE DAÑO POR TRANSITO				NUMERO DE EJES EQUIVALENTES DE 8.2 TONELADAS			
			Z : 0 cms.	Z : 15 cms.	Z : 30 cms.	Z : 60 cms.	Z : 0 cms.	Z : 15 cms.	Z : 30 cms.	Z : 60 cms.
A <sub>2</sub> 			0.004	0.000	0.000	0.000				
A' <sub>2</sub> 			0.536	0.064	0.023	0.015				
B <sub>2</sub> 			2.000	1.890	2.457	2.939				
C <sub>2</sub> 			2.000	1.890	2.457	2.939				
C <sub>3</sub> 			3.000	2.817	2.457	2.940				
T <sub>2</sub> -S <sub>1</sub> 			3.000	3.431	4.747	5.759				
T <sub>2</sub> -S <sub>2</sub> 			4.000	4.358	4.747	5.760				
T <sub>3</sub> -S <sub>2</sub> 			5.000	5.285	4.747	5.761				
T <sub>3</sub> -S <sub>3</sub> 			6.000	5.239	4.746	5.758				
Nº de carriles en ambas direcciones		Coeficiente de distribución para el carril de proy.	TOTAL							
2	50		T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> , T <sub>3</sub> , T <sub>4</sub> : Tránsito equivalente inicial:							
4	40—50		Años de servicio, n = _____ Tasa de crecimiento anual, t : _____ %							
6 o mas	30—40		Coeficiente de acumulación del tránsito, C = _____							
			Tránsito acumulado: $\sum L n_1 = C T_1$ _____ $\sum L n_2 = C T_2$ _____							
			$\sum L n_3 = C T_3$ _____ $\sum L n_4 = C T_4$ _____							

Fig. 4.4

TABLA PARA CALCULO DEL TRANSITO ACUMULADO EN FUNCION DE EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 8.2 TONELADAS.

rentes profundidades, se puede hacer uso de las gráficas de las figuras 4.5 a 4.8. dependiendo del nivel de confianza elegido, que va de 0.6 a 0.9 y que está en función del tipo e importancia de la carretera, procedimientos y control de construcción, tipo de conservación previsto y riesgo que se desee aceptar.

Para el cálculo de los espesores del pavimento el IIUNAM recomienda usar el  $\Sigma L$  a  $z=0$  para la carpeta y  $\Sigma L$  a  $z=30$  para las demás de la forma de la figura 4.4, pero estrictamente hay que realizar tanteos para determinar que número de ejes equivalentes hay que usar, calculando primero un espesor y viendo si la "z" empleada es la correcta, lo que es factible con la forma mencionada; otra forma de hacerlo es calculando los espesores primero por otro método como el del Instituto de Asfaltos de Norteamérica o la Porter Modificada y luego afinando con el del IIUNAM.

Por último, existen ciertas condiciones, que son:

- A) El coeficiente de equivalencia para la carpeta, si es de concreto asfáltico, es de 2, si es de uno o dos riegos es igual a cero y para las otras capas del pavimento es igual a 1, siempre y cuando estén solo compactadas sin algún agente estabilizador; en ca-

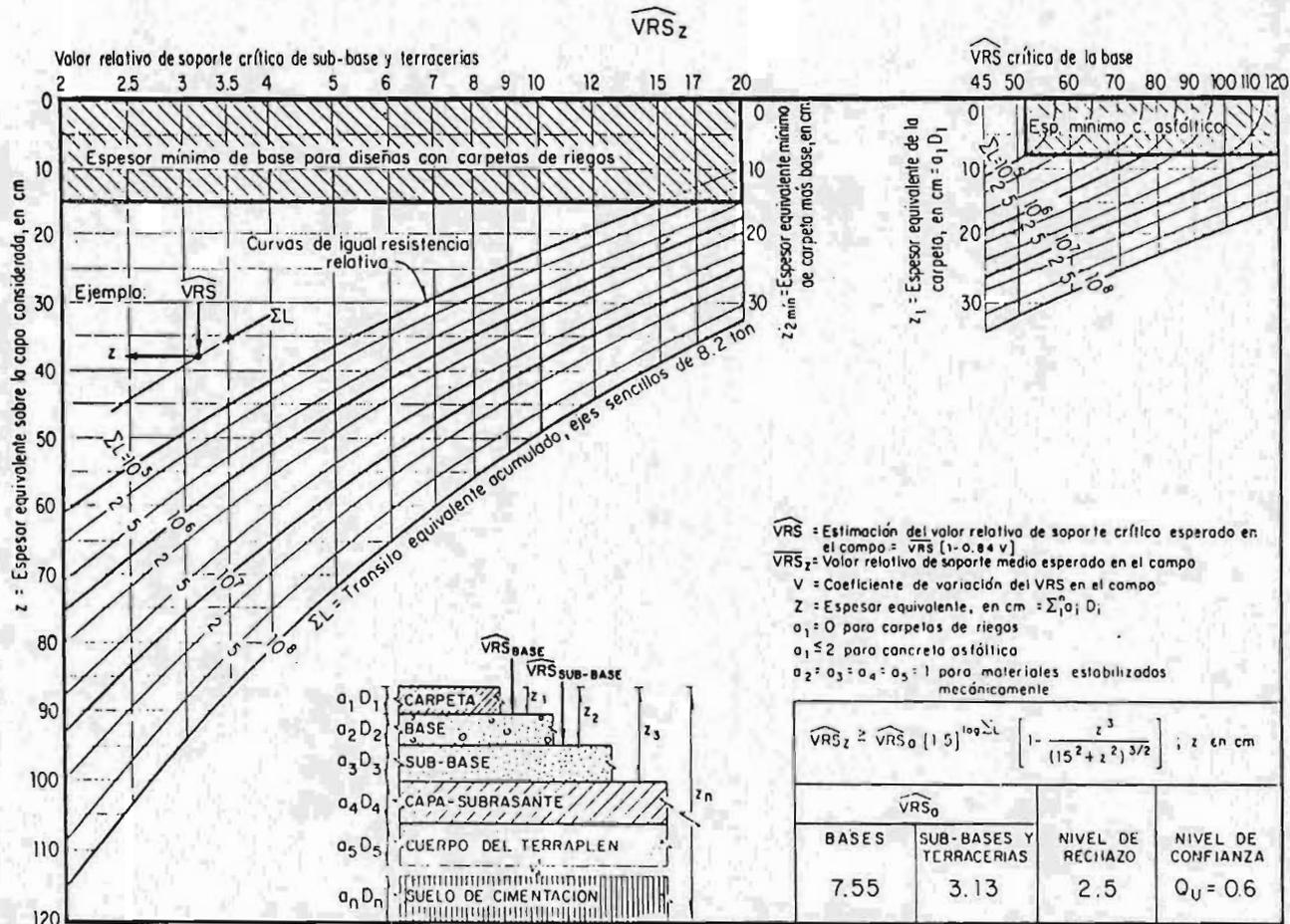


Fig 4.5 Gráfica para el diseño estructural de carreteras con pavimento flexible.

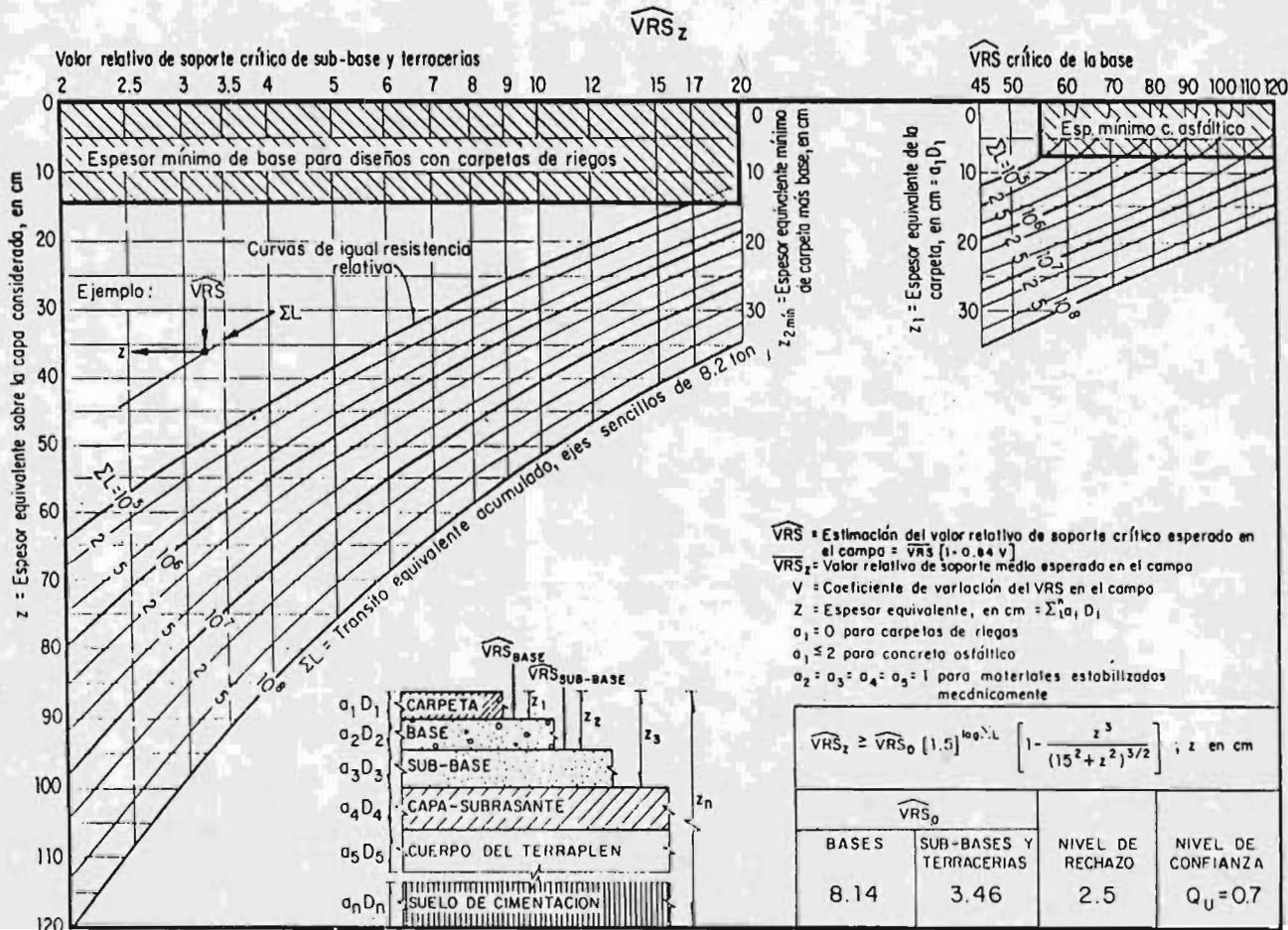


Fig. 4.6. Gráfica para el diseño estructural de carreteras con pavimento flexible.

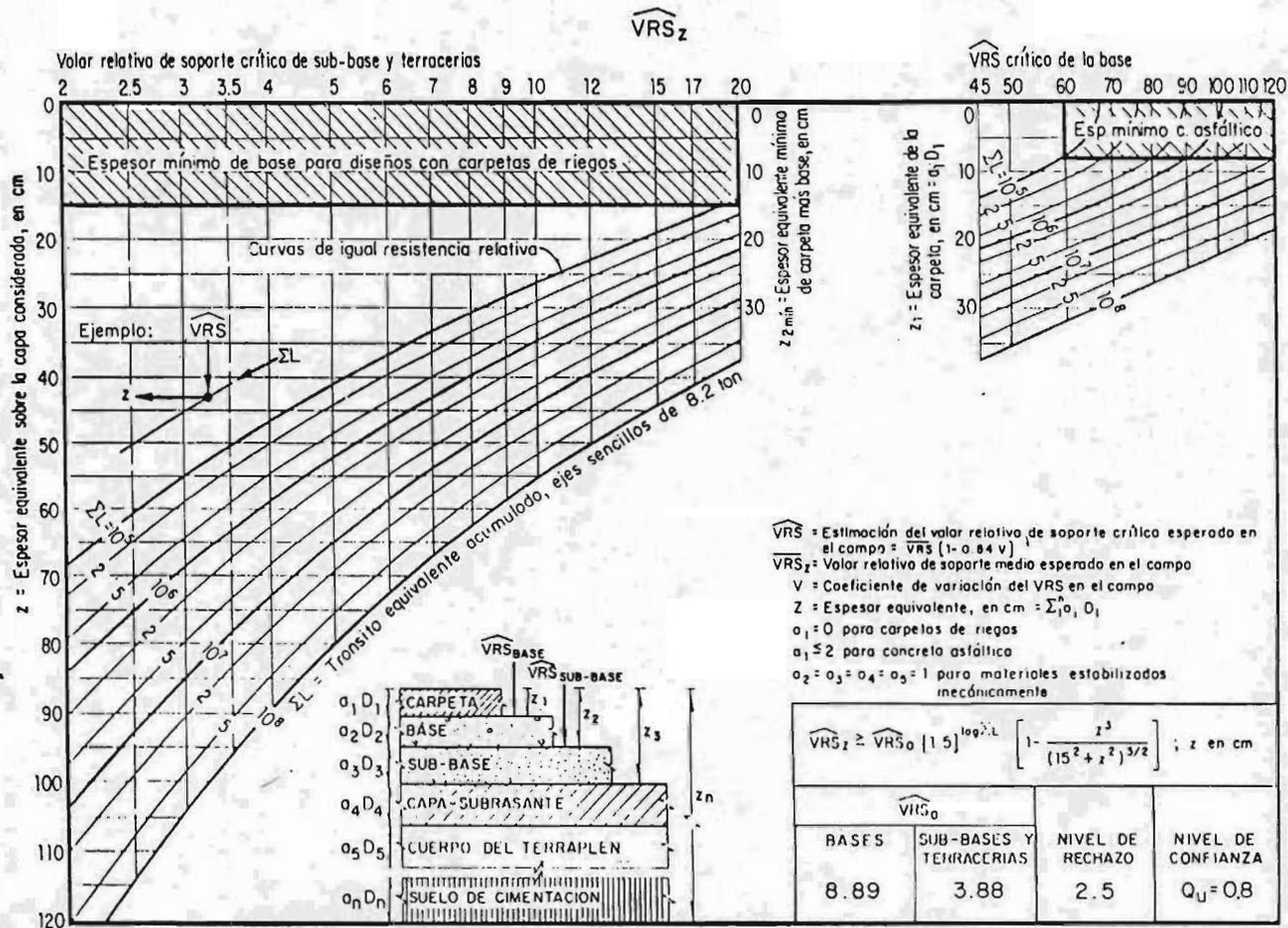


Fig.4.7 Gráfica para el diseño estructural de carreteras con pavimento flexible.



so de que lo tengan hay que establecer un coeficiente de equivalencia.

- B) En cuanto a las resistencias para las diferentes capas, el método establece un límite que es de 120 máximo para bases y 20 máximo para sub-bases. El VRS mínimo de diseño es 2%.

Cabe aclarar que los valores de resistencia especificados para las capas -- del pavimento no son los mismos que para el diseño, y éstos hay que obtenerlos por pruebas en el lugar o en el laboratorio semeando las condiciones -- del campo.

- C) Los espesores mínimos de las capas del pavimento se fijarán de acuerdo a lo -- que sigue:

- a) 8 cm. para carpeta de concreto as--fáltico, o 10 cm. para cualquier -- otra capa.
- b) 15 cm. para capa de base, si la carpeta es de riego de sello.
- c) El espesor correspondiente a un ---  $VRS_z = 20$ , para espesor combinado de base y carpeta.
- d) El que fije el analista de acuerdo con las condiciones particulares de la carretera.

#### 4.1.1.2 METODO DEL INSTITUTO DE ASFALTOS DE NORTE-AMERICA.

El procedimiento es similar, se obtiene el tránsito y su composición como en el méto-

do anterior, después se obtiene el valor de resistencia de diseño, y aquí hay una variante, en este método se usa para diseño el VRS al 90 percentil, que es un valor que se obtiene de la siguiente manera:

Todos los valores obtenidos en las pruebas de resistencia para una capa determinada se ordenan de menor a mayor en una columna, luego en el mismo orden se ve cuántos valores mayores o iguales hay a cada uno de los colocados en los renglones, de arriba hacia abajo, anotándolos en otra columna a la derecha de cada renglón; por último se hace la relación de este número entre el número total de valores y se multiplica por 100, con esto se obtiene el porcentaje de valores que tienen igual o mayor valor que el del renglón analizado, entonces se puede elaborar una gráfica VRS contra porcentaje y se elige el VRS correspondiente al 90% o de otra manera se interpola en los valores tabulados, esto quiere decir que el 90% de los valores son mayores al elegido y el 10% son menores.

Una vez que se hayan determinado el tránsito y su composición así como las resistencias de las capas de la sección estructural, se usa una forma como la de la figura 4.9 siendo necesario el uso de ábacos y tablas.

El procedimiento es el siguiente:

METODO DE DISEÑO DEL INSTITUTO DE ASFALTOS.

- 1.- Tránsito diario inicial =
- 2.- Por ciento de camiones pesados en  
ambas direcciones. =
- 3.- Por ciento de camiones pesados en  
el carril de diseño =
- 4.- Número de camiones pesados en el-  
carril de diseño =
- 5.- I T N = Estimación del-
- 6.- Período de diseño = promedio del pe
- 7.- Tasa de crecimiento = so bruto de los
- 8.- Factor de corrección = vehículos pesa-
- 9.- D T N = dos:
- 10.- C B R =
- 11.- T A =

Estructura propuesta:

FIG. 4.9.- FORMA DE CALCULO DE ESPESORES (LAN).

- a) Se anota el T.P.D.A. en ambas direcciones obtenido como en el método anterior.
- b) Anótese el porcentaje del volumen de tránsito que va a circular en el carril de diseño, de acuerdo con la tabla 4.2.

Número de carriles en ambas direcciones.	Coef. de distribución para el carril de diseño.
2	50
4	45 (35-48)*
6 o más	40 (25-48)*

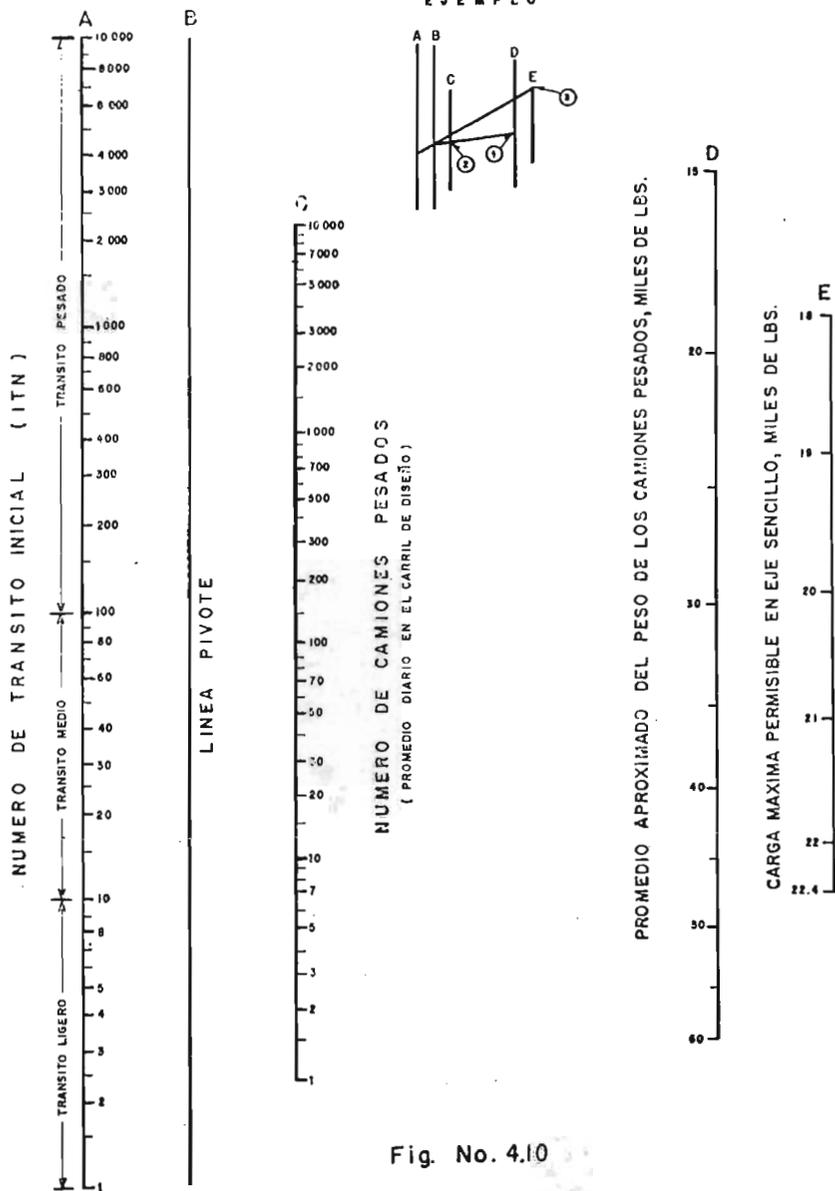
TABLA 4.2

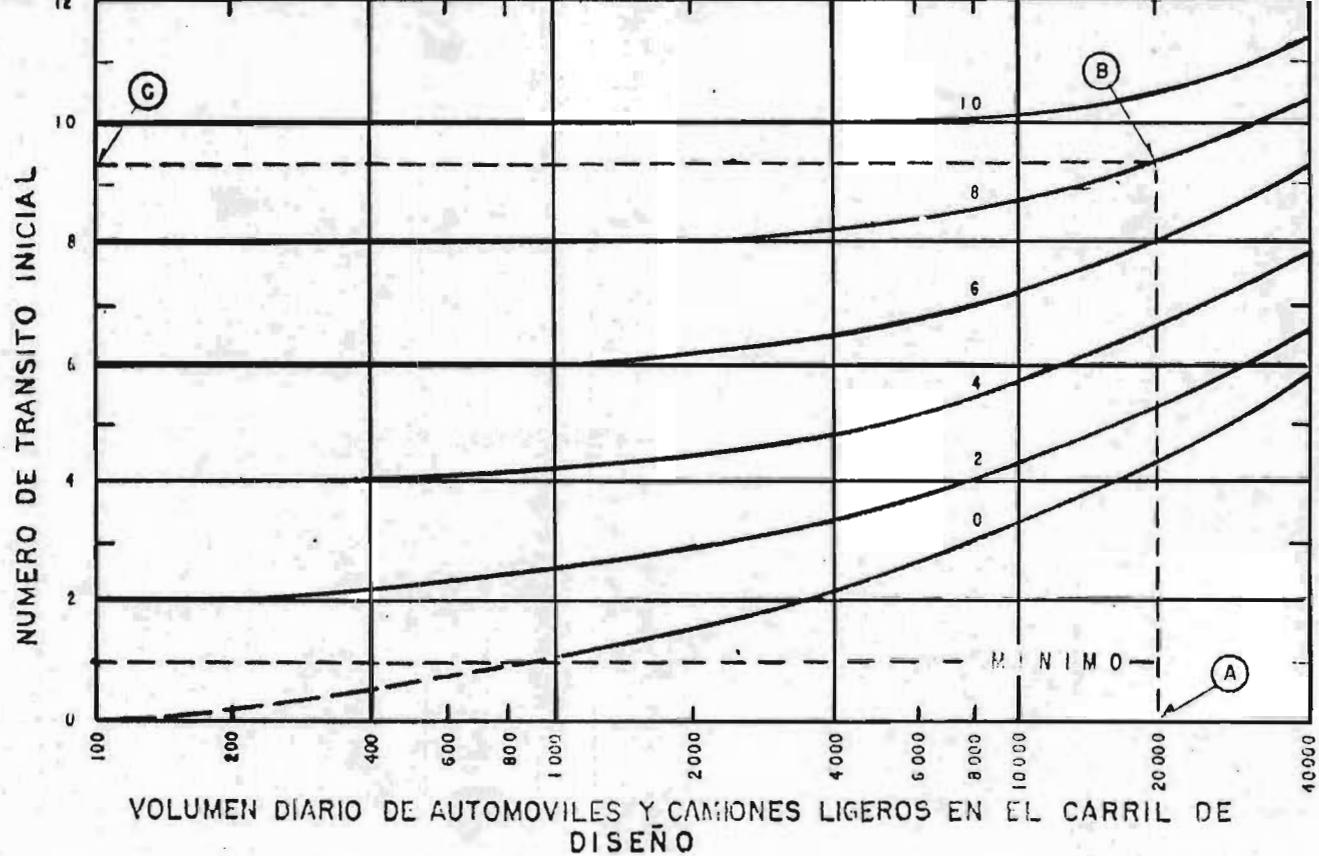
\* Rango Probable

- c) Se anota el porcentaje de vehículos pesados que va a circular en el carril de diseño.
- d) Se determina el número diario promedio de camiones pesados esperados en el carril de diseño (IDT), multiplicando el T.P.D.A. por el porcentaje del carril de diseño y el de vehículos pesados.
- e) Se estima el promedio del peso bruto de los vehículos pesados multiplicando el IDT por los porcentajes de cada tipo de vehículo y su peso, para luego sumarlos y el resultado se divide entre el IDT - obteniéndose el valor esperado.
- f) Después, hay que obtener la carga máxima por eje sencillo que en nuestro país

es de 10 Ton. (22, 050 libras).

- g) Con el promedio del peso bruto de los vehículos pesados, el número de camiones pesados y la carga máxima por eje sencillo, se obtiene el número de tránsito inicial (ITN), usando el nomograma de la figura 4.10 que se considera auto explicativa; cuando el ITN sea menor o igual a 10, se corregirá por automóviles y camiones ligeros de acuerdo con la gráfica de la fig. 4.11
- h) Se establece el período de diseño del pavimento ( $n$ ) y se estima la tasa de incremento anual ( $t$ ), con estos valores se entra a la tabla 4.3 y se obtiene el factor de corrección del ITN.
- i) Se determina el número de tránsito para diseño (DTN), multiplicando el ITN por el factor de corrección obtenido de la tabla 4.3.
- j) Con los valores del D.T.N. y el VRS (o CBR) de diseño obtenido previamente, se entra al nomograma de la figura 4.12 y se obtiene el espesor necesario de concreto asfáltico ( $T_A$ ) sobre la capa considerada. También se puede usar el valor soporte de la prueba de placa o el valor "R" del estabilómetro de Hveem, pero el más usado en México es el valor del VRS. Entonces se puede obtener primero un espesor sobre las terracerías,-





Gráfica para corregir el número de tránsito inicial (ITN) por volumen de automóviles ó vehículos ligeros.

Fig. Núm. 4.11

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

$$\text{Factor} = \frac{(1+r)^n - 1}{20 r}$$

TABLA 4.3.- FACTORES DE CORRECCION PARA EL  
NUMERO DE TRANSITO INICIAL -  
(ITN).

**NOTA:** Este nomograma está basado en un período de diseño de 20 años; para otros períodos de diseño se requiere un ajuste según los lineamientos dados.

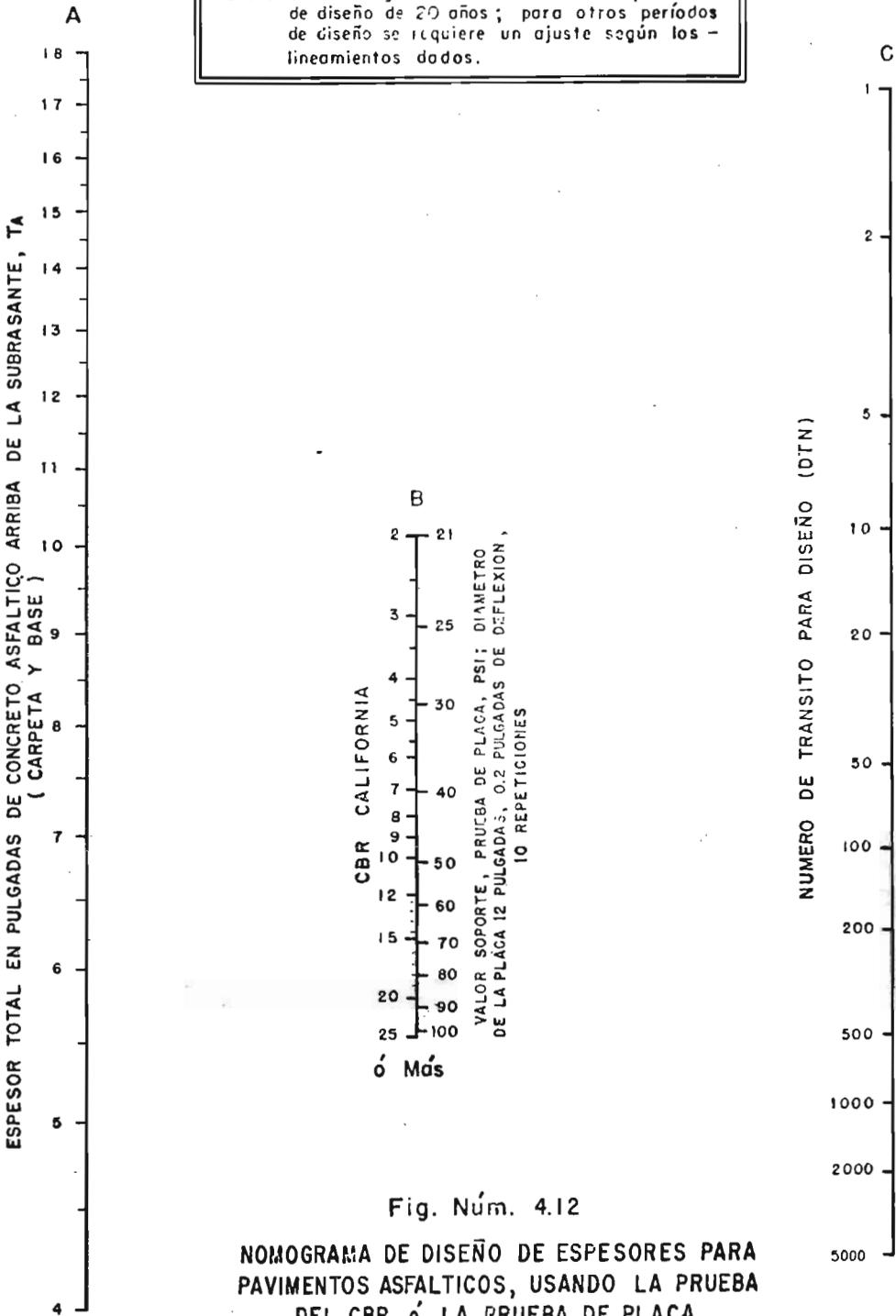


Fig. Núm. 4.12

NOMOGRAMA DE DISEÑO DE ESPESORES PARA PAVIMENTOS ASFALTICOS, USANDO LA PRUEBA DEL CBR ó LA PRUEBA DE PLACA

luego otro sobre la sub-rasante, después otro sobre la sub-base y así sucesivamente en función del VRS de cada capa.

Los factores de conversión de concreto asfáltico a las diferentes capas del pavimento son los que se dan en la tabla 4.4 siguiente:

Capas convencionales	Para obtener el espesor equivalente de x cm. de concreto asfáltico multiplíquese por:
Bases asfálticas de arena, mezclas en planta.	1.3
Bases asfálticas elaboradas con asfaltos líquidos o emulsificados.	1.4
Bases granulares de alta calidad (VRS > 100%).	2.0
Bases granulares de baja calidad (VRS < 20%).	2.7

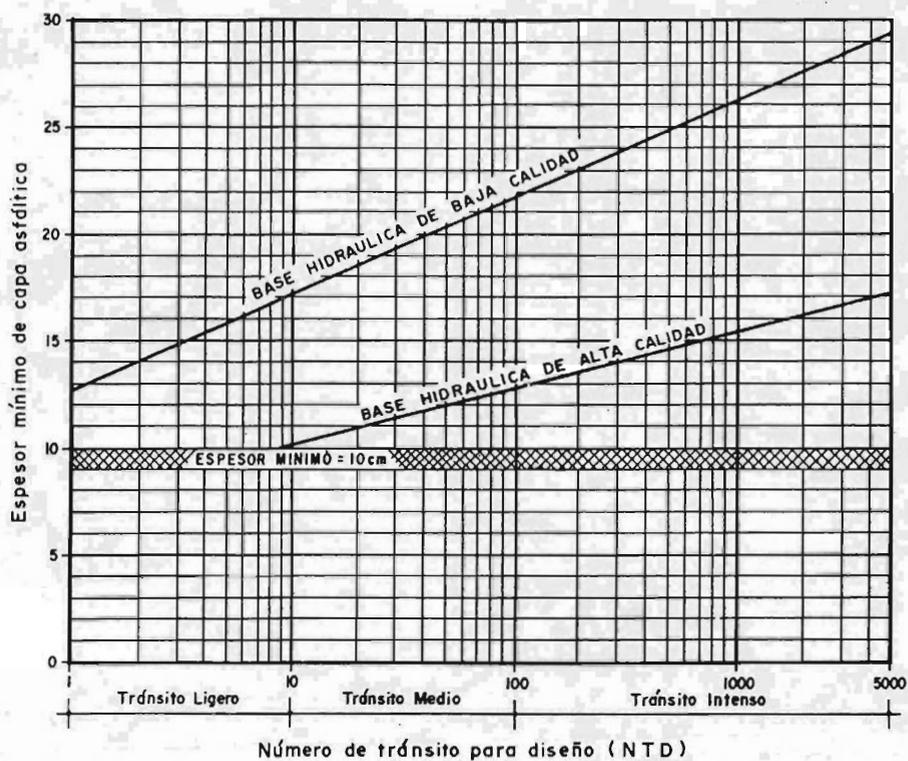
TABLA 4.4.

Los V.R.S a que hace referencia la tabla, son los obtenidos con el procedimiento del Cuerpo de Ingenieros Militares de E.U.A., además no se incluyen otros tipos de capa usuales por no haber sido objeto de investigación. A este respecto, en muchos cálculos realizados con los métodos del I.A.N. y el I.I. UNAM, se observó que con un factor de equivalencia de 3.5 para la capa sub-rasante, los espesores obtenidos eran similares. Lo anterior no es de ninguna manera algo fundamentado, pero se considera como una aproximación.

ESPESORES MINIMOS PARA CARPETAS DE CONCRETO ASFALTICO SOBRE BASES ASFALTICAS.	
Número de tránsito de diseño (D.T.N.)	Espesor Mínimo (cm.)
Menor de 10 (tránsito ligero)	5
Entre 10 y 100 (tránsito medio)	7
Mayor de 100 (tránsito intenso)	10

TABLA 4.5.

El Instituto de Asfaltos fija como espesores mínimos de carpeta de concreto asfáltico los de la tabla 4.5 en el caso de que se construya sobre base asfáltica y los de la figura 4.13 si se construye encima de una base hidráulica. Los espesores que da-



#### REQUISITOS MINIMOS PARA MATERIALES DE BASES HIDRAULICAS

TIPO DE PRUEBA	NORMAS	
	BAJA CALIDAD	ALTA CALIDAD
VRS Mínimo	20	100
Valor de R Mínimo	55	80
Límite Líquido Máximo	25	25
Índice Plástico Máximo	6	NP
Equivalente de Arena Mínimo	25	50
Máximo Porcentaje de Material que pasa Malla N° 200	12	7

FIG. 4.13.- ESPESORES MINIMOS SOBRE BASES HIDRAULICAS. (I.A.N.)

ésta última pueden ser excesivos para las condiciones de nuestro país, por lo que se recomiendan los fijados por el I.I.U.N. A.M., o la Tecnología Porter Modificada.

#### 4.1.1.3 TECNOLOGIA PORTER MODIFICADA

Para calcular espesores en base a este método, se sigue más o menos el procedimiento relatado en los métodos anteriores, determinando las características del tránsito actual y a futuro de la misma manera que en el método del Instituto de Ingeniería y buscando los índices de resistencia en base a pruebas de V. R.S. hechas en especímenes compactados por medio de la prueba Porter Modificada.

Para hacer más sencilla la explicación se hará uso de la forma de la fig. 4.14 y se irá desglosando el procedimiento empleado.

- a) Se obtiene el T.P.D.A. en ambos sentidos por medio de aforos o de los datos viales de la Dirección de Ingeniería de Tránsito.
- b) Con el dato anterior se calcula el tránsito diario en el carril de diseño, multiplicando el T.P.D.A. por 0.6 (60%) si la carretera es de dos carriles y por 0.5 (50%) si la carretera es de 4 carriles.
- c) Se fijan el período de diseño en años (n) y la tasa de crecimiento anual (r).

DATOS DE PROYECTO :

- 1.-TRANSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL EN AMBOS SENTIDOS \_\_\_\_\_
- 2.-TRANSITO DIARIO EN EL CARRIL DE DISEÑO ( % ) \_\_\_\_\_
- 3.-PERIODO DE DISEÑO (n, EN AÑOS) \_\_\_\_\_
- 4.-TASA DE CRECIMIENTO ANUAL (r) \_\_\_\_\_
- 5.-FACTOR DE CONVERSION (c) \_\_\_\_\_

CALCULO DEL TRANSITO EQUIVALENTE

TIPO DE VEHICULO (1)	DIST. DEL TRANS.(%)(2)	DIST.DEL TRANS.(VEHICULOS) (3)	COEF.DE E-QUIV. (4)	EJES SENCILLOS EQUIV.DE 8.2Ton(5)
A2			0.0004	
A'2 (5.5 Ton)			0.048	
B2 (15.5 Ton)			2.414	
C2 (15.5 Ton)			2.414	
C3 (23.5 Ton)			2.276	
T2-S1 (25.5 Ton)			4.626	
T2-S2 (33.0 Ton)			4.488	
T3-S2 (41.5 Ton)			4.350	
T3-S3 (46.0 Ton)			4.375	

S U M A :

TRANSITO ACUMULADÓ AL FINAL DE LA VIDA UTIL  
(SUMA X FACTOR DE CONVERSION)

CALCULO DE ESPESORES

1. VRS DE DISEÑO DE LAS TERRACERIAS		
2. INDICE DE ESPESOR (cm)		
3. VRS DE DISEÑO DE LA CAPA SUBRASANTE		
4. INDICE DE ESPESOR (cm)		
5. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO EN ESPESORES - EQUIVALENTES :	CARPETA DE BASE (B) SUB-BASE (SB) SUB-RASANTE (SR)	
6. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO EN ESPESORES - REALES :	CARPETA DE BASE (B) SUB-BASE (SB) SUB-RASANTE (SR)	
S U M A :		

OBSERVACIONES :

CALCULO DE ESPESORES. PORTER MODIFICADA

FIG. 4.14

- d) Usando los datos del inciso anterior, - calcúlese el factor de conversión (c) - empleando la gráfica de la fig. 4.2 o mediante la expresión:

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

- e) Para el cálculo del tránsito equivalente en ejes de 8.2 Ton. sobre el carril de diseño, se van llenando las columnas como sigue:

En la columna (1) se colocan los tipos de vehículos más usuales en nuestra -- red carretera.

Dentro de la comuna (2) se anotan los porcentajes de cada tipo de vehículos - o composición del tránsito.

Los valores de la columna (3) se calculan multiplicando el tránsito diario - en el carril de diseño predeterminado, por el porcentaje de cada tipo de vehículo de la columna (2).

Para obtener los valores de la columna (5), se multiplican los resultados de la columna (3) por los coeficientes de equivalencia de la columna (4). Estos - coeficientes de equivalencia son los - determinados en la prueba AASHO mediante las fórmulas:

$$K \text{ sencillo} = \left( \frac{Ls}{8.2} \right)^4$$

$$K \text{ tándem} = \left( \frac{LT}{15} \right)^4$$

Donde:

Ls = Carga por eje sencillo, en Ton.

LT = Carga por eje tándem, en Ton.

Finalmente, se suman los valores de la columna (5) y el resultado es el tránsito equivalente en el año inicial.

Multiplicando este tránsito por el factor de conversión (c), se obtiene el tránsito equivalente al final del período de diseño, o sea, el número de ejes equivalentes acumulados.

- f) Para el cálculo de espesores se emplea la gráfica de la fig. 4.15, entrando con el número de ejes equivalentes calculado (escala horizontal) hasta cruzar la curva del VRS de proyecto, que se obtiene de igual manera que como se explicó en el método del Instituto de Asfaltos, solo que aquí se toma el 80 percentil de los valores, trazando luego una línea horizontal y leyendo un espesor requerido (escala vertical).

Calculando un espesor sobre las terracerías y después sobre la sub-rasante, se hace la diferencia entre ellas y el resultado es el espesor requerido de la capa sub-rasante, este espesor se puede reducir por requerimientos de espesores en las capas superiores, pero-

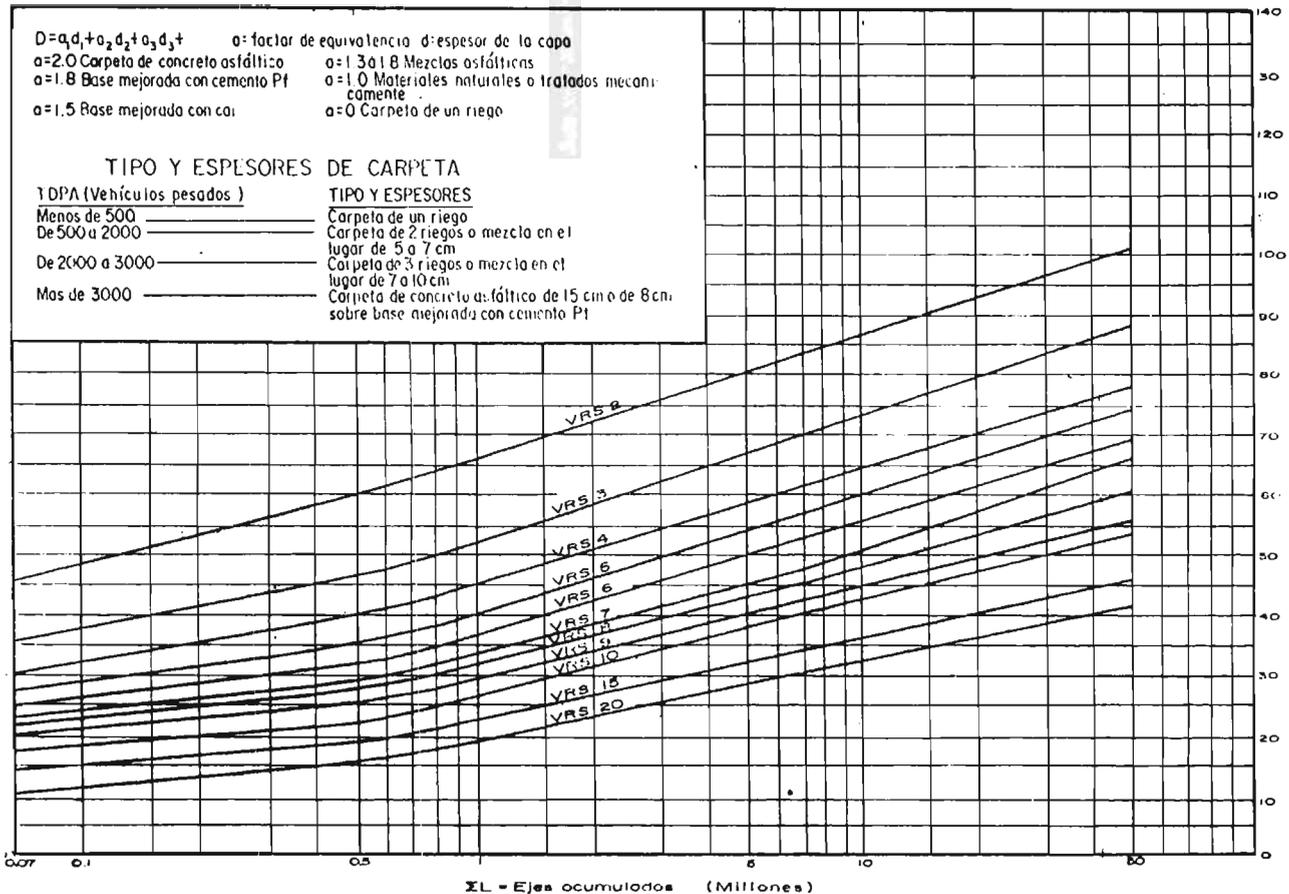


FIG. 4.15.- GRAFICA PARA EL CALCULO DE ESPESORES: PORTER MODIFICADA.

no será inferior a 30 cm.

Se recomienda tomar un VRS máximo para la capa sub-rasante de 20%.

El método recomienda que siempre haya material de base bajo la carpeta asfáltica y cuando se requiera sub-base, su espesor será de la mitad a dos tercios del espesor calculado de base mas sub-base.

Los espesores que se obtienen en la fig. 4.15, son de materiales hidráulicos o naturales. Cuando se tengan materiales tratados con productos como asfalto, cal o cemento será necesario multiplicar el espesor propuesto de la capa por los factores de la tabla 4.6, para obtener su equivalente en material hidráulico y ver si se cumple con el espesor requerido de material hidráulico.

FACTORES DE EQUIVALENCIA

MATERIAL	FACTOR
Concreto asfáltico	2.0
Base tratada con cemento Portland	1.8
Base tratada con cal	1.5
Mezcla asfáltica o carpeta de 2 o 3 riegos	1.3-1.5
Materiales hidráulicos (Naturales) o tratados mecánicamente	1.0
Carpeta de un riego	0.0

TABLA 4.6

De acuerdo con el tránsito, el método - recomienda los espesores y tipo de carpeta asfáltica de la Tabla 4.7

VEHICULOS PESADOS EN AMBOS SENTIDOS	TIPO DE ESPESORES DE CARPETA ASFALTICA
Menos de 500 diarios	Carpeta de un rie--go.
De 500 a 2,000 diarios	Carpeta de rie--go o --mezclas en el lugar - de 4 a 6 cm.
De 2,000 a 3,000 dia--rios	Carpeta de tres rie--gos o mezclas en el - lugar de 6 a 10 cm.
Más de 3,000 diarios	Carpeta de concreto - asfáltico de 15 cm. - sobre base hidráulica, o de 8 cm. mínimo sobre base tratada con cemento Portland

TABLA 4.7

En el caso de carpetas de concreto as--fáltico se hace la recomendación de que tengan como apoyo bases rigidizadas o - espesor mínimo de 15 cm., para evitar - agrietamientos en la superficie de la - carpeta al tener mejor sucesión de módu- los de elasticidad entre la base y la - capa asfáltica.

#### 4.1.2 DISEÑOS DE REFUERZOS O MODIFICACIONES.

Esta parte, específicamente está enfocada a los mé todos de diseño de refuerzos de pavimentos flexi--bles, incluyendo los que cuentan entre sus capas - alguna(s) estabilizada(s) con cualquiera de los ma teriales ya mencionados, que existen basados en la deformación instantánea, llamada deflexión, que su

fren los pavimentos cuando la rueda cargada de los vehículos se mueve lentamente sobre un punto determinado, o cuando se generan fuerzas dinámicas que dan origen a deformaciones del pavimento que son medidas por sensores llamados geófonos (Dynaflect).

Para el objetivo de este trabajo, solo se detallarán los más usados en México, o sea la Viga Benkelman y el Dynaflect. También se hace referencia a los métodos de diseño de refuerzos o modificaciones que se le pueden efectuar a la estructura existente de una carretera, en función de la resistencia de las capas que la integran, misma que se obtiene en pruebas destructivas. Estos métodos se deben emplear cuando de la evaluación superficial -- del pavimento se llegue a la conclusión de que son necesarios, es decir, cuando su I.S.A. o C.A. es menor de 2.5.

#### 4.1.2.1 METODOS BASADOS EN PRUEBAS DESTRUCTIVAS.

Para efectuar un cálculo de refuerzo requerido o modificación, los métodos empleados son exactamente los mismos, que para el caso del diseño de una estructura nueva, solo que aquí se toman en cuenta los índices de resistencia de la sección estructural actual para diseñar sobrecarpetas, en el caso de que la estructura sólo necesite refuerzo, o cambio de estructura, en el supuesto de que la estructura actual no se pueda utilizar o solo se puedan reutilizar algunas de sus capas. El procedimiento es sencillo y consiste en restar al espesor requerido el espesor de la estructura que

se pueda reutilizar.

Para este efecto, el Instituto de Asfaltos propone a continuación emplear los factores de conversión de la Tabla 4.8, que son válidos solo en el caso de valuar un pavimento existente y diseñar un refuerzo y de ninguna manera se pueden usar en el diseño de pavimentos nuevos. Al espesor de pavimento existente se le denomina "Te".

#### 4.1.2.2 METODO DEL INSTITUTO DE ASFALTOS DE NORTE-AMERICA.

Este método parte del establecimiento de un límite de las deflexiones a una estructura de pavimento flexible, que serán función del volumen e intensidad de las aplicaciones de cargas que sufrirá dicho pavimento.

Para desarrollar el método es necesario obtener el número de tránsito para diseño -- (DTN), como se vió anteriormente. Luego se obtienen las deflexiones del pavimento --- causadas por una carga de 4,100 Kg. bajo un sistema dual de llantas (8,200 Kg. por eje del vehículo) de 10 x 20 pulg. y con presión de inflado de 80 lb/pulg<sup>2</sup>. El método que se incluye es el de la Viga Benkelman (fig 4.16), pero pueden usarse métodos semejantes; específicamente el procedimiento para medir es la recuperación de la deflexión, es decir, cuando el pavimento --- vuelve a su posición normal al quitarse --

CLASIFICACION DEL MATERIAL.	DESCRIPCION DEL MATERIAL	FACTORES DE ( & ) CONVERSION.
I	Capa Subrasante de Suelo Natural.	0.0
II	<p>a) Capa subrasante mejorada, material granular predominante; puede contener algo de limo y arcilla, pero tendrá un I P (Indice de Plasticidad) de 10 ó menos (capa subrasante mejorada = cualquier capa o capas de material mejorado, entre la capa subrasante de suelo natural y el pavimento).</p> <p>b) Capa subrasante modificada con cal, construida con suelos de alta plasticidad, IP mayor de 10 (capa subrasante modificada con cal: mezcla íntima de suelo, agua y cal, preparada y compactada mecánicamente, sin endurecer ó semi-endurecida, colocada debajo del pavimento).</p>	0.0-0.2
III	<p>a) Sub-base ó base granular, agregados duros, razonablemente bien graduados con algunos finos plasticos y un CBR no menor de 20. Usese el valor superior del rango, si el IP es menor de 6 y el valor inferior si es mayor de 6.</p> <p>b) Sub-bases ó bases modificadas con cemento Portland, construidas con suelos de baja plasticidad, IP de 10 ó menor (Sub-base modificada con cemento = una mezcla íntima de suelo pulverizado, cemento Portland y agua, sin endurecer ó semiendurecida, colocada entre la capa subrasante y la base. Base modificada con cemento = una mezcla íntima de suelo pulverizado, cemento Portland y agua, sin endurecer ó semiendurecida, construida para proteger la capa sub</p>	0.2-0.3

TABLA 4.8.- FACTORES PARA CONVERTIR A ESPESOR EFECTIVO (Te) LOS ESPESORES DE LOS COMPONENTES DEL PAVIMENTO EXISTENTE.

III	rasante ó la sub-base). (#).	
IV	<p>a) Base granular, Material -- granular no plástico, que tiene características de una base de alta calidad. Use el valor más alto del rango fijado.</p> <p>b) Capas superficiales de mezclas asfálticas, que presenta un patrón de grietas bien definido, mostrando desintegración a lo largo de las grietas, con apreciables deformaciones en las huellas de las ruedas y claras indicaciones de inestabilidad.</p> <p>c) Pavimento de concreto hidráulico, que ha sido roto en pequeñas piezas de 2 pies ó menos de tamaño máximo, previamente a la construcción de la sobrecarpeta. Use el valor superior del rango, cuando exista sub-base y el valor inferior, cuando la losa se apoye directamente sobre la capa subrasante.</p> <p>d) Bases de suelo-cemento que se han agrietado extensamente, lo que se ha reflejado por agrietamiento de la superficie, pudiendo presentar bombeo, el pavimento muestra pocos indicios de inestabilidad (Base de suelo cemento = material endurecido formado por el curado de una mezcla íntima de suelo pulverizado, cemento Portland y agua, mecánicamente compactada y colocada como una parte del pavimento, para proteger y reforzar la capa subrasante ó la sub-base) (#).</p>	0.3-0.5
V	<p>a) Carpetas asfálticas sobre bases asfálticas (&amp; &amp;), que muestran agrietamiento apreciable y patrones de grietas, pero poca ó ninguna desintegración a lo largo de las grietas y aunque muestren cierta deformación en las rodadas, permanecen esencialmente estables.</p>	

TABLA 4.8.- (CONTINUACION)

V	<p>b) Pavimento de concreto hidráulico bastante agrietado y con fallas que no puede ser inyectado de manera efectiva. Fragmentos de losa de 1 a 3.5 m<sup>2</sup>, que pueden asentarse bien sobre la capa subrasante con equipo neumático pesado.</p> <p>c) Bases de suelo-cemento que presentan poco agrietamiento, como lo muestran los patrones de grietas que aparecen superficialmente y que están colocadas sobre superficies estables. (Véase definición de bases de suelo-cemento, en el párrafo IV d).</p>	0.5-0.7
VI	<p>a) Carpetas de concreto asfáltico que muestran algunas grietas delgadas y pequeños e intermitentes patrones de agrietamiento, así como ligeras deformaciones en las rodadas, pero se conservan estas.</p> <p>b) Mezclas con asfalto líquido, que permanecen estables y sin grietas, que no presenta exceso de asfalto y solamente manifiesta ligera deformación en las rodadas.</p> <p>c) Bases tratadas con asfalto, incluyendo las diferentes al concreto asfáltico (&amp; &amp;).</p> <p>d) Pavimento de concreto hidráulico estable, que ha sido inyectado y que presenta cierto agrietamiento, pero no tiene fragmentos menores de 0.8 m<sup>2</sup>.</p>	0.7-0.9
VII	<p>a) Concreto asfáltico, con base de concreto asfáltico, generalmente sin grietas y casi sin deformación en las rodadas</p> <p>b) Pavimento de concreto hidráulico estable, inyectado bajo las losas y en general sin grietas.</p> <p>c) Base de concreto hidráulico bajo carpeta asfáltica, que se conserva estable y presenta muy poco agrietamiento reflejado, sin señales de bombeo.</p>	0.9-1.0

TABLA 4.8.- (CONTINUACION)

Notas de la tabla:

( & ) Valores y rangos de los Factores de Conversión, que deben multiplicarse por los espesores de la capa de la estructura existente, para obtener el espesor equivalente de concreto asfáltico.

( # ) Según la "Definición de Términos Relativos a Estabilización de Suelos con Cemento Portland", del Highway Research Abstracts, Vol. 29 No. 6, junio 1959, Highway Research Board, Washington.

(& &) Base de concreto asfáltico, base de macadam asfáltico, base de mezcla en planta, base asfáltica de mezcla en el lugar.

(Estos factores UNICAMENTE deben usarse para valuar un pavimento existente y diseñar la sobrecarpeta. De ninguna manera se aplican para diseño de pavimentos nuevos).

FIG. 4.8.- (CONTINUACION).

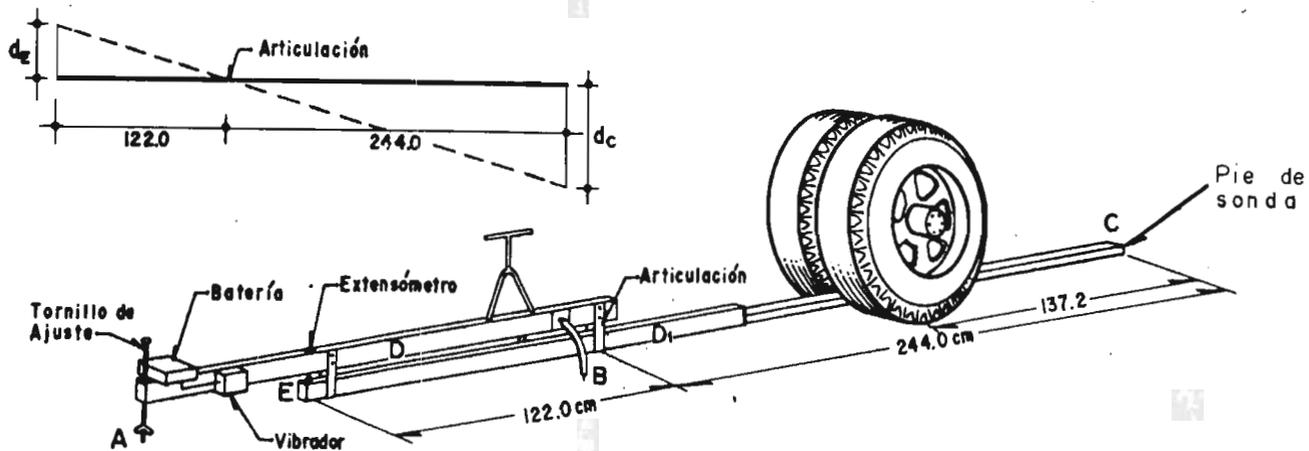


FIG. 4.16.- ESQUEMA DE LA VIGA BENKELMAN.

las ruedas de un punto determinado.

El método especifica que los puntos analizados no deben ser menores de 15 por Km. o 10 por cada sección de prueba y se deben seleccionar tramos con condiciones homogéneas.

El procedimiento completo debería ser el siguiente:

- a) Hacer un recorrido y seleccionar tramos que tengan condiciones homogéneas.
- b) Marcar los puntos que se van a analizar. El método indica que deben localizarse a 60 y 90 cm. de la orilla del pavimento cuando el ancho del carril es menor a 3.30 m. o de 3.30 m. y mayor, respectivamente, sin embargo, lo recomendable es localizarlos en las huellas exteriores de las rodadas de los vehículos.
- c) Centrar el sistema dual sobre la huella mencionada e insertar el brazo móvil de la viga Benkelman entre las llantas del camión (ver fig. 4.16), colocando la punta del brazo móvil (pie de sonda) bajo las ruedas.
- d) Retírese el seguro que sujeta la viga y ajustar los apoyos de manera que permitan una carrera de 1.27 cm. (0.5") del vástago del extensómetro.
- e) Se conecta el zumbador de la viga y se-

registra la lectura inicial del extensómetro para inmediatamente, mover el camión lentamente hacia adelante, hasta una distancia de 9.0 m. (30 pies) o más.

- f) Cuando deje de moverse la aguja de la carátula, registrar la lectura final -- del extensómetro y desconectar el zumbador.
- g) Medir la temperatura superficial del pavimento, a una distancia no menor de -- 25 cm. (10") de la orilla del mismo, -- abriendo un agujero de aproximadamente 3 mm. (1/8") de diámetro y 3 mm. (1/8") de profundidad, vaciándole asfalto líquido viscoso que esté a la temperatura ambiente y que después de dejarlo reposar una hora, permita medir con un termómetro la temperatura correspondiente a la capa. Además, es necesario determinar cuál es la temperatura ambiente en el momento de hacer lo anterior.
- h) Medir los espesores de la capa asfáltica, así como de cada una de las demás -- capas del pavimento y determinar las características de los materiales que las -- forman.

La deflexión será el resultado de restar -- la lectura final del extensómetro a la lectura inicial. La recuperación total del pavimento será el doble de la diferencia anterior, ya que se toma en cuenta la longi-

tud del brazo de palanca con respecto al punto de giro (una relación de dos a uno es lo común en viga Benkelman, pero puede haber modelos con relación diferente).

El reporte debe incluir:

- . Lugar de prueba
- . Recuperación total del pavimento
- . Temperatura ambiente
- . Espesor de la capa asfáltica del pavimento
- . Espesor total del pavimento y cómo está estructurado.
- . Temperatura superficial del pavimento.

Para determinar la recuperación representativa de cada tramo, llamada deflexión característica, se usa la siguiente fórmula:

$$f_c = (\bar{x} + 2s) f_c$$

donde:

$\bar{x}$  = Media aritmética de los valores individuales de deflexión en cada tramo:-

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

s = Desviación estándar de los mismos valores en el mismo tramo, que se calcula con la fórmula:

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

en la cual:

n = Número de valores individuales de ---

pruebas por tramo.

$\bar{x}$  = Valores individuales de la deflexión en el mismo tramo.

f = Factor de corrección por temperatura

c = Factor de ajuste que varía según el período del año durante el que se -- realicen las mediciones ( c = 1 para pruebas efectuadas durante el período crítico).

También se puede obtener de un conjunto continuo de lecturas que cubran diferentes épocas del año estableciendo una relación entre dichas lecturas y -- calculando la correspondiente al período crítico.

El factor de corrección f, se puede obtener de la gráfica de la figura 4.17 y además de las restricciones anotadas en la -- misma, conviene emplear la curva "A" cuando se estime que la humedad de los materiales sea igual o menor a la óptima y la curva "B", en caso contrario.

Para poder entrar a la gráfica de la fig. 4.17, es necesario determinar antes la -- temperatura media de la capa asfáltica como sigue:

a) Se determinan las temperaturas ambiente máxima y mínima de los 5 días anteriores a la fecha en que se realice la prueba de deflexión, ya sea tomando di

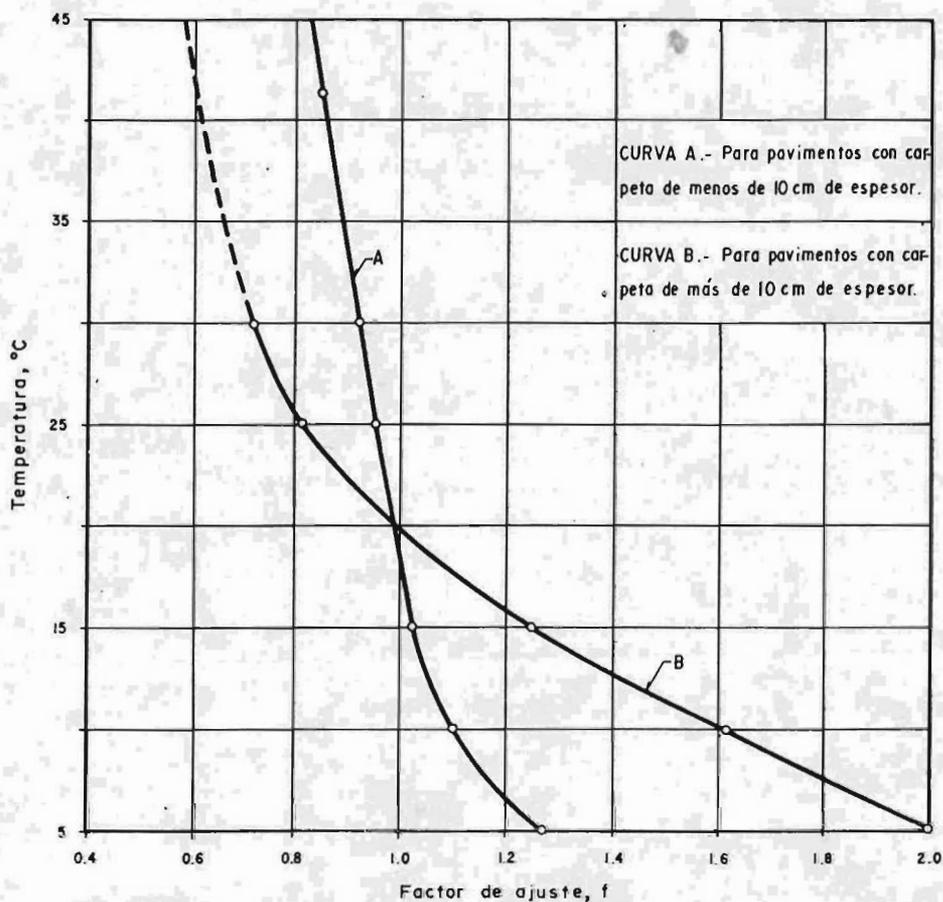


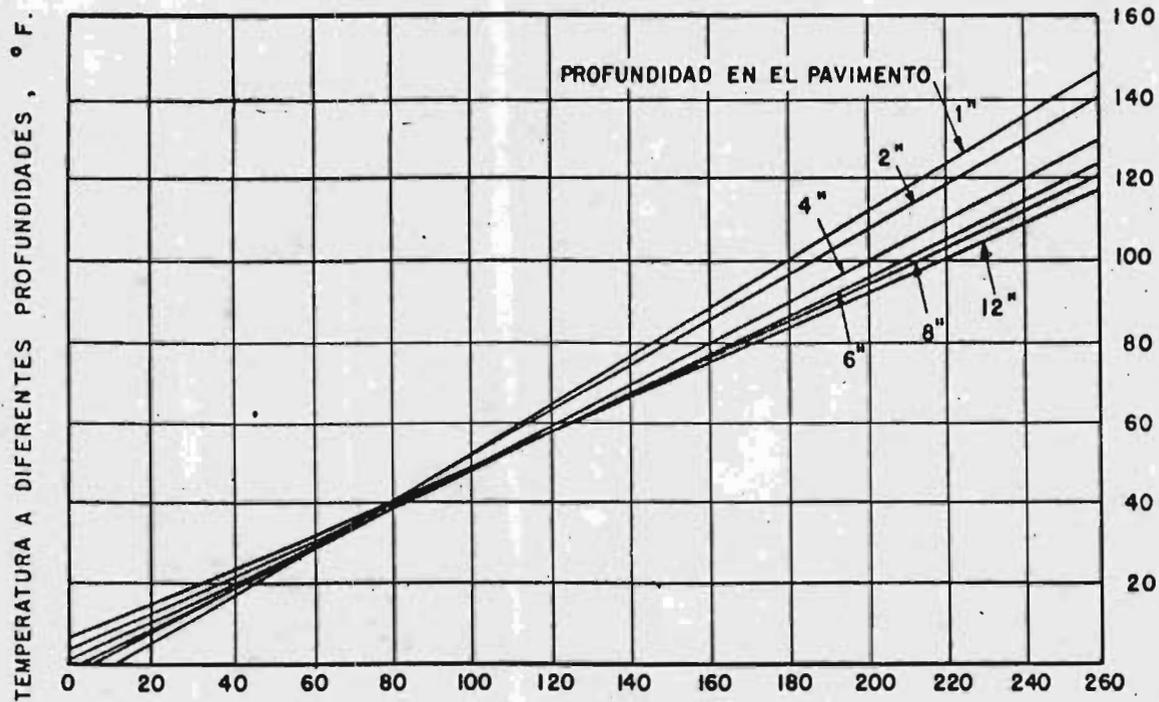
Fig. 4.17

Factores de corrección por temperatura en las deflexiones de viga Benkelman (Método de Valuación del Instituto Norteamericano del asfalto).

chas temperaturas a cada hora durante - los 5 días en un lugar próximo al de la prueba, o solicitando esa información a la estación meteorológica más cercana - o extrayéndola de los boletines o publi- caciones correspondientes.

- b) Los 10 valores de la temperatura máxima y mínima se suman y dividen entre 10, o sea, se obtiene su promedio.
- c) Se determina el espesor de la carpeta y la profundidad media de la misma.
- d) Se entra a la gráfica de la fig. 4.18 - con el valor obtenido de sumar el prome- dio de las temperaturas máxima y mínima de los 5 días anteriores y la temperatu- ra superficial de la carpeta que se ob- tiene al hacer la prueba, partiendo de- la escala horizontal se cruzan con una vertical las líneas de las profundida- des media e inferior y de la intersec- ción se trazan líneas horizontales que cortan la escala vertical izquierda, le- yéndose las temperaturas media e infe- rior de la carpeta.
- e) La temperatura media es el promedio de la temperatura superficial determinada- en el momento de realizar la prueba y - las temperaturas media e inferior obte- nidas de la fig. 4.18.

Finalmente, con el número de tránsito de - diseño (DTN) y la deflexión característica



TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO MAS EL PROMEDIO DE LA TEMPERATURA AMBIENTE DE 5 DIAS, °F

FIG 4.18 - PREDICCIÓN DE TEMPERATURAS EN LA CAPA ASFALTICA DEL PAVIMENTO.

( $\delta_c$ ), se entra a la gráfica de la fig. 4.19 y se obtiene el espesor requerido de refuerzo en concreto asfáltico u otro material usando las equivalencias apropiadas, aceptando que se puede aprovechar la estructura actual y en caso contrario deshechando alguna(s) capa(s)..

Al principio del método se anotó que el procedimiento "debería" ser el que se citó, sin embargo, en México no se hace la corrección por temperatura y siempre se considera el período crítico.

El Instituto de Asfaltos de Norteamérica cuenta con un método para estimar el tiempo en que un pavimento tenga necesidad de refuerzo, sólo se necesitan la deflexión característica y la tasa de crecimiento anual del tránsito y se utiliza la gráfica de la fig. 4.20.

Ejemplo:

Se tiene una carretera de dos carriles de circulación, con un T.P.D.A. de 8,000 vehículos diarios, de los cuales el 11% son camiones pesados con peso bruto promedio aproximado de 14 Ton. (30,000 lbs.). La tasa de incremento vehicular anual es de 4%. La carga límite por eje sencillo es de 8.2 Ton. (18,000 lbs) y se desea saber el tiempo en que será necesario un refuerzo.

Solución:

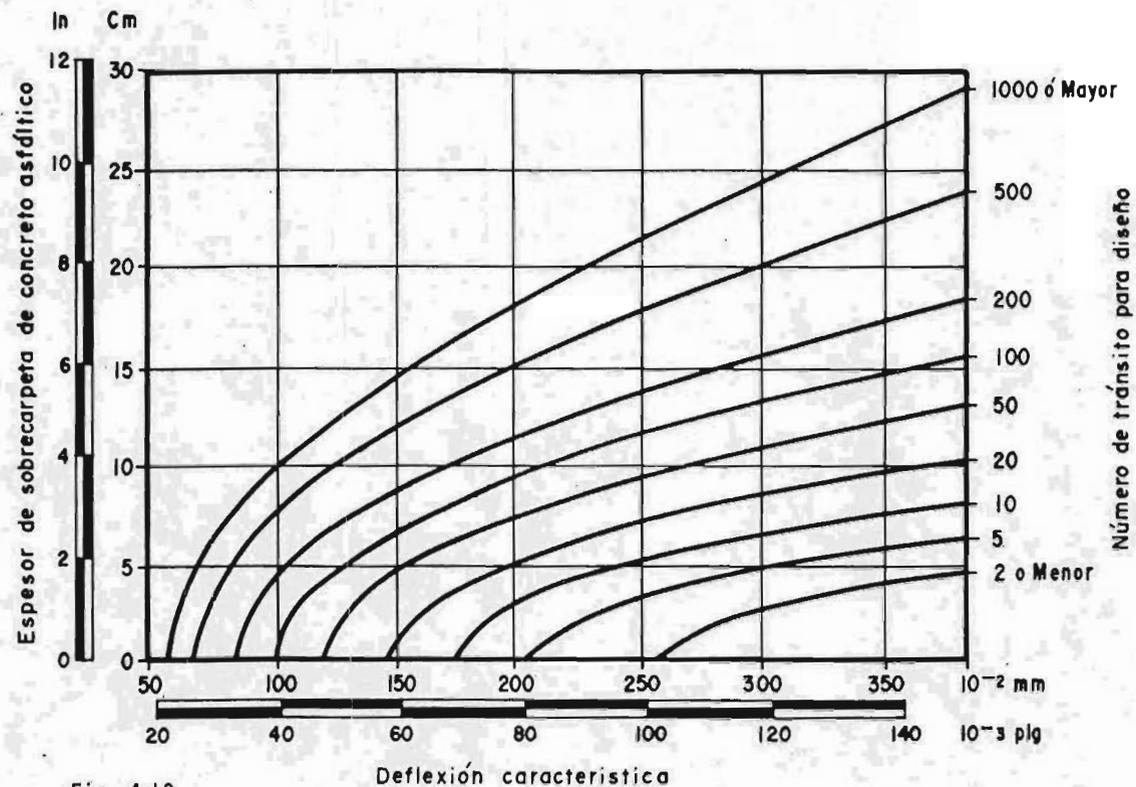


Fig. 4.19

Espesores de sobrecarpeta de refuerzo, en función de la deflexión característica del pavimento, según el Instituto Norteamericano del Asfalto.

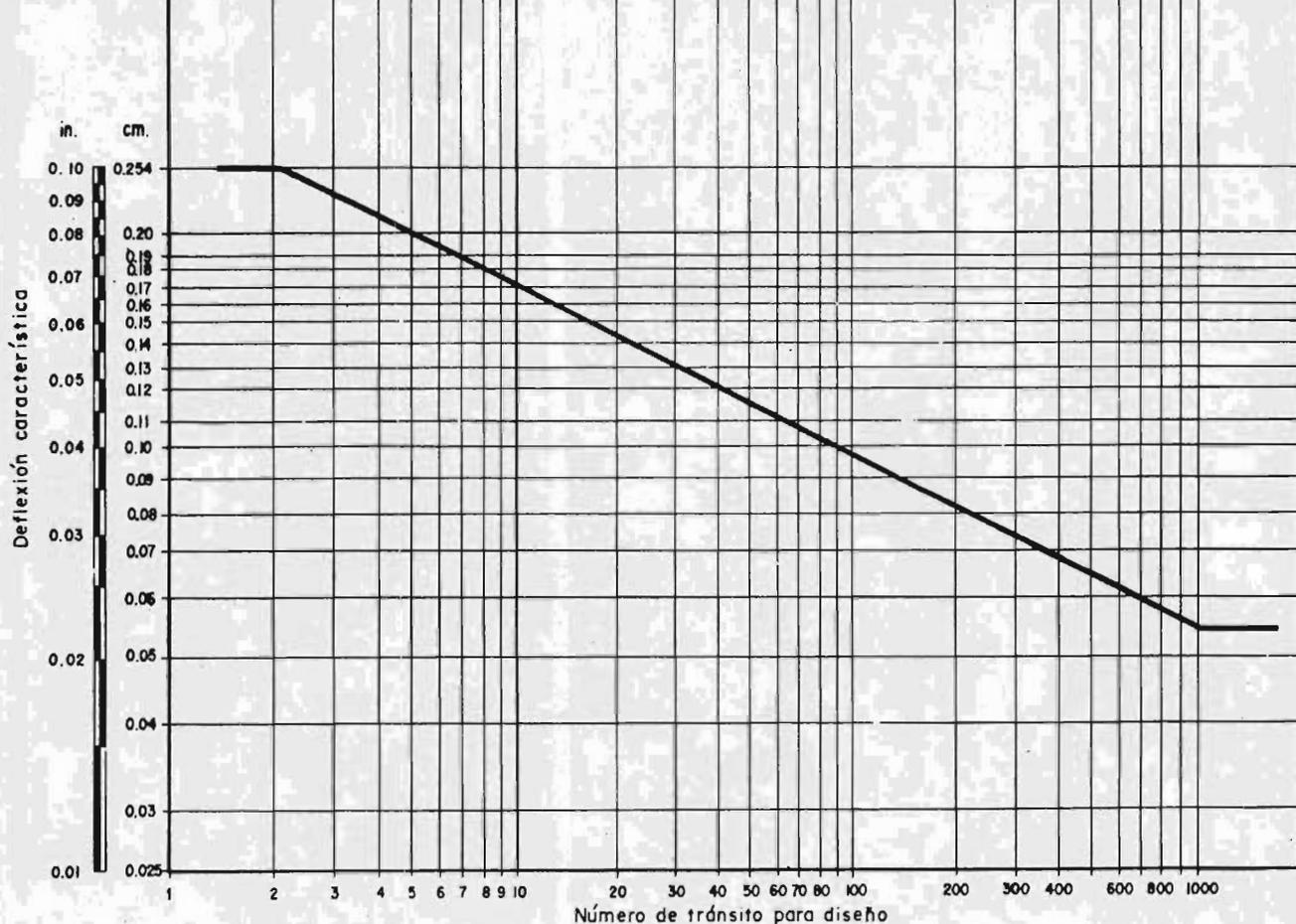


FIG. 4.20.- NUMERO DE TRANSITO LIMITE (A PARTIR DEL QUE SE REQUIERE REFUERZO) PARA UNA DEFLEXION CARACTERISTICA DADA. (I.A.N.).

- a) Número de camiones pesados en el carril de diseño  $8,000 \times 0.11 \times 0.5 = 440$
- b) ITN = 220 (de la fig. 4.10)
- c) Recuperación representativa = 0.04"
- d) DTN = 90 (de la fig. 4.20)
- e) Factor de corrección del ITN =  $\frac{DTN}{ITN} = \frac{90}{220} = 0.41$
- f) Tasa de crecimiento (t) = 4%
- g) De la tabla 4.3 se obtiene el período en que no será necesario el refuerzo, basándose en el valor de corrección del ITN y la tasa de crecimiento anual, apreciándose que será en 8 años, aproximadamente.

#### 4.1.2.3 METODO DE LA DIVISION DE CARRETERAS DEL ESTADO DE CALIFORNIA, E.U.A.

Este método consiste en medir la deflexión total que sufre el pavimento al aplicársele una carga de 3,400 Kg. (7500 lbs) por rueda doble (15,000 lbs. por eje sencillo). A las deflexiones obtenidas se les compara con las máximas permisibles que son función del espesor de la capa de rodadura y del número de aplicaciones de una carga por rueda de 2,270 Kg. (5,000 lbs.) que el pavimento tiene que soportar.

Si la deflexión obtenida es mayor que la máxima permisible, se requiere un refuerzo

para reducir la deflexión hasta un nivel en que la capa asfáltica difícilmente falle por fatiga, para este defecto el espesor de refuerzo se obtiene en términos de grava equivalente, mismo que se convierte a espesor real en función de los materiales que se vayan a emplear.

Los equipos que se pueden usar en este método son:

- . Viga Benkelman.
- . Curvímetro Dehlen. (No se usa en México)
- . Dynaflect
- . Deflectómetro móvil. (Opera con el principio de viga Benkelman). (No se usa en México).

Antes de realizar la prueba con cualquiera de los equipos anteriores es necesario obtener los siguientes datos:

- a) Sección estructural existente.
- b) El índice de tránsito (IT).
- c) Condiciones de drenaje, sub-drenaje, y apoyo del pavimento actual y problemas importantes en la ejecución de la obra que provoquen consecuencias en el comportamiento de dicho pavimento.

Para complementar el estudio, también es necesario lo siguiente:

- a) Preselección de tramos de prueba representativos con condiciones homogéneas, de ser posible, los tramos de prueba de

ben localizarse en tangente (recta) y deben ser de longitud de 240 a 300 m., siendo representativos de una milla, - medida en el centro de línea del ca---rril.

- b) Naturaleza, extensión y límites de las fallas o deterioros que se observen a lo largo del tramo, así como restric--ciones o controles verticales como ---guarniciones, bordillos, lavaderos, --etc., anotados en un registro.
- c) Es recomendable tomar fotografías en - cada tramo del estado de la carretera- y localizar las zonas con mayor grado- de deterioro.

Los procedimientos para determinar las de flexiones con los equipos que se utilizan en México, deben ser:

- A.1) Viga Benkelman (método de la WASHO)- Con éste se obtienen deflexiones del pavimento con valores menores a - -- 0.050 pulg.
  - a) Se acomoda el vehículo sobre los puntos que se van a analizar y se coloca el brazo móvil de la viga- entre las ruedas duales del vehí- culo dejando el pie de sonda 1.37 m. adelante de la rueda, tal como se aprecia en la figura 4.16, pro- curando que la viga esté perpendi cular el eje trasero.

- b) Se activa el vibrador y se ajusta la carátula del extensómetro a -- 0.000 pulg. e inmediatamente se -- mueve el vehículo de prueba hacia adelante hasta 7.5 m., registrándose la lectura máxima del extensómetro ( $D_1$ ) y aproximando al cen tésimo de pulgada más cercano.
- c) Después de que la aguja del extensómetro se estabilice, regístrese la lectura final ( $D_f$ ) y aproxímesse al centésimo de pulgada más -- cercano. La deflexión del pavimento será:

$$\int = 2(D_1) - D_f$$

- d) El proceso se debe repetir a cada 7.5 m., medidos longitudinalmente en la línea central del carril, -- alternando una medición en la rodada interior por dos en la rodada exterior, hasta terminar con -- el tramo de prueba.
- e) Los valores de interés de cada -- tramo serán el promedio y el 80 -- percentil obtenido como en el método de diseño de estructuras nuevas del Instituto de Asfaltos, para cada rodada del carril.

A.2) Viga Benkelman (método de recupera--  
ción).

Con éste se obtienen deflexiones del pavimento con magnitudes mayores a 0.050 pulg. .

- a) Colocar el vehículo de prueba en posición e insertar el brazo móvil de la viga entre las ruedas duales del camión, dejando el pie de sonda bajo el eje trasero, cu dando que la viga quede perpendicular a dicho eje.
- b) Activar el vibrador y ajustar la carátula del extensómetro hasta que se lea 0.100 pulgadas ( $D_0$ ), una vez que la aguja haya dejado de moverse para que, inmediatamen te, se mueva el camión hacia adelante hasta una distancia de 7.5 m. aproximadamente, registrando la lectura mínima del extensóme-- tro ( $D_1$ ) y aproximándola al centé simo de pulgada más cercano.
- c) Una vez que la aguja del extensó-- metro deje de moverse, registrar la lectura final ( $D_f$ ), aproximando al 0.001 de pulg. más cercano.
- d) La deflexión del pavimento, será:

$$\delta = 2(D_0 - D_1) - (D_1 - D_f)$$

- e) Repetir los pasos anteriores a ca da 7.5 m., aproximadamente, medi dos longitudinalmente sobre la lí

nea central del carril, realizando una medida en la rodada interior - por cada dos en la rodada exterior, para cada tramo de prueba.

- f) Calcular el promedio y el 80 percentil de las deflexiones medidas en cada rodada del camino, por tramo.

B) = Dynaflect Lane - Wells.

Este dispositivo es más difícil de operar, por lo que si se tienen dudas con respecto a su operación, se deberá consultar el "Manual de Operaciones del Sistema para la Determinación de Deflexiones Dinámicas", publicado por la Empresa Lane - Wells.

- a) Colocar y preparar la unidad de medición de deflexiones, según lo indique el manual antes citado.
- b) Calibre la unidad.
- c) Obtener una medida de la deflexión a cada 16 m., aproximadamente, sobre la rodada que esté más deteriorada.
- d) Cuando sea posible, realizar por lo menos 20 mediciones en cada tramo de prueba.
- e) Registrar las lecturas del Dynaflect y observaciones del operador como son: condiciones del pavimen-

to, intersecciones con calles o carreteras, localización de cortes y terraplenes, postes de señalamiento, etc.

- f) Calcular el promedio y el 80 percentil de estas medidas y convertir a deflexiones en viga Benkelman, usando la gráfica de la fig. 4.21.

Obtenidos el promedio y el 80 percentil de las deflexiones para cada tramo, por medio de alguno de los dispositivos antes citados, lo que sigue es analizar los datos y determinar los espesores requeridos de refuerzo.

El procedimiento es el siguiente:

1. Se determina el 80 percentil de las deflexiones, para un tramo dado y se le compara con el máximo permisible, usando la gráfica de la fig. 4.22, tomando en cuenta que la máxima deflexión tolerable es de 1 mm. (0.040 pulg.).

Para poder entrar a la gráfica antes mencionada es necesario calcular primero el índice de tránsito (IT) y la forma más exacta de hacerlo es usando la fórmula siguiente:

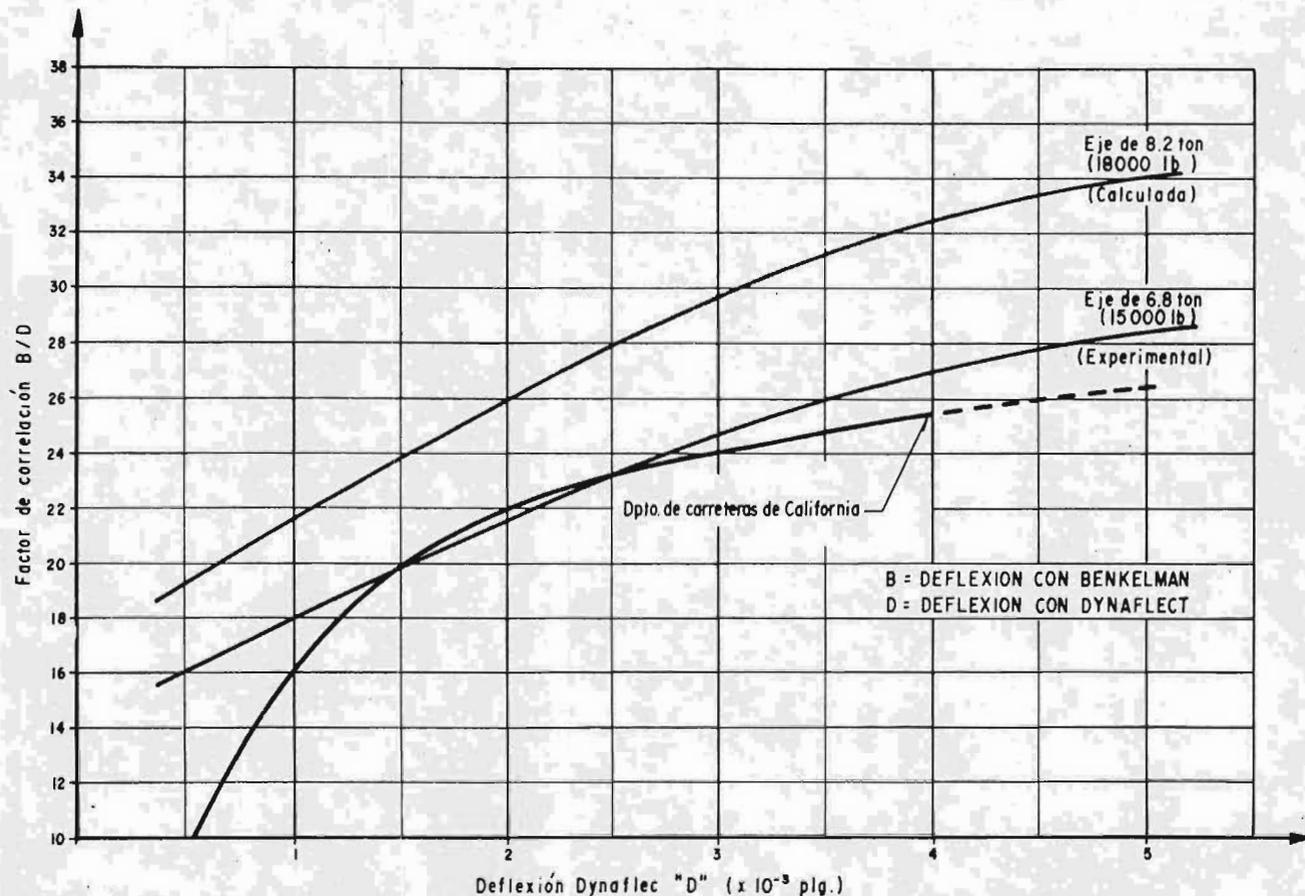
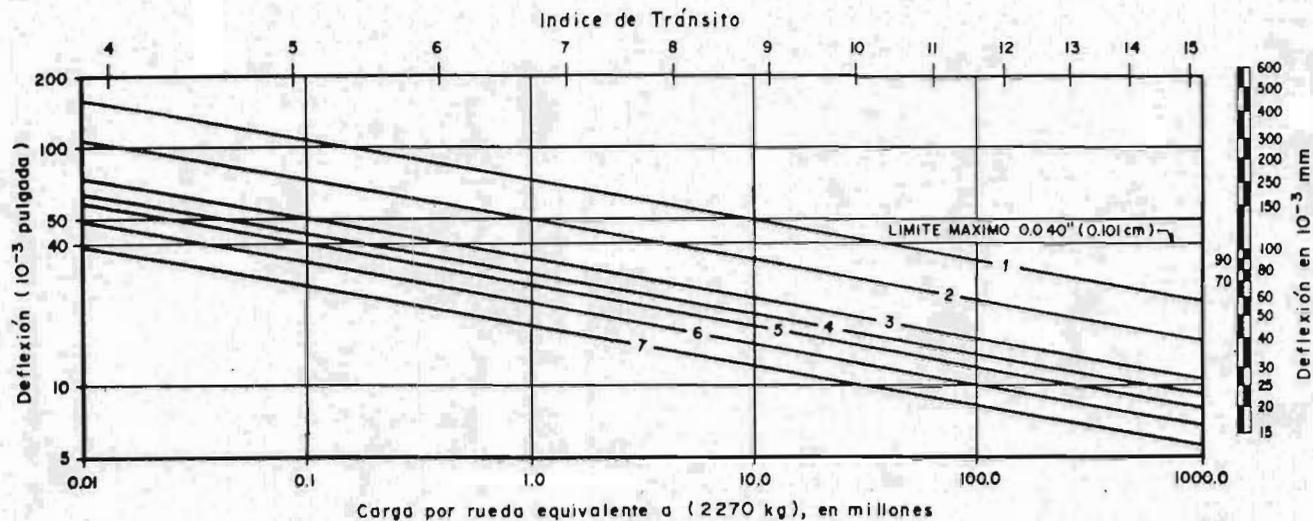


Figura 4.21 Correlación operacional entre la Viga Benkelman y el dispositivo Dynaflect. (La curva para eje de 15 000 lb es proporcionada por el fabricante del Dynaflect).



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

FIG. 4.22.- GRAFICA PARA LA DETERMINACION DEL NIVEL TOLERABLE DE DE-  
FLEXION (METODO DE CALIFORNIA).

$$IT = 6.7 \left[ \frac{EWL}{10^6} \right]^{0.119}$$

donde:

EWL = Equivalente de cargas de 5,000 - lbs. por rueda, que se espera -- circulen por el carril de diseño durante el período de vida de la obra.

$$EWL = \left( \frac{E}{S} \right)^{4.2}$$

siendo:

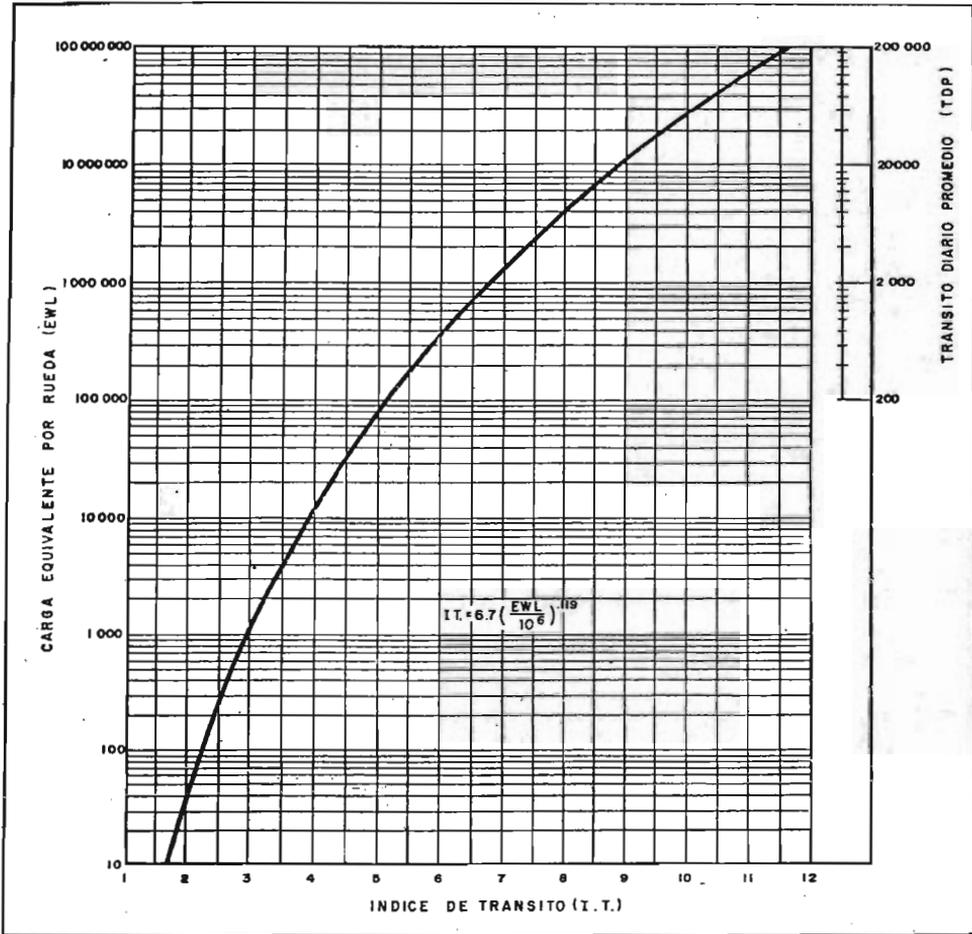
W = Carga por rueda en Kips.

También se puede calcular por medio de la gráfica de la figura 4.23

Para obtener el EWL se multiplican las constantes listadas en la Tabla 4.9 -- por el tránsito promedio diario anual de cada tipo de vehículo (en función - del número de ejes), en un solo senti- do.

Al resultado de éste producto se le -- multiplica por un factor llamado "del- futuro", que se calcula para cada tipo de vehículo, con la siguiente expre--- sión:

$$F = \frac{1+(1+r)^n}{2} \text{ o bien, } F = \frac{1^{(TPDA)f}}{2^{(TPDA)i}}$$



GRAFICA DE CONVERSION : GARGAS EQUIVALENTES POR RUEDA (EWL).- INDICE DE TRANSITO (I.T.)  
 (EWL = Cargas equivalentes de 5000 lb. por rueda, en un período de 20 años.)

FIGURA 4.23

donde:

$r$  = Tasa de crecimiento anual.

$n$  = Período de diseño en años.

$(TPDA)_f$  = Tránsito promedio diario --  
anual al finalizar el período de  
diseño.

$(TPDA)_i$  = Tránsito promedio diario --  
anual al inicio del período de di  
seño.

TABLA 4.9

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

Número de ejes del vehículo	Valor de la carga equivalente - (EWL) para un año de servicio - del pavimento	
	Carreteras principales	Carreteras secundarias
2	280	200
3	930	690
4	1,320	1,070
5	3,190	1,700
6	1,950	1,050

Con lo que se obtiene el EWL anual pa  
ra cada tipo de vehículo en un solo -

sentido, y la suma de éstos será el EWL acumulado que, multiplicado por el número de años "n" del período proyectado dará el EWL de diseño necesario para aplicar la fórmula de cálculo del IT.

El resultado siempre se redondeará al 0.5 más cercano. Con este último valor, se entra a la gráfica de la figura 4.22 en la escala horizontal, trazando una vertical hasta cortar la línea que tenga especificado el tipo y espesor actual de la capa de rodamiento, para luego trazar una horizontal que intersecte el eje de las ordenadas, quedando así valorada la deflexión máxima permisible. A ésta se le compara con el 80 percentil de las deflexiones predeterminado y se sigue el siguiente criterio.

- a) Si el 80 percentil de las deflexiones es menor que la máxima deflexión permisible, el pavimento no requiere refuerzo o reconstrucción alguna y será suficiente con aplicar un riego de sello, por ejemplo, para sellar las grietas y mejorar la apariencia y textura de la superficie de rodamiento o un riego de rejuvenecimiento.
- b) Si el valor del 80 percentil de las deflexiones es mayor al máximo

permisible, será necesario el procedimiento que sigue:

2. Determinar el porcentaje de reducción en la deflexión medida, mediante el uso de la fórmula siguiente:

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

Con el resultado calculado se entra a la gráfica de la figura 4.24 y se obtiene el espesor requerido de refuerzo en términos de grava equivalente, que se puede convertir a capas de --- otros materiales con el uso de los -- factores de la tabla 4.10.

El método de California recomienda -- volver a revisar la estructura, inclu yendo el espesor de refuerzo convirti do a concreto asfáltico, determinando la deflexión máxima permisible y comparándola con la medida real en el -- campo, debiendo ser siempre mayor la deflexión máxima permisible.

#### 4.2 PROCEDIMIENTOS DE CONSERVACION Y REPARACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DE CARRETERAS.

En el capítulo I de éste trabajo se habló de lo que era la conservación y se le clasificó en conservación preventiva y conservación correctiva. En lo siguiente se - tratará de detallar un poco más de éstos conceptos, así como de la reconstrucción, pero antes son convenientes- algunos comentarios:

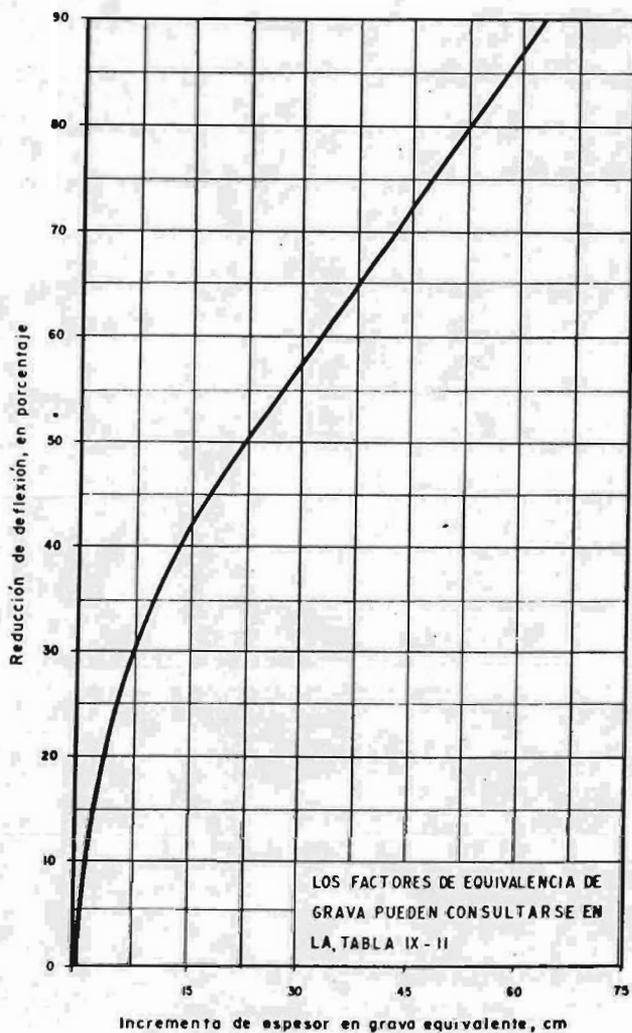


FIG. 4.24.- INCREMENTO DEL ESPESOR-  
DE UN PAVIMENTO (GRAVA-  
EQUIVALENTE) EN FUNCION  
DEL COEFICIENTE DE RE-  
DUCCION DE DEFLEXIONES-  
(CALIFORNIA).

TIPO DE MATERIAL	INDICE DE TRANSITO	FACTOR DE GRAVA EQUIVALENTE
Carpeta de concreto asfáltico.	5	2.5
	6	2.3
	7	2.2
	8	2.0
	9	1.9
	10	1.8
	11	1.7
	12	1.6
Bases estabilizadas con asfalto.	13	1.6
	14	1.5
Bases tratadas con cemento.	A	1.7
	B	1.5
	C	1.2
Bases granulares de material triturado.		1.1
Sub-bases y bases granulares natura les.		1.0

TABLA 4.10.- FACTORES DE GRAVA EQUIVALENTE PARA DIVERSAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (METODO DE CALIFORNIA)

En México es necesario establecer sistemas para poder llevar una adecuada administración de los pavimentos, en lo que a conservación y reparación se refiere. Actualmente los ingenieros de conservación no llevan, por lo regular, un sistema de costos, y no sería sorprendente que se encontraran por ejemplo, con que los costos de bacheo, renivelaciones, etc. anualmente realizados fueran mayores que el costo de una reconstrucción programada en forma diferida. Tampoco se cumplen normas o especificaciones de construcción para llevar un control de calidad y por tanto el rendimiento de los trabajos se maximiza.

Es conocida la falta de personal calificado, y la falta de recursos con que se cuenta, por lo que una buena parte de la conservación mayor, y de las reconstrucciones se efectúan a contrato.

La S.A.H.O.P., únicamente realiza por administración directa el trabajo rutinario de conservación y no siempre es todo lo deseable, lo cual hace evidente que falta seguir algunos lineamientos para mejorar la calidad y el rendimiento de los trabajos en el campo; el Manual de Normas y Procedimientos de Conservación y Reconstrucción de Carreteras de la S.A.H.O.P.; puede ser un principio para llevar a cabo lo anterior.

#### 4.2.1 CONSERVACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DE CARRETERAS .

##### 4.2.1.1 CONSERVACION PREVENTIVA.

En este rubro se incluyen, como se había mencionado en capítulos anteriores, trabajos que eviten que se originen fallas que luego den lugar a reducción de la capaci-

dad de servicio del pavimento, tales como:

a) Limpieza de cunetas y contracunetas.

Es la remoción de materiales extraños, - por ejemplo: tierra, hierba, piedras, - troncos y otros que reduzcan el área - hidráulica efectiva de las cunetas y -- las contracunetas.

Las cunetas son zanjas construídas a -- uno o ambos lados de la carretera cuando la sección es en corte, destinadas - a recoger y encauzar el agua de lluvia- o de filtraciones en la pared de los -- cortes hacia lugares donde no tenga --- efecto alguno sobre la estructura del - camino.

Las contracunetas son canales construídos en la ladera de aguas arriba de una obra vial, que impiden el escurrimiento del agua hacia aquélla.

Ambas tienen el inconveniente de que si no se eliminan los cuerpos extraños y - no se revisten o garantiza su impermeabilidad, son contraproducentes ya que - acumulan el agua y propician las filtra- ciones en el pavimento o en el material del talud, según sea el caso.

b) Limpieza de alcantarillas.

Es la remoción de cuerpos extraños de - la misma que impiden el libre escurri- miento del agua.

Se llama alcantarilla a una estructura-

de claro menor a 6 m., que tiene como función permitir el paso del agua de tal manera que el tránsito sobre una obra vial pueda ser permanente en todo tiempo o bajo condiciones normales o anormales previstas.

- c) Limpieza de canales de entrada y salida.

Es la remoción de azolve o algún otro material que disminuya o tape la sección hidráulica de los cauces naturales o artificiales que conducen el agua hacia las obras de drenaje y/o hacia lugares donde no haya efectos sobre la obra vial.

- d) Desazolve de sub-drenes.

Es la eliminación de cuerpos ajenos del tubo conductor del sub-dren que obstruyen la salida o conducción del agua producto de infiltraciones hacia las obras de drenaje o lugares en donde el agua no influya en el comportamiento de la sección estructural de la carretera.

El sub-dren es un canal construido bajo la cuneta, que después se rellena con pétreos de granulometría definida que permita el paso del agua pero no de los sólidos, previa colocación de un tubo perforado en la parte baja del canal que conducirá el agua.

Existen otros tipos de obras que también deben ser vigiladas para garantizar que su funcionamiento sea adecuado, realizando limpiezas y reparaciones que eviten males mayores.

En todos los casos anteriores, el material extraño a las obras que se extraiga deberá ser eliminado y colocado en lugares donde no perjudique a la obra vial.

Cuando se tengan secciones en terraplén y las condiciones climatológicas lo requieran, los taludes de los terraplenes, así como en algunas ocasiones las paredes de los cortes, se podrán arropar y propiciar el crecimiento de vegetación en ellos para que no haya erosión o deslave al escurrir el agua por los mismos.

#### 4.2.1.2 CONSERVACION CORRECTIVA.

Esta se constituye por labores que corrigen pequeñas fallas del pavimento o posibles causas de fallas mayores en el mismo, que en el futuro conduzcan a reducción en la capacidad de servicio del pavimento y costos más altos de conservación o reconstrucción.

##### a) Relleno de grietas.

Siempre se debe garantizar la impermeabilidad de la superficie de rodamiento, y cuando aparezcan grietas, que son in

dicios de falla, deberán rellenarse o corregirse llegando hasta las causas - que las originan, pudiendo dar origen a una reconstrucción. El producto con el que se rellenen será del tipo asfáltico que garantice la penetración.

b) Renivelaciones.

Es la operación por medio de la cual - se repone la porción de la superficie de rodamiento que ha experimentado deformación y/o desplazamiento con respecto a su posición original. Debe cuidarse que la falla no vuelva a ocurrir, llegando hasta la capa donde se origina y optando por una reconstrucción, según la gravedad de la falla a lo largo de la obra vial. Se considera conservación cuando el volumen de mezcla asfáltica empleada por kilómetro sea menor a  $200 \text{ m}^3$ .

c) Bacheos.

Es la reposición del material de la superficie de rodamiento que ha sido destruida y removida en pequeñas zonas -- por efectos del tránsito. Este tipo de fallas se dividen en calaveras y baches y existen las primeras cuando la dimensión mayor de la falla es menor a 15 cm., en caso contrario (dm.  $> 15$  -- cm.), la falla es un bache. Estos a su vez se dividen en baches superficiales

y profundos, siendo los primeros los que afectan únicamente a la carpeta. Sean unos u otros, el bacheo será su corrección definitiva sólo si se encuentran aislados en áreas muy grandes y siempre se deberá determinar cual es la causa de la falla y atacarla de origen, para que ésta no vuelva a aparecer. Cuando las fallas ocurran en forma continua y numerosa en un área pequeña será necesario programar una reconstrucción, usando por ejemplo máquinas cortadoras.

- d) Reparación y construcción de obras de drenaje y sub-drenaje.

Son modificaciones o reparaciones que se deben realizar a las obras mencionadas en la conservación preventiva, para obtener un funcionamiento más eficiente del sistema.

- e) Construcción y reconstrucción de obras complementarias de drenaje como bordillos y lavaderos.

En estos casos, siempre deberá llegarse al origen de la falla con ayuda de inspecciones, sondeos y pruebas de laboratorio, para determinar las dimensiones de las fallas y los procedimientos más adecuados a seguir.

Es por demás mencionar que las operaciones anteriores las debe realizar personal experimentado que las haga correctamente y evite, a la larga, un in

cremento en el costo al tener que estar reparando una falla continuamente, ya sea por mal ejecución del trabajo o no haber llegado al origen de dicha falla.

Existen otros conceptos que hay que considerar dentro de la conservación co---rrectiva, que son:

f) Acotamientos.

Son las fajas laterales a la carretera que van de la orilla de la carpeta o su superficie de rodamiento al hombro de la corona, y sirven para estacionamiento de emergencia o zona de desaceleración. Para los acotamientos son válidos los procedimientos anteriores como son renivelaciones, bacheos y riegos de sello, etc.

Por otra parte, debe vigilarse que en los terraplenes no haya deslaves y cuando ocurran corregirlos a la brevedad posible para que el problema no se agrave y sea más costosa su reparación.

En las zonas de corte debe vigilarse que no hayan caídos o deslaves sobre la carretera, y cuando no se puedan evitar, hay -- que remover el material lo más rápido posible cuidando no dañar el pavimento y previniendo algún tipo de falla más grave y accidentes. Esto mismo se aplica a los derumbes.

Dentro de la conservación también se incluye la construcción de desviaciones, -- que son caminos auxiliares de carácter -- provisional que sirven para dar paso al -- tránsito en una situación anormal prevista o imprevista. Su construcción debe hacerse de acuerdo a los lineamientos fijados por la S.A.H.O.P., en sus especificaciones y deberán dar paso al tránsito en forma fluida y segura.

En la conservación siempre hay que considerar los siguientes factores: Economía, - comodidad al usuario, seguridad, un servicio eficiente y que no se interrumpa el - tránsito.

#### 4.2.2 RECONSTRUCCION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DE CARRETE RAS.

Al reconstruir un pavimento el objetivo es adecuarlo a las condiciones de tránsito y carga actuales y futuras, en función de las características de calidad y resistencia de los materiales -- que aparezcan en las terracerías, esto es, debe ser un pavimento que proporcione un tránsito cómo do, rápido y seguro, durante un período razonable o programado.

Dentro de la reconstrucción básicamente se consideraran los siguientes conceptos:

Renivelaciones (cuando el volumen de mezcla asfáltica empleada es mayor a  $200 \text{ m}^3/\text{Km.}$ ); Riegos de - de sello (cuando la superficie tratada exceda de

1 Km. longitudinal continuo); Construcción de carpetas y sobre carpetas (que no es más que una carpeta sobre el pavimento deteriorado). En el caso de construcción de una carpeta se puede utilizar o no el material de la existente ; Modificación de la estructura del pavimento o construcción de nueva estructura, ya sea aprovechando el material del pavimento existente, parcial o totalmente o deshechándolo; y por último, también es necesario considerar las ampliaciones de corona (modernizaciones), así como construcciones y/o' reconstrucciones de -- obras de drenaje y sub-drenaje, abatimiento de taludes de los terraplenes y de las paredes de los -- cortes.

#### 4.2.2.1 CONSTRUCCION DE SOBRECARPETAS.

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

Para ello es necesario renivelar antes la -- superficie de rodamiento, con el fin de -- eliminar ondulaciones que se reflejen en -- la sobrecarpeta; éstas deformaciones tam-- bién se pueden eliminar con uso de una fresadora, que es una máquina que corta la -- carpeta y la disgrega. Esta maquinaria de-- ja una superficie propia para recibir la -- sobrecarpeta . Este procedimiento es muy -- bueno, ya que elimina las capas superficiales de riego de sello que de ninguna mane--

ra son buena liga entre la carpeta y la sobrecarpeta; el material fresado se puede -- aprovechar para renivelar los acotamientos, guardando siempre el desnivel máximo de --- 5 cm. antes mencionado. Basta con utilizar un rejuvenecedor o una emulsión asfáltica - diluída. Tanto a la sobrecarpeta como a los acotamientos, será conveniente aplicarles - un riego de sello para aumentar su impermea- bilidad, y mejorar la textura y el color de la superficie de rodamiento.

En cuanto a las carpetas, existen tres ti- pos:

- a) De riegos.
- b) Mezcla en el lugar.
- c) Concreto asfáltico.

De éstas diremos que las dos primeras se - usan sólo cuando el tránsito es bajo (menor a 1,000 vehículos pesados diarios), y ac- - tualmente la red básica del país tiene --- tránsitos bastante altos, de más de 1,000 - vehículos pesados diarios, por lo que la - única alternativa es el uso del concreto - asfáltico , sin embargo, existen zonas don- de las carpetas de riegos y de mezcla en - el lugar si son adecuados para garantizar- que la superficie de rodamiento tenga una- vida útil adecuada y no se destruya prema- turamente bajo los efectos del tránsito.

#### 4.2.2.2 RECONSTRUCCION DE CARPETAS.

En este aspecto hay tres alternativas, y -

son:

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

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

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

Para éste efecto existen dos procedimientos generales:

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

Este equipo de origen americano, consta de una campana, montada en el chasis de un camión, que tiene quemadores a gas butano que pasa 5cm. arriba de la superficie de rodamiento y la calienta. El mismo vehículo trae en su parte tra-

sera un marco con escarificadores con movimiento de resorte que van aflojando la carpeta reblandecida por el calor. Al material escarificado se le adiciona un rejuvenecedor para devolver al asfalto sus propiedades iniciales y cuando existen depresiones u orillas de carpeta muy desniveladas, así como roderas, se van recargando con concreto asfáltico nuevo. Una vez reperfilada la superficie, se compacta el material suelto, primero con una aplanadora metálica y después con una neumática.

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

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

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

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

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

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

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

Los dos procedimientos anteriores son costosos y para su aplicación se analizará primero el aspecto económico y la

disponibilidad de materiales de buena calidad, tanto pétreos como asfálticos, en el lugar.

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

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

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

#### 4.2.2.3. RECONSTRUCCION DE LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.

Quando la calidad de la carpeta es tal - que no se puede aprovechar ni siquiera - para renivelación de acotamientos, hay dos alternativas: se le desechea o se - le aprovecha en capas inferiores como la base, sub-base o la sub-rasante, en el -

caso de que el pavimento actual se vaya a modificar, es decir, se levanten capas del pavimento que no sirvan o que se vayan a aprovechar en otras capas de menor calidad, cuidando siempre que el material que se ocupe para construir una capa determinada cumpla con las características especificadas para el material de dicha capa.

#### 4.2.2.4 MODERNIZACION DE CARRETERAS CON PAVIMENTO FLEXIBLE.

Aquí se incluyen de alguna manera los tres sub-temas anteriores; solo que en la modernización se construye una porción totalmente nueva en el caso de la ampliación o el cuerpo nuevo de la sección. Lo que se debe pretender con una modernización es conducir al tránsito intenso y variado de una carretera en forma rápida y segura, lo cual, como antes se mencionó, se logra con cambios en los alineamientos horizontal y vertical y proporcionando un ancho de corona de la carretera y número de carriles tal, que el volumen de vehículos que circulen por una vía dada, no se vea bloqueado total o parcialmente por causas internas debidas al flujo del tránsito de la propia carretera.

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

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

En el caso de que se opte por construir - un cuerpo nuevo, tanto para la calidad de los materiales como para la ejecución de los trabajos se pueden adoptar, además de otras, las medidas establecidas en el capítulo I de este trabajo.

Cabe hacer el comentario de que actualmente PEMEX surte asfaltos de muy mala calidad y sería conveniente estudiar la manera de mejorarlos, para asegurar una buena calidad y duración de las carpetas de concreto asfáltico que están por construirse con el programa de modernización de carreteras. No es por demás recalcar la necesidad de que las labores de conservación y reconstrucción en las obras viales, se -- realicen por personas con experiencia o - bajo su supervisión, garantizando así un trabajo más duradero y menos costoso.

V. ESTABLECIMIENTO DE UN MODELO PARA LA  
CONSERVACION Y RECONSTRUCCION DE UNA  
CARRETERA.

Las necesidades de nuestra red carretera han ido cambiando con el tiempo, al irse incrementando el tránsito, sobre todo el de tipo pesado.

A mediados de la década de los 60's, casi toda la red carecía de problemas de saturación. Hoy en día todavía existen carreteras sin este problema, pero una gran parte de la red tiene tránsitos intensos y pesados que hacen necesario reconstruirla o modernizarla.

Aunado a este problema se tiene que más de la mitad de las carreteras actuales, fué diseñada para camiones cuyo peso total era menor de 8 toneladas. Aproximadamente en 1970 se tomó como base de diseño la carga de 8.2 toneladas por eje y en 1980 se aprobó una carga máxima de 10 toneladas por eje. Para agudizar el problema, existe el hecho de que nunca se aprueban presupuestos suficientes para conservar los caminos y si a esto se le suma la inflación que se desarrolla en el país, que produce incrementos en costos de las obras de conservación que de por sí son cada día mayores, lo que se tiene a la vista es un problema catastrófico.

Debido a las razones anteriores, la única forma de encarar el problema es programando detalladamente la empresa de dar conservación a la red. La forma de hacer esto es planeando una organización que se encargue de la conservación, definir la técnica que se emplee para decidir los trabajos que deben realizarse y optimizar el empleo de los recursos (humanos, económicos, materiales y equipo), de que se pueda disponer.

La técnica mencionada debe ser tanto la que se usa para la construcción de carreteras nuevas como la que se emplea para conservar, reconstruir o modernizar las existentes.

El problema planteado acerca del creciente tránsito pesado y las carreteras que cada vez tienen mayor edad es, actualmente, considerable. Es de imaginarse como será en el futuro, digamos 10 o 15 años.

Básicamente los caminos se enfrentan a la falta de resistencia estructural y a la saturación por volumen, es decir, falta de carriles de circulación.

La dependencia encargada de las carreteras se propone realizar una modernización de la red troncal del país. Por lo antes expuesto y la carencia de personal calificado, además de otros aspectos, surge a la vista que es necesario un cambio de sistemas y el comienzo no puede ser mejor que al iniciarse la modernización de la red federal.

Esta considerable empresa y las limitaciones tradicionales de recursos, obligan a seleccionar proyectos para distribuir las inversiones de forma adecuada, fijándoles prioridades en función de las condiciones de los pavimentos y su tránsito.

Actualmente se carece de información llevada sistemáticamente y que pudiera aportar algunas luces respecto a la estructura de sus pavimentos, su conservación, los materiales empleados y las sobrecargas de éstos en los diversos tramos -- construídos durante sus reconstrucciones.

A falta de antecedentes de comportamiento de estos pavimentos, lo menos que se puede hacer es calificar su estado y si se requiere, su estructura, a efecto de establecer un programa general de adecuamiento.

Los propósitos para evaluar los pavimentos a nivel nacional son dos principalmente:

- 1.- Determinar las necesidades de toda una red, considerando independientemente la troncal o federal, la de cooperación y la vecinal.
- 2.- Precisar las necesidades de una obra en particular, carretera o tramo, comprendidos dentro de cualquiera de los sistemas mencionados.

El primer propósito sirve para determinar normas de comportamiento y distribución de fondos en el contexto amplio de la red considerada.

El segundo propósito, después de analizar los criterios de decisión, tiene su uso en asignar presupuestos para la reconstrucción o modernización de una carretera o tramo en particular. Es por esto que es muy útil disponer de información que se haya ido almacenando en forma sistemática, por medio de un registro adecuado y poder hacer una selección previa de las diversas opciones. Como sea y en última instancia, será necesario que se tomen decisiones para evaluar y reconstruir o modernizar tramo por tramo.

#### 5.1 PROPOSICION DEL MODELO.

En la figura 5.1 se aprecia un diagrama para llevar a cabo la evaluación, conservación, reconstrucción o modernización de nuestras carreteras. En primera instancia se propone realizar una evaluación superficial del pavimento, ya sea por métodos cualitativos (Calificación Actual) o cuantitativos (Perfilómetro C.H.L.O.E. o medidor MAYS), realizada periódicamente, digamos cada 6 meses, pensando en que períodos más cortos harían más costoso el registro por un lado, y por otro en lapsos breves es posible que no le suceda algo al pavimento. En contraparte períodos más largos podrían pasar por al

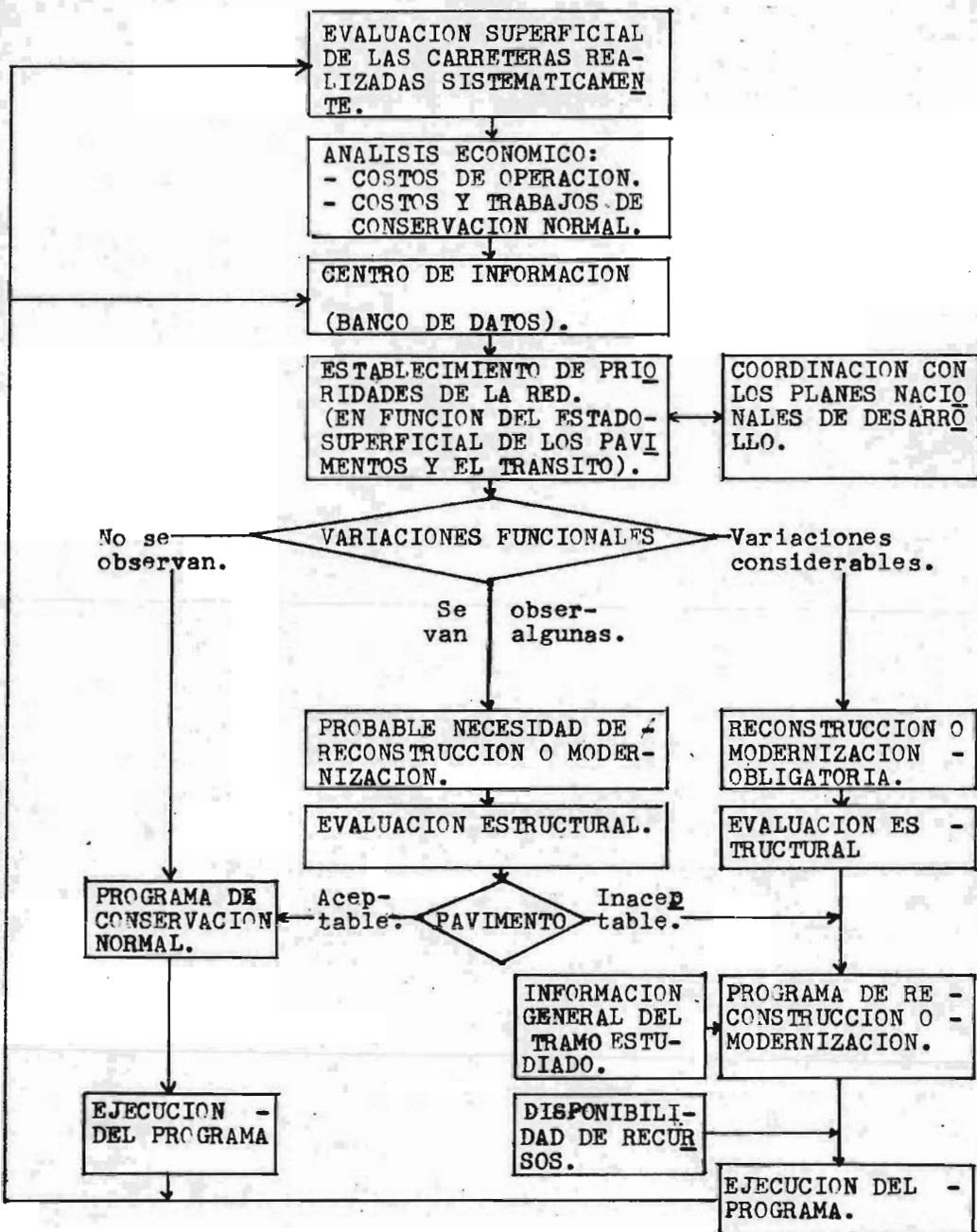


FIG. 5.1.- MODELO PROPUESTO PARA REALIZAR LA CONSERVACION DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS.

to variaciones de importancia en la superficie del pavimento.

Los datos de la evaluación se pueden ir almacenando en - un centro de información y de esta manera ir conociendo - el comportamiento de un pavimento.

Realizando esta evaluación a nivel nacional se pueden establecer prioridades para determinar qué carreteras tie - nen más urgencia de ser reconstruídas o modernizadas o - sólo requieren de conservación normal.

Al mismo tiempo se debe efectuar un análisis económico - en el que intervengan los costos de operación, así como - los costos y trabajos de conservación normal, es decir, - hay que revisar que estos costos no rebasen un límite admisible, como puede ser el presupuesto anual otorgado a algún camino.

Toda la información anterior se puede recabar en el cen - tro de información ya mencionado (Banco de datos), que - puede ser una computadora con capacidad suficiente para - poder realizar este trabajo, sistematizando el procedi - miento.

El paso siguiente sería jerarquizar las necesidades de - la red nacional en función del estado superficial de los pavimentos y el tránsito, así como de la importancia so - cial y/o económica de la carretera que se analiza, esto - es, coordinando el ordenamiento con los planes naciona - les de desarrollo. Después se revisaría si el pavimento - ha sufrido variaciones funcionales que reduzcan su capa - cidad de servicio, pudiéndose encontrar dos cosas: que - no se observen variaciones, en cuyo caso será suficiente con programar operaciones de conservación normal y ejecu - tarlas en forma adecuada, estas operaciones quedarían re

gistradas y retroalimentarían al centro de información, llevándose un control a través del tiempo que puede servir en la toma de decisiones posteriormente, y por otra parte que existan variaciones, mismas que pueden ser ligeras o de importancia.

Si las variaciones de la funcionalidad son ligeras, es posible que el pavimento considerado tenga necesidad de algo más.

Para saber que posición adoptar, será necesario realizar una evaluación más a fondo, llamada estructural, Esta evaluación puede hacerse por métodos destructivos y no destructivos.

En nuestro país las pruebas no destructivas serán la viga Benkelman o el Dynaflect y las destructivas serían sondeos realizados a lo largo del camino para determinar el estado y características de las capas que forman la sección estructural, así como de sus materiales.

Dichos sondeos servirían para conocer espesores, grados de compactación, tipos de materiales y sus características, contenidos de humedad y algunos conceptos más. Si de estos sondeos y pruebas se llegara a que el estado y características del pavimento no son adecuados, pudiera ser que fuera necesario programar una reconstrucción o modernización, apoyándose en toda la información general existente del tramo estudiado y si se dispone de recursos suficientes (como pueden ser económicos, humanos o de maquinaria), se procede a ejecutar el programa de reconstrucción o modernización.

Esta operación deberá quedar registrada en el centro de información, para más tarde poderle dar un uso adecuado.

Por último, cuando las variaciones funcionales del pavimento sean de importancia, una reconstrucción o modernización serán obligatorias. De la misma manera mencionada en el párrafo anterior, primero se realizará una evaluación estructural para conocer el estado y características de las capas y materiales que forman a la sección de la carretera y luego, basándose en la información derivada de la evaluación estructural y en información general del tramo analizado, se realizará un programa de reconstrucción o modernización que, dependiendo de la disponibilidad de recursos, se podrá ejecutar o no. En caso de que sea posible ejecutarlo, la reconstrucción o modernización también quedará registrada en el banco de datos, retroalimentando la información de cada camino reconstruído o modernizado y también de los conservados.

La evaluación superficial de la red se podrá seguir realizando sistemáticamente, aún inmediatamente después de que a alguna carretera se le haya practicado alguna de las operaciones citadas en lo anterior.

La evaluación a que se refiere el párrafo anterior deberá realizarse por lo menos cada año, aunque se recomienda un período semestral y para el establecimiento de las prioridades debe tomarse en cuenta que un pavimento no sólo es ineficaz cuando su nivel de servicio es inferior a 2.5 (límite de rechazo), sino también cuando los costos de conservación que hay necesidad de realizarle son muy elevados.

Con la información de la evaluación llevada en forma sistemática es posible:

- a) Checar si el comportamiento del pavimento es el predicho en su diseño y si no, tomar las medidas conve-

nientes.

- b) Modificar medidas de reconstrucción previamente trazadas.
- c) Contar con datos valiosos para retroalimentar los modelos de diseño, así como las técnicas de construcción y mantenimiento.
- d) Disponer de información para actualizar los programas de mejoramiento de la red.

Otra consideración es que para decidir si a una carretera se le reconstruye o moderniza, es necesario un estudio de su capacidad de servicio en la actualidad y a futuro, vigilando que siempre proporcione flujos cómodos, seguros y rápidos a costos realmente razonables.

## 5.2 FORMA DE REGISTRO DE DATOS PROPUESTA.

Esta forma se elaboró tomando en cuenta los factores más importantes de una sección estructural con pavimento flexible. Por supuesto que los datos de la tabla no son todos aquellos con los que se puede contar, pero usándola como guía para la evaluación y para el registro de datos, se estima que es muy buena medida para poder sistematizar el procedimiento y así disponer fácilmente de la información que se requiera.

La forma de referencia se encuentra en la fig. 5.2.

Cabe aclarar que dicha forma se puede adaptar a los requerimientos de cada lugar, pudiéndose ampliar o reducir según convenga.

Para que los datos que se anoten en dicha forma sean representativos de las condiciones reales de la carretera y se puedan formar como confiables es muy recomendable que las mediciones se hagan, sino al mismo tiempo, si de



jando pasar un período muy corto.

Entre otros datos, en la forma se anotan Kilometrajes, - anchos de corona y carpeta, operaciones recientes, esta do de la superficie del pavimento, tipo de estructura, - deflexiones, condiciones del drenaje y sub-drenaje, etc., que en el futuro serán de gran utilidad y más aún si el registro de datos realizado es periódico.

Esta evaluación sistemática es posible llevarla a cabo - en nuestro país con ayuda de las dependencias descentra - lizadas adscritas al organismo público que se encarga - de las carreteras.

## VI. APLICACION A UN EJEMPLO REAL.

En el desarrollo de los anteriores capítulos se hizo referencia a varios aspectos que intervienen en la conservación y -reconstrucción de las carreteras que tienen pavimento flexi-ble.

Este capítulo tratará un ejemplo real, es decir, los datos - y la carretera que se citan son reales.

El orden de los temas no será el mismo que el de los capítu-los, pero se tratará de ser lo más claro posible.

Si bien en el anterior capítulo se propuso un modelo para -- conservar o adecuar la red nacional de carreteras a las condiciones actuales y futuras que le imponga el tránsito y el medio ambiente, en este capítulo, porque aún no se cuenta con la información de toda la red, solo presentaremos un caso:

La carretera que va de Coatzacoalcos a Villa Hermosa, tramo- Coatzacoalcos- Cárdenas, sub-tramo Nvo. Teapa - Río Tonalá - entre los Kms. 14+000 al 41+000, con origen en Coatzacoalcos, Ver.

Esta carretera se adoptó para el ejemplo porque es una vía - principal del Edo. de Veracruz que conduce tránsitos pesados de mucha importancia y se observó que era necesario hacerle- algo para que su nivel de servicio aumentara.

A continuación se hará un desarrollo por pasos procurando se parar los temas de capítulos anteriores e irlos integrando en- lo que se llama un proyecto de evaluación y reconstrucción, - que también puede ser de conservación, si el camino no re--- quiere de obras de reconstrucción o modernización, según se explicó anteriormente.

## 6.1 GENERALIDADES.

En la zona costera del golfo, próxima a las poblaciones de Coatzacoalcos y Minatitlán se ha realizado un desarrollo industrial muy importante.

Se han construido complejos industriales como "Pajaritos" y "La Cangrejera" y está por construirse un puerto industrial en la Laguna del Ostión, localizada al Noroeste de Coatzacoalcos, Ver.

Lo anterior ha provocado un incremento considerable en el volumen de vehículos que circulan por las vías cercanas, de las cuales la carretera que va de Nuevo Teapa a Río Tonalá forma parte y, en consecuencia, ha surgido la necesidad de conducir ese volumen de vehículos en forma rápida, cómoda y segura.

La manera de realizar esto es acondicionando la obra vial existente a las características y requerimientos que le imponga el tránsito actualmente y a futuro, previniendo que en un período razonable (función de un análisis de Inversión inicial y gastos de conservación contra beneficios económicos), no se le efectúen obras de conservación importantes o reconstrucciones.

Para encontrar el acondicionamiento sino óptimo, más apropiado, lo que procede es realizar un estudio como el que sigue:

### 6.1.1 ANTECEDENTES

El tramo analizado fué construido hace más de 20 años, es decir, forma parte de las carreteras que datan antes de 1960, observándose que se le han hecho mejoras recientes en su alineamiento horizontal, así como reforzamientos en la superficie del pavimento.

El cuerpo actual tiene un ancho de corona de 12 m. y de 8 m. de carpeta. Las obras menores se encuentran en general en buenas condiciones.

#### 6.1.2 LOCALIZACION DEL TRAMO.

La carretera objeto del presente estudio, se encuentra alojada dentro del Edo. de Veracruz, y forma parte de la Carretera Costera del Golfo, llegando hasta el límite de Edos. Ver./Tab. (Río Tonalá). Su trazo comunica a los complejos industriales de "Pajaritos" y "La Cangrejera" con el Edo. de Tabasco. El croquis de localización se encuentra en la fig. No. 6.1.

#### 6.2 CARACTERISTICAS DE LA ZONA DONDE SE ALOJA EL TRAMO.

##### 6.2.1 TOPOGRAFIA.

El tramo cruza por dos zonas, una de lomerío fuerte entre los Km. 14+000 (Nuevo Teapa) a 37+000, y otra de terreno plano entre los Km. 37+000 a 41+000 (Río Tonalá). Haciéndose la observación de que en los Kms. 26+600 a 37+240 y 38+900 a 41+000 existen zonas pantanosas.

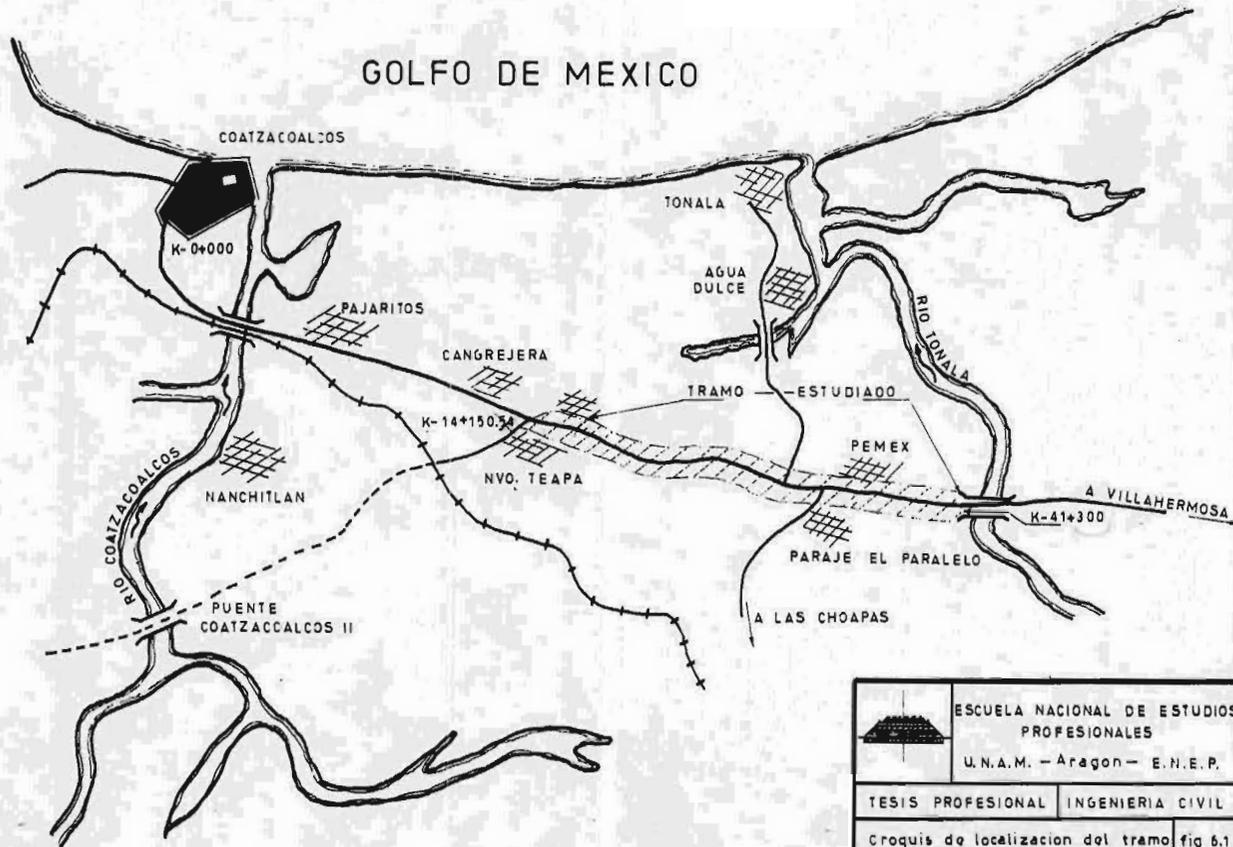
La altura sobre el nivel del mar de la zona que aloja al tramo varía entre 20 y 175 metros.

##### 6.2.2 GEOLOGIA.

En general, la composición geológica de la zona es la siguiente:

Rocas sedimentarias como areniscas cuarzosas y lutitas muy alteradas con colores gris y café amarillento y estratificaciones aisladas de dichos materiales.

# GOLFO DE MEXICO



	ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES	
	U.N.A.M. - Aragón - E.N.E.P.	
TESIS PROFESIONAL	INGENIERIA CIVIL	
Croquis de localizacion del tramo fig 6.1		
Ruben Frias Aldaraca	febrero 1982	

Particularmente, en la zona de lomerío se encuentran arenas de grano fino, mal graduadas, interestratificadas con lutitas muy alteradas, cubiertas por una capa vegetal tipo turba en la que se desarrolla abundante vegetación del tipo platanillo, regularmente estas zonas tienen un tirante de --- agua que varía entre 0.50 y 1.50 m.

La zona de terreno plano se forma con materiales como arenas arcillosas bien graduadas, medianamente compactas y arenas con poco o nada de gravas y finos.

### 6.2.3 CLIMA.

Según la carta de clasificación Köppen-Geiger, el clima del lugar es cálido húmedo, la temperatura media anual es de 26.8°C., variando de 23°C. en el Invierno, hasta 29°C. en el Verano.

La precipitación media anual es de 2050 mm., siendo los meses más lluviosos de Junio a Diciembre.

La vegetación es exuberante, del tipo selvático.

### 6.3 ESTADO ACTUAL DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO.

Las condiciones en que se encuentra la superficie de rodamiento son función del comportamiento de la estructura.

Para conocer estas condiciones se realiza primero una evaluación superficial del pavimento, en este ejemplo representada por la Calificación Actual y determinada mediante el procedimiento AASHO visto en el capítulo II, dividiendo a la carretera en tramos de 500 m. para lograr resultados más representativos. A la vez se hizo -

un levantamiento de los daños de la superficie de referencia, encontrándose deformaciones transversales y longitudinales, así como grietas.

Las deformaciones transversales se presentan principalmente en la huella de la rodada exterior, que es donde se apoya la mayor parte del peso de los camiones, debido a que la pendiente transversal que tienen las carreteras del centro hacia los lados llamada "bombeo", hace que el peso de los camiones gravite hacia los lados exteriores. Las grietas son, por lo general, longitudinales. Otro tipo de falla que se aprecia es de deslizamiento del talud.

Un resumen de la Calificación Actual y levantamiento de daños se aprecia en la fig. 6.2. Cabe recordar que la Calificación Actual es un método subjetivo que toma en cuenta principalmente la comodidad del usuario.

Por otra parte, en el desarrollo de la carretera se pueden observar los acotamientos caídos, con pendiente hacia afuera y desnivel hasta de 30 cm. en la carpeta.

De acuerdo con la evaluación superficial de la carretera que se reporta, el pavimento tiene condiciones aceptables entre los Kms. 14+000 a 24+000 y del Km. 24+000 a 41+000 las condiciones del pavimento son tales que, o están muy cerca del límite de rechazo (2.5), o son iguales o inferiores a este último, lo que hace que el pavimento no sea funcional.

El tramo con condiciones aceptables tiende a destruirse en poco tiempo, debido a las características del tránsito que circula actualmente y del que circulará en el futuro sobre él, por lo que es necesario practicarle un refuerzo o una reconstrucción.

KILOMETRAJE		DE		14+000			14+500			15+000			16+500			18+500			19+500			23+000		
		A		14+500			15+000			16+500			18+500			19+500			23+000			24+000		
CALIFICACION ACTUAL DEL PAVIMENTO	3 MUY BUENO 4 BUENO 5 REGULAR 2 MALO 1 MUY MALO 0																							
CALIFICACION ACTUAL		2.8			3.0			2.8			2.9			3.1			3.0			2.9				
PAVIMENTO ACEPTABLE		SI		X			X			X			X			X			X			X		
		NO																						
		DUDOSO																						
DESCRIPCION DE 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	N	L	F	
	DEFORMACIONES			X		X				X			X		X				X				X	
	GRIETAS		X			X				X		X				X			X				X	
	BACHES	ABIERTOS	X			X			X			X			X			X				X		
		TAPADOS	X			X			X			X			X			X				X		
	ZONAS LLORADAS		X			X			X			X			X			X				X		
	DESPRENDIMIENTOS		X			X			X			X			X			X				X		
	OBSERVACIONES																							

FIG. 6.2.- CALIFICACION ACTUAL DE LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO.

KILOMETRAJE		DE		24 + 000	24 + 500	25 + 000	26 + 000	27 + 000	28 + 000	28 + 500										
		A									24 + 500	25 + 000	26 + 000	27 + 000	28 + 500	29 + 000				
CALIFICACION ACTUAL DEL PAVIMENTO	3																			
	4																			
	3																			
	2																			
CALIFICACION ACTUAL		2.6	2.2	2.4	2.6	2.7	2.7	2.6												
PAVIMENTO ACEPTABLE	SI																			
	NO		X	X	X				X											
	DUDOSO	X						X	X											
DESCRIPCION DE 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
	DEFORMACIONES			X			X			X			X			X			X	
	GRIETAS			X		X			X			X			X			X		
	BACHES	ABIERTOS		X			X			X			X			X			X	
		TAPADOS		X			X			X			X			X			X	
	ZONAS LLORADAS		X				X			X			X			X			X	
	DESPRENDIMIENTOS		X				X			X			X			X			X	
	OBSERVACIONES																			

FIG. 6.2.- (CONTINUACION)

KILOMETRAJE		DE		29+000			29+500			30+000			31+000			31+500			32+000			32+500		
		A		29+500		30+000		31+000		31+500		32+000		32+500		33+000								
CALIFICACION DEL PAVIMENTO		[Visual scale with tick marks for each integer from 0 to 5]																						
		CALIFICACION ACTUAL																						
		2,6      2,5      2,6      2,7      2,5      2,5      2,5																						
		PAVIMENTO ACEPTABLE	SI																					
			NO																					
DUDOSO																								
DESCRIPCION DE DAÑOS	N = Ninguno L = Ligero F = Fuerte																							
	DEFORMACIONES																							
	GRIETAS																							
	BACHES	ABIERTOS																						
		TAPADOS																						
		ZONAS LLORADAS																						
	DESPRENDIMIENTOS																							
	OBSERVACIONES																							

FIG. 6.2.- (CONTINUACION)

KILOMETRAJE		DE		33+000			34+000			35+000			35+500			36+000			36+500			38+000				
		A		34+000			35+000			35+500			36+000			36+500			38+000			39+000				
CALIFICACION ACTUAL DEL PAVIMENTO	3																									
	4																									
	5																									
	0																									
CALIFICACION ACTUAL		2.7			2.7			2.6			2.3			2.4			2.5			2.5						
PAVIMENTO ACEPTABLE		SI																								
		NO																								
		DUBOSO			X			X			X			X			X			X						
DESCRIPCION DE 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	N	L	F	N	L	F
	DEFORMACIONES			X			X			X			X			X			X			X			X	
	GRIETAS			X			X			X			X			X			X			X			X	
	BACHES	ABIERTOS		X			X			X			X			X			X			X			X	
		TAPADOS	X				X		X			X			X			X			X			X		
	ZONAS LLORADAS		X				X		X			X			X			X			X			X		
	DESPRENDIMIENTOS		X				X		X			X			X			X			X			X		
	OBSERVACIONES																									

FIG. 6.2.- (CONTINUACION)

KILOMETRAJE		DE	39+000	40+000																
		A	40+000	41+000																
CALIFICACION ACTUAL DEL PAVIMENTO																				
	CALIFICACION ACTUAL	2.5	2.6																	
PAVIMENTO ACEPTABLE	SI																			
	NO	X	X																	
	DUDOSO																			
DESCRIPCION DE 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	
	DEFORMACIONES		X			X														
	GRIETAS		X			X														
	BACHES	ABIERTOS		X			X													
		TAPADOS	X				X													
	ZONAS LLORADAS	X				X														
	DESPRENDIMIENTOS		X			X														
	OBSERVACIONES																			

FIG. 6.2.--(CONTINUACION)

En vista de que el tramo tiene deficiencias funcionales, se hace necesario analizar con más detalle su comportamiento, para lo cual recurrimos a una prueba del tipo no destructiva (Deflexiones con viga Benkelman), y pruebas de tipo destructivas (Sondeos y extracción de muestras para averiguar el estado y características de calidad y resistencia de las capas que constituyen al pavimento, así como de los materiales que las forman).

### 6.3.1 DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN.

Se realizaron medidas de la deflexión a lo largo de todo el tramo, aproximadamente a cada 80 m., eligiéndose tramos con condiciones homogéneas en los que los valores de deflexión tenían rango de valores semejantes, estos tramos quedaron comprendidos entre los Kms. 14+000 a 15+560, 15+560 a 17+420, 17+420 a 19+900, 19+900 a 21+700, 21+700 a 25+000, 25+000 a 29+000 a 33+400, 33+400 a 35+740, 35+740 a 38+020, 38+020 a 41+000.

Los valores representativos de cada tramo se determinaron de la manera siguiente, por el método del Instituto de Asfaltos de Norteamérica:

- a) Se usó un camión cargado con 8.2 Ton. (18,000-lbs) en el eje trasero, de llantas duales de 10 x 20 y presión de inflado de  $5.6 \text{ Kg/cm}^2$ , (80 lb./pulg.<sup>2</sup>).
- b) Se obtuvieron alrededor de 12 valores de deflexión por cada kilómetro, según lo indica el método.
- c) El método empleado para medir las deflexiones fué el de recuperación de la deflexión, es de

cir, el pie de sonda de la viga se coloca entre las ruedas duales del vehículo, directamente bajo el eje trasero, sobre la huella de la rodada, moviendo lentamente el camión hasta -- unos 9.0 m. adelante y la lectura obtenida es el valor deseado.

- d) De los valores medidos en cada tramo de condiciones homogéneas, se obtiene una deflexión representativa para el mismo, a la que se le llama deflexión característica y cuyo valor se determina con la siguiente expresión:

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

donde:

- $\delta_c$  : Es la deflexión característica.  
 $\bar{X}$  : Es el promedio aritmético de todos los valores obtenidos en un tramo determinado.  
 s : Es la desviación estándar, que se calcula como se expresó en el capítulo IV.  
 f : Es un factor de corrección por temperatura de la capa asfáltica existente para el cual se necesita saber el espesor de ésta última. Este factor no se usa en México y se le considera igual a uno (1).  
 c : Factor de corrección por período crítico (c=1 para pruebas durante el período crítico y es el empleado en nuestro país en todas sus pruebas de deflexión por este método).

#### 6.3.1.1 DETERMINACION DE LA DEFLEXION CARACTERISTICA PARA CADA TRAMO.

- Tramo del Km. 14+000 al 15+560.

Los valores medidos fueron: 16.9, 9.84, -- 19.7, 12.2, 16.1, 8.27, 13.8, 12.2, 13.8, -- 8.27, 11.8, 6.3, 11.8, 13.8, 7.87, 14.2, -- 12.2, 18.1, 9.84 y 7.87, todos por  $10^{-3}$  en pulgadas.

aplicando la fórmula:

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n} = 12.24 \times 10^{-3} \text{ pulg.}$$

$$S = \sqrt{\frac{n (\sum x^2) - (\sum x)^2}{n (n - 1)}}$$

$$\sum x^2 = 3.22 \times 10^{-3} \text{ pulg.}$$

$$(\sum x)^2 = (244 \times 10^{-3} \text{ pulg.})^2 = 59.6 \times 10^{-3} \text{ pulg.}$$

$$S = \sqrt{\frac{20(3.22 \times 10^{-3}) - (59.6 \times 10^{-3})}{20(20-1)}} =$$

$$\sqrt{12.6 \times 10^{-6}} = 3.66 \times 10^{-3}$$

$$\int c = (\bar{X} + 2s) = 12.24 \times 10^{-3} + 2(3.66 \times 10^{-3}) = 19.57 \times 10^{-3} \text{ pulg.} = 0.497 \text{ mm.}$$

— Para los siguientes tramos se resumen los datos en la tabla 6.1.

### 6.3.2 CALIDAD Y ESPESORES DE LA ESTRUCTURA ACTUAL.

De acuerdo a pruebas destructivas realizadas en diferentes partes de la carretera, que consistieron en sondeos que comprenden hasta la capa sub-rasante, se llegó a que actualmente el pavimento está formado, entre los Kms. 14+000 a 32+000, por una carpeta asfáltica, una base asfáltica, y una sub-base; del Km. 32+000 al 41+000 el pavimento carece de sub-base.

K I L O M E T R A J E

DEFLEXIONES 10 - 3 Pulg.

15+560 al 17+420	17+420 al 19+900	19+900 al 21+700	21+700 al 25+000	25+000 al 29+000	29+000 al 33+400	33+400 al 35+740	35+740 al 38+020	38+020 al 41+000
9.92	7.87	8.27	6.30	5.91	3.94	5.94	10.2	10.1
9.84	9.84	20.10	10.20	7.84	8.27	9.84	3.94	10.20
9.84	3.84	20.50	9.84	7.87	2.36	2.36	11.80	8.27
13.78	11.80	18.10	6.30	11.80	3.94	23.60	9.84	8.27
15.75	6.30	12.20	20.10	9.84	3.94	13.80	11.80	12.20
9.84	16.10	8.27	12.20	5.91	19.70	10.60	5.91	8.66
15.75	4.33	8.27	8.27	1.97	12.20	3.94	18.10	3.94
8.27	8.27	12.20	8.66	7.87	16.10	5.91	18.10	16.10
7.87	7.87	18.10	5.91	3.94	12.20	5.91	7.87	12.20
15.75	9.84	16.10	16.10	3.94	4.33	9.84	3.94	14.20
17.72	10.70	12.20	10.20	8.27	11.80	7.87	18.10	18.10
8.27	12.20	10.20	12.20	15.70	7.87	9.84	11.80	9.84
24.02	9.84	11.80	12.20	11.80	7.87	9.84	8.27	24.00
19.69	14.20	16.10	16.10	9.84	5.91	7.87	8.27	8.66
18.10	14.20	8.27	11.40	1.97	7.87	7.87	11.80	12.20
9.84	7.87	12.20	7.87	3.94	7.87	11.80	3.94	8.27
8.27	9.84	8.27	8.27	7.87	9.84	7.87	6.30	10.20
19.69	16.10	16.10	24.00	3.94	7.87	9.84	7.87	10.20
18.11	14.20	10.20	12.20	7.87	9.84	7.87	11.80	3.94
18.11	6.30	6.30	8.27	5.91	3.54	6.69	8.27	11.80
24.02	24.40	6.30	8.27	5.91	7.87	3.94	9.84	5.91
	4.33	8.27	3.94	3.27	9.84	13.80	9.84	9.84
	8.27		11.80	3.94	3.94	7.87	1.97	6.30
	16.50		15.70	15.70	3.94	4.33	8.27	9.84
	10.20		3.94	15.70	7.87	6.30	8.27	8.27
	10.20		5.91	3.94	7.87	3.94	9.84	8.27
	7.87		5.91	3.94	3.94	7.87	5.91	3.94
	16.10		7.87	7.87	7.87	5.91		3.94
	6.13		15.70	7.87	1.97	5.91		7.87
	7.87		5.91	9.84	8.27			13.80
	8.27		5.91	9.84	5.91			11.80
	10.20		9.84	3.94	11.80			11.80
			7.87	7.87	7.46			7.87
			11.80	10.20	5.51			7.87
			19.70	10.20	11.40			
			9.84	3.94	3.94			
			3.84	5.91	15.70			
			14.20	3.94	3.94			
			19.70	7.87	9.84			
			12.20	7.87	3.54			
				9.84	5.91			
				9.84	5.91			
				14.20	1.97			
				9.84	3.94			
				7.87	3.94			
				3.94	11.80			
				1.97	3.94			
				7.87	7.87			
				1.97	7.87			
				7.87	3.94			
x:	13.90	10.85	12.20	10.80	7.52	7.34	8.45	10.1
s:	6.08	4.50	4.40	4.70	3.56	3.85	4.01	4.27
Σc:	26.10	19.88	21.12	20.20	14.60	15.00	17.60	18.70

TABLA 6.1.- CALCULO DE DEFLEXIONES CARACTERISTICAS.

Bajo el pavimento se encuentra la sub-rasante y a mayor profundidad las terracerías.

Según observaciones hechas en los sondeos y los ensayos realizados, las capas están constituidas como sigue:

a) Carpeta asfáltica.

Esta capa está constituida por una mezcla de arena-asfalto elaborada en caliente. Se trata de una arena fina con granulometría uniforme y el ligante empleado es cemento asfáltico.

Sobre esta capa se encuentra recién aplicado un riego de sello.

b) Base asfáltica.

Se construyó con el mismo tipo de material empleado en la carpeta.

c) Sub-base.

Está formada con una arena limosa de origen silicoso en el tramo donde ésta existe.

d) Sub-rasante.

Esta constituida por material arcillo-arenoso de alta plasticidad, probablemente producto de cortes en la misma zona.

e) Terracerías.

Están formadas con material procedente de cortes tal como gravas areno-arcillosas hasta arenas finas limosas.

Las características de los materiales encontrados se hallan en el anexo 6.1.

KILOMETRAJE	15+060	16+500	18+000	19+500	20+300	22+000	23+500	24+950	27+000	30+000
Muestra	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8	S-9	S-10	S-11
Numero	60	62	64	66	68	70	71	74	76	77
Tamaño de las partículas	1"	1"	1"		1 1/2"	1"	1"	No. 4	No. 4	1"
% de partículas mayores de 3"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% que pasa la malla 4	92	93	90	100	85	68	79	100	100	98
% que pasa la malla 40	21	88	71	74	59	59	68	91	91	81
% que pasa la malla 200	17	50	38	8	12	32	39	52	51	44
Límite líquido	22.39	29.1	25.0	30.3	26.4	31.6	30.3	32.8	32.0	26.4
Límite plástico	17.00	14.2	16.6	14.1	19.1	15.9	14.1	19.4	15.8	17.9
Índice plástico	5.39	14.9	8.9	16.2	7.3	15.7	16.2	13.4	16.2	8.5
Contracción lineal	1.1	7.0	4.3	8.0	3.0	7.4	8.0	6.5	7.5	5.0
Equivalente de arena	25	18.6	19.9	17.7	19.8	20.3	17.6	24.6	28.2	28.4
Peso volumétrico seco máximo, Porter	2018	2150	2154	1714	1988		1862	2008	2059	2030
Humedad óptima Porter	9.7	6.9	8.6	14.5	15		13.5	11.4	7.0	12.9
Valor relativo soporte estándar	30.9	14.6	28.4	10.5	20.3		13.8	11.4	14.0	15.5
% de expansión	0.330	1.300	0.959	2.900	0.140		0.48	0.57	0.40	0.42
Peso volumétrico seco suelto	1240	1443	1485	1347	1800	1423	1447	1412	1401	1351
Peso volumétrico seco máximo, Proctor										
Humedad óptima proctor										
V. R. S. Condiciones del lugar	18.7	16.4	19.0	12.0	15.0		8.4	17.0	7.2	17.5
95%										
Modificada 100%										
% de compactación con porter	85	84	89	99	100		88	88	90	84
Humedad natural	11.8	14.3	18.4	10.5	15.9	5.05	17.59	9.01	9.79	21.2
Espesor de la capa existente	13.5	30.0	29.0	30.0	30.0	30.0	25.0	25.0	30.0	25
Clasificación SAHCP	SM	CL	SC	SP-SC	SC	SC	SC	CL	CL	SC

Anexo 6.1.- Características de los materiales procedentes de la capa subrasante existente.

Kilometraje	34+000	36+500	39+960				
Muestra	S-12	S-13	S-14				
Numero	79	80	81				
Tamaño de las partículas	1"	P # 4	P # 4				
% de partículas mayores de 3 "	0						
% que pasa la malla 4	84	100	100				
% que pasa la malla 40	74	76	78				
% que pasa la malla 200	51	59	55				
Límite líquido	27.2	30.1	24.3				
Límite plástico	12.8	19.8	18.1				
Índice plástico	14.4	10.3	6.2				
Contracción lineal	6.5	6.5	3.0				
Equivalente de arena	29.4	30.5	19.5				
Peso volumétrico seco máximo, Porter	1996	1936	1815				
Humedad optima Porter	9.4	11.9	9.7				
Valor relativo soporte estándar	16.2	11.0	27.6				
% de expansión	0.380	0.550	0.270				
Peso volumétrico seco suelto	1496	1363	1381				
Peso volumétrico seco máximo, Proctor							
Humedad optima Proctor							
V. R. S. 90%							
Modificada Condiciones del lugar	20.0	17.5	12.0				
% de compactación	93	89	87				
Humedad natural	7.85	8.11	7.51				
Espesor de la capa existente	40.0	35.0	38.0				
Clasificación SAHOP	CL	CL	CL				

Anexo. 6.1.- Características de los materiales procedentes de la capa subrasante existente.

Km.	14+060	15+060	16+500	18+000	19+500	20+300
VRS (estándar)%	17.7	34.4	17.0	24.4	16.2	13.0
Expansión %	0.0	0.21	0.13	0.1	1.2	0.671
Valor cementante (kg/cm <sup>2</sup> )	6.9	7.7				
Límite líquido	20.93	21.32	27.8	24.0	24.0	32.6
Índice plástico	6.64	3.55	9.2	9.0	9.0	11.3
Equiv. de arena	39.0	16.0	18.5	21.3	16.7	18.6
Contracción lineal	1.3	29.0	3.3	4.2	4.2	5.0
Km.	22+000	23+500	24+950	27+000	30+000	
VRS (estándar)%		25.2	14.6	24.3	30.9	
Expansión		0.33	0.43	0.22	0.1	
Valor cementante (kg/cm <sup>2</sup> )						
Límite líquido	26.3	22.3	32.6	28.8	28.3	
Índice plástico	12.0	10.6	14.9	12.7	12.8	
Equiv. de arena	23.3	21.6	17.8	21.7	24.6	
Contracción lineal	5.5	5.0	7.0	16.0	6.0	

NOTA: En casi la totalidad de los sondeos, el material encontrado tuvo granulometrías - bastante alejadas de lo especificado para esta capa.

ANEXO 6.1.- CARACTERISTICAS DEL MATERIAL ENCONTRADO EN LA SUB-BASE.

Los espesores de las capas en centímetros, fueron:

KM	CARPETA	BASE	SUB-BASE	SUB-TOTAL	SUB-RASANTE	TOTAL
14+060	6.5	6.5	24	37.0	12.80	49.80
15+060	6.2	10.0	28	44.2	13.50	57.70
16+500	5.0	8.0	50	63.0	30.00	93.00
18+000	6.0	16.0	46	68.0	29.00	97.00
19+500	5.5	12.0	45	62.5	30.00	92.50
20+300	6.5	14.0	40	60.5	30.00	90.50
22+000	7.5	13.0	45	65.5	30.00	95.50
23+500	6.5	17.0	57	80.5	25.00	105.50
24+950	6.5	10.0	35	51.5	25.00	76.50
27+000	6.5	12.0	39	57.5	30.00	87.50
30+000	7.0	12.0	35	54.0	25.00	79.00
34+000	6.5	9.0	--	15.5	40.00	55.50
36+500	7.0	8.0	--	15.0	33.0	48.00
39+960	10.5	6.5	--	17.0	38.00	55.00

### 6.3.3 DRENAJE Y SUB-DRENAJE.

Se mencionó en capítulos anteriores la importancia que tienen estos conceptos por el hecho de que, -- siendo adecuados y suficientes, evitan los excesos de humedad en las terracerías y el pavimento, así como en los taludes en las zonas en corte.

En este ejemplo, se encontró que en una gran parte del camino, la sub-rasante tenía humedades por --- arriba de la óptima, o sea, había exceso de hume--- dad, lo cual en las zonas de corte se debe a la -- falta de sub-drenaje.

En las zonas en terraplén, el agua sube por capilaridad hasta afectar a la subrasante, cuando existe el agua en exceso o hay un tirante a los lados del terraplén. El exceso de humedad en la sub-rasante, reduce sus características de resistencia; superficialmente, el drenaje se encuentra en el siguiente estado:

Existen partes donde las deformaciones y la presencia de vegetación a los lados de la carretera, causan acumulamientos de agua que son perjudiciales y el problema se agudiza por la falta de pendiente adecuada en los acotamientos, así como de lavaderos para desalojar el agua que cae sobre la carretera cuando llueve.

#### 6.4 EVALUACION DEL TRANSITO.

Se determinó el tránsito promedio diario anual (T. P.D.A.) que circula por el tramo, llegándose a un valor de 7,300 vehículos en ambos sentidos al final del año 1981.

La tasa de incremento anual de los vehículos se es tima de 10% para todos los tipos de éstos que circulan por la carretera en estudio.

El período de diseño o edad de vida útil que se requiere para el pavimento es de 10 años, que es el lapso que se usa en México para carreteras de primer orden. Esto debido a que es visto que períodos de diseño mayores no son factibles económica y físicamente, y períodos menores requieren de esfuerzos en poco tiempo.

La composición del tránsito, es decir, el porcentaje de cada tipo de vehículo que circulará por la carretera, se estima como sigue:

$$\begin{array}{r}
 A: (56\%) \\
 \\
 B: (6\%)
 \end{array}
 \left\{
 \begin{array}{l}
 A_2 = 40\% \\
 A'_2 = 16\% \\
 B_2 = 6\%
 \end{array}
 \right.$$

$$C: (38\%) \left\{ \begin{array}{l} C_2 = 5\% \\ C_3 = 8\% \\ T_2-S_1 = 3\% \\ T_2-S_2 = 5\% \\ T_2-S_3 = 9\% \\ T_3-S_3 = 8\% \end{array} \right.$$

De acuerdo con la tasa de incremento anual adoptada se tendrán, para 1986, alrededor de 11,760 vehículos y para 1991, cerca de 18,950 vehículos que circulen diariamente en ambos sentidos por esta carretera.

Debido al alto volumen de tránsito que se observa, es necesario que se revise la capacidad de servicio de la carretera, que actualmente es de 2 carriles, en las condiciones actuales y futuras.

#### 6.4.1 CALCULO DE LA CAPACIDAD, VOLUMEN Y NIVEL DE SERVICIO.

Para llevar a cabo este ejemplo, se eligió la carretera Coatzacoalcos-Villahermosa, Tramo: Coatzacoalcos-Cárdenas, Sub-tramo: Nuevo Teapa-Río Tonalá, este subtramo está localizado entre los Km. - 14+000 a 41+000, con origen en Coatzacoalcos, Veracruz.

A).- Las características actuales de la carretera son:

- Un solo cuerpo
- Ancho de corona : 12.00 m.
- Ancho de carpeta: 8.00 m.
- Acotamientos : 2.00 m.

La topografía a lo largo del tramo se puede clasificar en dos partes:

- \* Zona de lomerío fuerte entre los kms. 14+000 y 37+000
- \* Zona de terreno plano entre los kms. 37+000 a 41+000

Se toma como representativa del tramo una zona de lomerío.

B).- Las características del tránsito, son:

- Tránsito promedio diario anual (T.P.D.A.), en ambos sentidos estimado para fines de 1981: 7,300 vehículos.
- La composición de tránsito, es:
  - . Automóviles (A): 56%
  - . Autobuses (B): 6%
  - . Camiones (C): 38%
- Para el cálculo del volumen horario de proyecto, intervienen varios factores, uno de ellos es la variación del volumen de tránsito en un camino cada mes, semana ó día. En la figura 6.3 se aprecia la variación - del volumen horario de proyecto en función del T.P.D.A., a diferentes horas del día. El volumen horario de proyecto que se se--leccione debe ser un valor basado en un análisis comparativo entre el servicio que desea proporcionarse y el costo. Para de--terminar el volumen horario de proyecto es válido usar una guía, ésta puede ser una - curva como la mostrada en la figura 6.4, - en la que se puede ver la variación de volúmenes de tránsito horario durante el año para diferentes caminos. De las figuras -- 6.3 y 6.4, se deduce que el volumen hora--rio para fines de proyecto se encuentra entre el 8% y el 16% del tránsito diario promedio anual, sin embargo, para obtener el óptimo es necesario hacer el balance de beneficios contra costos.

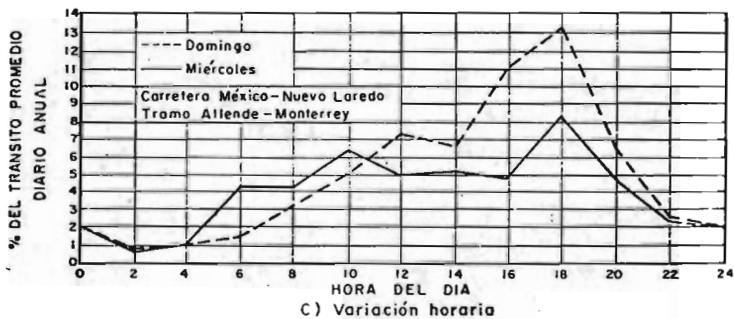


FIGURA 6.3 VARIACIONES DEL VOLUMEN DE TRANSITO

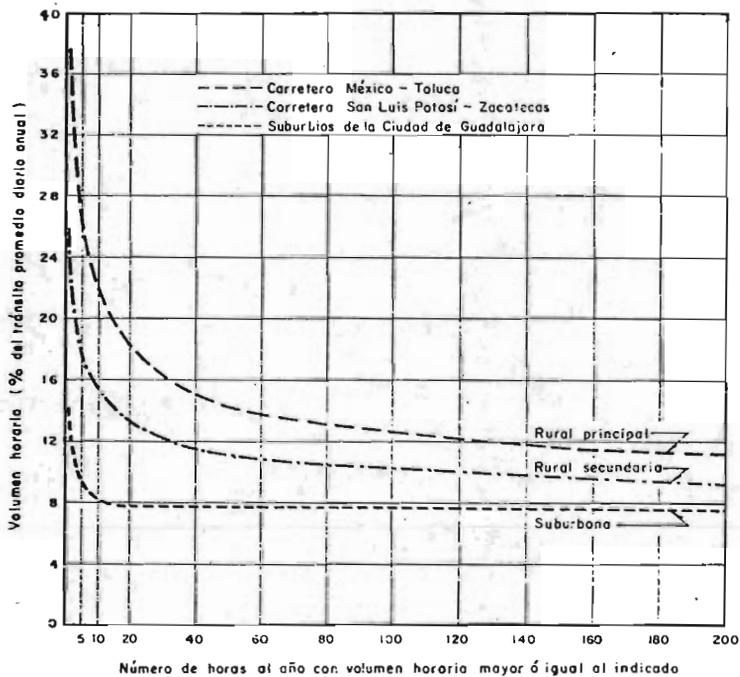


FIGURA 6.4 RELACIONES ENTRE LOS VOLUMENES HORARIOS MAS ALTOS DEL AÑO Y EL TRANSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL

Para éste ejemplo se tomará el 16% del T. P.D.A., ya que es una vía principal, como sigue:

Volumen horario de proyecto (vph) = 7,300 x 0.16 = 1,168 (en ambos sentidos). vph:- vehículos por hora.

C).- Cálculo del nivel de servicio al que opera actualmente.

Resumen de datos:

- .Velocidad de proyecto: 110 km/h.
- .Distancia de visibilidad de rebase disponible mayor de 500m.: 80%
- .Porcentaje de camiones: 38%
- .Porcentaje de autobuses: 6%
- .Volumen de demanda actual en un sentido: 584 vehículos por hora.

Solución:

Siguiendo lo antes escrito para el cálculo del nivel de servicio.

Suponemos un nivel de servicio "C".

$$VS_C = 2,000 N \frac{V}{c} WT.$$

donde:

$$N = 1$$

$$\frac{V}{c} = 0.68 \text{ (De la tabla 2.16).}$$

$W = 0.95$  (De la tabla 2.17 considerando - el tránsito en sentido opuesto a una distancia de 1.00m., a partir de la orilla - del carril).

T:  $E_T$  (Camiones) = 5

$E_B$  (Autobuses) = 4 (De la tabla 2.18 y -  
considerando terreno en lomerío).

$$T_C = 0.40$$

$T_B = 0.85$  (De la tabla 2.13 con los valores  
res de  $E_T$  y  $E_B$ ).

Sustituyendo:

$$V_{S_C} = 2,000 \times 1 \times 0.68 \times 0.95 \times 0.40 \times \text{---} \\ \times 0.85 = 439 \text{ vph (en un sentido)}$$

439 < 584 que es el volumen de demanda, por  
lo tanto, el nivel de servicio al que opera.  
la carretera es menor de "C".

Calculemos ahora la capacidad de servicio  
del camino, que es equivalente al volumen  
de servicio para el nivel E.

$$CS = 2,000 N \frac{V}{C} WT$$

donde:

$$N = 1$$

$$\frac{V}{C} = 1 \text{ (volumen = capacidad)}$$

$$W = 0.95 \text{ (De la tabla 2.17)}$$

T:  $E_T$  (camiones) = 5

$E_B$  (autobuses) = 4 (De la tabla 2.18 y  
considerando terreno en lomerío).

$$T_C = 0.40$$

$T_B = 0.85$  (De la tabla 2.13, con los valores de  $E_T$  y  $E_B$ ).

Sustituyendo:

$$CS = 2,000 \times 1 \times 1 \times 0.95 \times 0.40 \times 0.85 = 646 \text{ vph (en un sentido).}$$

$646 > 584$  que es el volumen de demanda, por lo tanto, el nivel de servicio buscado es mayor.

Supongamos un nivel de servicio "D":

$$VS_D = 2,000 N \frac{V}{c} WT$$

donde:

$$N = 1$$

$$\frac{V}{c} = 0.84 \text{ (De la tabla 2.16)}$$

$$W = 0.95 \text{ (De la tabla 2.17)}$$

$$T : E_T \text{ (camiones)} = 5$$

$$E_B \text{ (autobuses)} = 4 \text{ (De la tabla 2.18 -- y considerando terreno en lomerío).}$$

$$T_C = 0.40$$

$$T_B = 0.85 \text{ (De la tabla 2.13 con los valores de } E_T \text{ y } E_B \text{).}$$

Sustituyendo:

$$VS_D = 2,000 \times 1 \times 0.84 \times 0.95 \times 0.40 \times 0.85 = 543 \text{ (vph en un sentido).}$$

$543 < 584$  que es el volumen de demanda, lo -

cual nos conduce a que el camino opera a un nivel de servicio "D", pero tendiendo ya al "E", es decir, está a punto de llegar a su capacidad y saturarse.

Dado el alto índice de crecimiento de vehículos y el desarrollo industrial de la zona, se puede pensar en que la carretera -- pronto se saturará. Según la tasa de incremento anual, se tendrán 8,030 vehículos en ambos carriles al año de vida. El volumen de demanda será igual a  $8,030 \times 0.16 = 1,285$  v.p.h., en ambos sentidos, con lo que se llega a la capacidad de servicio del camino.

Reconstruir una carretera para que al año se vea saturada, no es una solución adecuada, y de aquí que haya la necesidad de proyectar una obra con un período de vida funcional más largo, en cuyo caso será indispensable una ampliación a mayor número de carriles.

D) Cálculo del nivel de servicio inicial y futuro.

Una vez tomada la decisión de ampliar la carretera, se puede valorar el nivel de servicio al que trabajará en las condiciones iniciales y al final de la vida útil -- para el que se le proyecte, en este ejemplo 10 años.

a) Determinación del nivel de servicio para las condiciones iniciales.

Datos:

- 2 Cuerpos separados hombro a -- hombro 8.0 m.
- Ancho de corona: 11.00 m.
- Ancho de carpeta: 7.30 m.
- Acotamientos exteriores 2.70 m.
- Acotamientos interiores: 1.00 m.
- Volumen de demanda en un sentido: 438 v.p.h.
- Velocidad de proyecto: 110 Km/h.
- Distancia de visibilidad de rebase disponible mayor de 500 m.: 80%
- Terreno en lomerío.
- Porcentaje de camiones: 38%
- Porcentaje de autobuses: 6%

Solución: Supongamos un nivel de servicio "B"

$$VS_B = 2,000 N \frac{V}{C} WT$$

donde:

$$N = 2$$

$$\frac{V}{C} = 0.5 \text{ (De la tabla 2.8)}$$

$$W = 1 \text{ (De la tabla 2.9)}$$

$$T: E_t \text{ (Camiones)} = 4$$

$$E_B \text{ (Autobuses)} = 3 \text{ (De la tabla 2.10)}$$

$$T_C = 0.47$$

$$T_B = 0.89 \text{ (De la tabla 2.13)}^A$$

Sustituyendo:

$$VS_B = 2,000 \times 2 \times 0.5 \times 1 \times 0.47 \\ \times 0.89 = 837 \text{ vph (en un sentido)}$$

837 > 584 que es el volumen de --  
demanda, por lo que el  
camino opera a un nivel  
de servicio mayor

Suponiendo un nivel de servicio "A":

$$VS_A = 2,000 N \frac{v}{c} WT$$

donde:

$$N = 2$$

$$\frac{v}{c} = 0.35 \text{ (De la tabla 2.8)}$$

$$W = 1 \text{ (De la tabla 2.9)}$$

$$T: E_T \text{ (Camiones)} = 4$$

$$E_B \text{ (Autobuses)} = 3 \text{ (De la tabla 2.10)}$$

$$T_c = 0.47$$

$$T_B = 0.89 \text{ (De la tabla 2.13)}$$

Sustituyendo:

$$VS_A = 2,000 \times 2 \times 0.35 \times 1 \times 0.47 \\ \times 0.89 = 586 \text{ v.p.h. (en un sentido).}$$

586  $\approx$  584 que es el volumen  
de demanda, por -  
lo tanto, el cami-  
no opera a un ni-

vel de servicio -  
"A" en su inicio.

- b) Cálculo del nivel de servicio para las condiciones futuras.

Las condiciones serán las mismas, excepto el volumen de demanda que crecerá anualmente. La tasa de incremento anual ( $t$ ), la estimaremos en 10%. El período de vida futura lo supondremos de 10 años, entonces el volumen de demanda en 10 años será de 1,516 v.p.h. en un sentido.

Solución: Supongamos un nivel de servicio "B"

$$VS_B = 2,000 N \frac{v}{c} WT$$

donde:

$$N = 2$$

$$\frac{v}{c} = 0.5 \text{ (De la tabla 2.8)}$$

$$W = 1 \text{ (De la tabla 2.9)}$$

$$T: T_C = 0.47$$

$$T_B = 0.89 \text{ (De las tablas 2.10 y 2.13)}$$

Sustituyendo:

$$\begin{aligned} VS_B &= 2,000 \times 2 \times 0.5 \times 1 \times 0.47 \times 0.89 \\ &= 837 \text{ v.p.h. (en un sentido),} \end{aligned}$$

$837 < 1,516$  que es el volumen de demanda, entonces el nivel de servicio al que opera el camino, es menor.

Suponiendo un nivel de servicio "C":

$$VS_C = 2,000 N \frac{V}{c} WT$$

donde:

$$N = 2$$

$$\frac{V}{c} = 0.75 \text{ F.H.M.D. (Factor de la hora de máxima demanda). (De la tabla-2.8)}$$

$$\text{F.H.M.D.} = \frac{\text{Volumen horario máxi-}}{12 \times \text{flujo máximo en 5}} \frac{\text{mo}}{\text{min.}}$$

Empleando un volumen horario máx-  
imo de 1,800 vehículos y un --  
flujo máximo en 5 minutos de --  
160 vehículos, queda.

$$\text{F.H.M.D.} = \frac{1,800}{12 \times 160} = 0.94$$

$$\frac{V}{c} = 0.75 \times 0.94 = 0.70$$

$$W = 1 \text{ (De la tabla 2.9)}$$

$$T: T_C = 0.47$$

$$T_B = 0.89 \text{ (De las tablas 2.10 y 2.13)}$$

Sustituyendo:

$$VS_C = 2,000 \times 2 \times 0.70 \times 1 \times 0.47 \times 0.89 \\ = 1,1176 \text{ V.P.H. (en un sentido).}$$

1,176  $\approx$  1,137 que es el volumen de deman-  
da, de donde se deduce que  
el camino opera a un nivel

de servicio "C" a los 10-  
años de operación

E).- Cálculo de la capacidad de servicio.

$$CS = 2,000 N \frac{V}{c} WT$$

donde:

$$N = 2$$

$$\frac{V}{c} = 1 \text{ (Volumen de demanda = capacidad)}$$

$$W = 1 \text{ (De la tabla 2.9)}$$

$$T: T_C = 0.47$$

$$T_B = 0.89 \text{ (De las tablas 2.10 y 2.13)}$$

Sustituyendo:

$$CS = 2,000 \times 2 \times 1 \times 1 \times 0.47 \times 0.89 = 1,673 \text{ v.p.h. (en un solo sentido)-}$$

Cuando el volumen de demanda sea de 1,673-  
vehículos por hora en un sentido, el cami-  
no habrá llegado al límite de su capacidad  
esto es, cuando el T.P.D.A sea de 20,913 -  
vehículos en ambos sentidos, lo cual ocu-  
rrirá en 11 años, aproximadamente.

## 6.5 PROYECTO DE LA SECCION ESTRUCTURAL.

Vista la necesidad de construir una carretera con 4 carri-  
les de circulación, el paso siguiente es obtener una sec-  
ción estructural del camino adecuada a las característi-  
cas del tránsito que circule por el mismo y del terreno -  
natural. Lo más adecuado económicamente, es aprovechar el  
cuerpo actual y construir uno adyacente, entonces el proyec

to tendrá que abarcar por un lado, la reconstrucción -- del pavimento de la estructura actual, y por el otro la do, la construcción de una estructura nueva.

Primero veremos el caso de refuerzo de la sección actual utilizando el método de deflexiones del Instituto de Asfaltos de Norteamérica y enseguida veremos la sección estructural requerida de acuerdo a las características de resistencia de las capas de apoyo con base en los métodos de diseño del mismo Instituto de Asfaltos, el Instituto de Ingeniería de la UNAM y la tecnología - Porter Modificada que se pueden usar para determinar la super-estructura sobre el cuerpo actual y la estructura del nuevo cuerpo.

#### 6.5.1 DETERMINACION DEL ESPESOR DE REFUERZO POR MEDIO - DEL ANALISIS DE DEFLEXIONES.

Para obtener el espesor requerido de refuerzo con el método del Instituto de Asfaltos se requieren dos datos: La deflexión característica o representativa de cada tramo y el número de tránsito de diseño (DTN) mencionado con anterioridad.

Se tienen ya las deflexiones características de cada tramo, entonces lo único que hace falta es conocer el DTN.

Para el efecto se puede emplear la gráfica de la figura 4.9, sin embargo para que sea más ilustrativo, a continuación de desglosa el ejemplo:

- a) Se determina el tránsito promedio diario anual (TPDA) en ambas direcciones en el año base, es to es, el año del que se está partiendo, en este caso resultó de 7,300 vehículos. Este es

el tránsito diario inicial.

- b) En base a la composición del tránsito, se obtiene el porcentaje de vehículos pesados que circulan en ambas direcciones, considerándose en este porcentaje los autobuses y camiones pesados. En este problema se tienen 6% de autobuses y 38% de camiones pesados, lo que hace un total de 44%.
- c) Según el número de carriles de la carretera, se determina el porcentaje del T.P.D.A. que se considera va a circular sobre el carril de diseño, dado que se va a ampliar la carretera a 4 carriles, se toma un valor de 45% sobre el carril de proyecto, apoyándose en la tabla dada para este fin por el Instituto de Ingeniería de la UNAM.
- d) Se multiplica el tránsito diario inicial por el porcentaje de vehículos pesados y por el de tránsito que circula en el carril de diseño --  $7,300 \times 0.44 \times 0.45 = 1,446$ , que es el número de camiones pesados en el carril de diseño.
- e) El paso siguiente es obtener el promedio aproximado del peso de los camiones pesados, como sigue:
- Se multiplica el tránsito diario inicial por el porcentaje de cada tipo de vehículo, obteniendo de esta manera el número de vehículos de cada tipo. Este número se multiplica por el peso de cada vehículo que le corresponda y sumándolos se ha calculado el peso total de los vehículos considerados, que son únicamente los pesados --

(autobuses y camiones).

Luego se calcula el número de vehículos pesados en ambas direcciones multiplicando el tránsito diario inicial por el porcentaje de vehículos pesados en ambas direcciones.

Por último se divide el peso total entre el número de camiones pesados en ambas direcciones, y el resultado es el valor buscado.

El porcentaje de cada tipo de vehículos está dado en la composición del tránsito y el peso de los vehículos en la tabla 2.2

7,300	x	0.06	=	438	
"	x	0.05	=	365	
"	x	0.08	=	584	
"	x	0.03	=	219	No. de vehículos de cada
"	x	0.05	=	365	tipo.
"	x	0.09	=	657	
"	x	0.08	=	584	

438	x	15.5	Ton/Veh.	=	6,789
365	x	15.5	"	=	5,658
584	x	23.5	"	=	13,724
219	x	25.5	"	=	5,585
365	x	33.5	"	=	12,228
657	x	41.5	"	=	27,266
584	x	46.0	"	=	<u>26,864</u>

98,114 Ton. (Peso total -  
de los vehículos consi-  
derados).

$7,300 \times 0.44 = 3,212$  Veh. (No. de camiones pesados en ambas direcciones).

El promedio aproximado del peso de los camiones pesados es:

$$\frac{98,114}{3,212} = 30.55 \text{ Ton/Veh.}$$

$$= 67.35 \text{ Kips/Veh.}$$

- f) Con el valor del promedio aproximado del peso de los camiones pesados, el cual se tomó de 60 Kips, y el número de camiones pesados en el carril de diseño se entra al nomograma de la fig. 4.12, trazando una recta entre los puntos localizados con estos valores y señalando un punto en la intersección con la línea pivote. Luego, con el valor de la carga límite en eje sencillo, que en nuestro país es de 10 Ton., se localiza otro punto, mismo que se une con el punto de la línea pivote con una recta, prolongando ésta y cruzando la línea del ITN (Número inicial de tráfico), obteniendo su valor.

En el ejemplo el ITN es igual a 4,200 vehículos.

- g) Por último, este valor (el ITN), se corrige con un factor que es función del período de diseño y la tasa de crecimiento anual que se obtiene de la tabla 4.3. El factor es igual a 0.8 dado que el período considerado es de 10 años y la tasa de 10%.

Si el ITN fuera mayor a 10, se tendría que corregir con ayuda de la fig. 4.11.

Se multiplica el ITN por el factor de corrección y se obtiene el DTN.

$$\text{DTN} = \text{ITN} \times \text{Factor de corrección}$$

$$\text{DTN} = 4,200 \times 0.80 = 3,360 \text{ veh\u00edculos}$$

=====

Con los valores de la deflexi\u00f3n caracter\u00edstica y el DTN (n\u00famero de tr\u00e1nsito para dise\u00f1o), se entra a la gr\u00e1fica de la fig. 4.19 y se obtiene el espesor necesario de refuerzo en concreto asf\u00e1ltico.- Para los tramos seleccionados, el refuerzo quedar\u00eda como sigue:

KM	Espesor de Refuerzo Requerido (cm. de concreto asf\u00e1ltico).
15+560	
a	5.0
17+420	
17+420	
a	0.0
19+900	
19+900	
a	0.0
21+700	
21+700	
a	0.0
25+000	
25+000	
a	0.0
29+000	

Continúa:

29+000	
a	0.0
33+400	
33+400	
a	0.0
35+740	
35+740	
a	0.0
38+020	
38+020	
a	0.0
41+000	

y según la tabla anterior, el pavimento no necesita refuerzo alguno casi en su totalidad, - lo que coincide con la evaluación superficial del tramo, puesto que según esto, la carretera sólo tiene agrietamientos ligeros, pero su calificación actual varía entre 2.5 y 3.1, siendo aceptable el pavimento solo en los primeros 10 Km. La razón de esto, es que el pavimento - tiene deformaciones transversales y longitudinales ligeras, así como baches abiertos y tapa dos que probablemente sean el reflejo de una - estructura fatigada por la repetición de cargas que son los vehículos pesados. A este respecto, ya se llegó a que la carretera necesita proporcionar un nivel de servicio mejor, lo -- que se hará con la ampliación a 4 carriles, pe ro para que la obra sea útil y funcional en un

período de vida razonable, en el diseño de la estructura es necesario tomar en cuenta el --- gran crecimiento que se espera tanto en número como en peso de vehículos.

El paso siguiente es diseñar la estructura del cuerpo nuevo y revisar la estructura del cuerpo actual en base al tránsito actual y futuro, así como a las características de resistencia- (valor relativo de soporte) de los materiales- con que se construirá el nuevo cuerpo y de los materiales con que se construyó el existente, - además de las del terreno natural o de cimentación.

#### 6.5.2 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA EN FUNCION DE LA RESISTEN CIA DE LAS CAPAS QUE LA INTEGRAN.

Anteriormente se hizo referencia al diseño de estructuras nuevas, en base a la resistencia (VRS)- de las capas que las van a formar, pero también - se puede revisar una estructura existente con este mismo procedimiento.

Existen varios métodos para realizar lo anterior, pero aquí solo se hará referencia a tres con el -- fin de unificar criterios: El del Instituto de -- Ingeniería de la UNAM, el del Instituto de Asfaltos de Norteamérica y la Tecnología Porter Modifi cada.

##### 6.5.2.1 METODO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA UNAM.

Son los parámetros en los que hay que ba sarse: el tránsito y la resistencia de --

los diferentes materiales que integran la Sección Estructural.

Veamos primero el diseño de una estructura nueva;

A) Estructura Nueva.

Primero se estima el tránsito inicial-- así como su distribución, misma que ya fué dada en la evaluación del tránsito, en el año base, o sea, a partir -- del año en que empieza a correr la vida útil de la obra.

Con estos datos se hace uso de la forma de la figura 4.4 para calcular el número de ejes sencillos equivalentes-- igual a 8.2 Ton. Esta forma tiene ya -- los coeficientes de daño para los tipos de vehículos más usuales en nuestro país, pero esto no quiere decir -- que no haya que considerar otro tipo -- de vehículos con características diferentes, lo cual se hará con un análisis detallado del tránsito.

Por otra parte, en el ejemplo se están usando los coeficientes de daño para -- caminos tipo "A", puesto que es la red básica nacional la que se quiere analizar. Para otro tipo de camino, hay que seleccionar los factores de daño adecuados.

Una vez que se tiene el tránsito y su composición, se calcula el número de --

ejes equivalentes de 8.2 Ton. en el -- año base de acuerdo a la forma mencionada para este efecto. (fig. 4.4).

En la columna 1 se anota el número de vehículos de cada tipo en ambos sentidos, que se obtiene multiplicando el T.P.D.A por el porcentaje de cada tipo de vehículo.

Para calcular los datos de la columna-2, se multiplican los valores de la columna 1 por el porcentaje del T.P.D.A. que se considera se va a concentrar sobre el carril de diseño, en este caso -45%. Esto se puede hacer con ayuda de la tabla que viene en el ángulo inferior izquierdo de la forma. Los valores obtenidos nos dan el número de vehículos sobre el carril de diseño y sumados nos dan el total del número de -vehículos sobre el carril de diseño en el año base. La manera de calcular la suma de ejes equivalentes de 8.2 Ton., que ese tránsito causa para diferentes profundidades es multiplicando los coeficientes de daño, también a diferentes profundidades, por el número de vehículos que los causan, por ejemplo si se quiere calcular el número de ejes -equivalentes de 8.2 Ton. de los automóviles en la superficie, se multiplica el número de automóviles en el carril de diseño por su factor de daño a la -profundidad cero ( $z=0$ ), y de la misma-

forma para los valores restantes. Entonces para calcular los ejes equivalentes de la columna 7, se multiplican los de la columna 2 por la columna 3; para obtener los de la 8, la 2 por la 4; para los de la columna 9, los de la 2 por la 5 y para los de la columna 10, los de la 2 por los de la 6. Sumando los resultados de cada columna, se obtiene el número de ejes equivalentes de 8.2 Ton ( $\Sigma L$ ), para diferentes profundidades ( $z=0$  cm., columna 7;  $z = 15$  cm., columna 8;  $z = 30$  cm., columna 9 y  $z = 60$  cm., columna 10), en el año de inicio (base).

La manera de obtener el número de ejes equivalentes de 8.2 Ton., al término del período que se considera en el diseño, es haciendo intervenir el período (en este caso 10 años) y la tasa de crecimiento anual (para este ejemplo 10%), y con ellos entrar a la gráfica de la fig. 4.2 o usar la expresión --  $C_T = 365 \left[ \frac{(1+r)^n - 1}{r} \right]$  para calcular el coeficiente de acumulación del tránsito, mismo que se multiplicará por los ejes equivalentes de 8.2 Ton. en el -- inicio, para obtener los ejes equivalentes al final del período de diseño.

En este ejemplo:

$$C_T = 365 \left[ \frac{(1+r)^n - 1}{r} \right] = 365 \left[ \frac{(1+0.1)^{10} - 1}{0.1} \right]$$

$$= 5,817.16$$

$r$  = tasa de crecimiento anual = 10%

$n$  = período de diseño = 10 años.

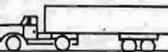
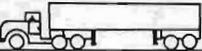
Los ejes equivalentes al final del período de diseño serán: para  $z = 0$  cm.,  $\Sigma L = 3.4 \times 10^7$ ; para  $z = 15$  cm.,  $\Sigma L = 3.2 \times 10^7$ ; para  $z = 30$  cm.,  $\Sigma L = 3.2 \times 10^7$  y para  $z = 60$  cm.,  $\Sigma L = 3.8 \times 10^7$ .

El procedimiento anterior se resume en la fig. 6.5.

Este método propone usar los ejes equivalentes en  $z = 0$  cm., para la carpeta y los de  $z = 30$  cm., para las capas -- restantes. A este respecto se hace notar que en las carreteras de la red básica nacional se tienen tránsitos fuertes que requieren de espesores fuertes de pavimento; entonces las terracerías (suelo de apoyo) suelen quedar a profundidades de 60 cm. o mayores, por lo que se propone que se usen los ejes equivalentes en  $z = 60$  cm., para diseñar estructuras sobre ellas. Para la sub-base y base se propone usar ejes equivalentes en  $z = 30$  cm., y para carpeta no hay inconveniente en usar lo que fija el método.

Una vez determinado el número de ejes equivalentes de 8.2 Ton. al final del

CARRETERA COATZACOALCOS- VILLAHERMOSA TRAMO: NUEVO TEAPA - RIO TONALA  
 VDPA (1981) 7,300 COMPOSICION: A<sub>2</sub> 40% A'<sub>2</sub> 16% B<sub>2</sub> 6% C<sub>2</sub> 5% C<sub>3</sub> 8% T<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> 3% T<sub>2</sub>-S<sub>2</sub> 5% T<sub>3</sub>-S<sub>2</sub> 9% T<sub>3</sub>-S<sub>3</sub> 8%

TIPO DE VEHICULO	Nº DE VEHICULOS EN AMBOS LADOS	Nº DE VEHICULOS EN EL CARRIL DE PROJ.	COEFICIENTE DE DAÑO POR TRANSITO				NUMERO DE EJES EQUIVALENTES DE 8.2 TONELADAS				
			Z: 0 cms.	Z: 15 cms.	Z: 30 cms.	Z: 60 cms.	Z: 0 cms.	Z: 15 cms.	Z: 30 cms.	Z: 60 cms.	
A <sub>2</sub> 	(1) 2,920	(2) 1,314	(3) 0.004	(4) 0.000	(5) 0.000	(6) 0.000	(7) 5.26	(8)	(9)	(10)	
A' <sub>2</sub> 	1,168	526	0.536	0.064	0.023	0.015	281.4	33.66	12.10	7.89	
B <sub>2</sub> 	438	197	2.000	1.890	2.457	2.939	394.00	372.33	484.08	578.98	
C <sub>2</sub> 	365	164	2.000	1.890	2.457	2.939	328.00	309.96	402.95	482.00	
C <sub>3</sub> 	584	263	3.000	2.817	2.457	2.940	789.00	740.87	646.19	773.22	
T <sub>2</sub> -S <sub>1</sub> 	219	99	3.000	3.431	4.747	5.759	297.00	339.67	469.95	570.14	
T <sub>2</sub> -S <sub>2</sub> 	365	164	4.000	4.358	4.747	5.760	656.00	714.71	778.51	944.64	
T <sub>3</sub> -S <sub>2</sub> 	657	296	5.000	5.285	4.747	5.761	1480.00	1564.36	1405.11	1705.26	
T <sub>3</sub> -S <sub>3</sub> 	584	263	6.000	5.239	4.746	5.758	1578.00	1377.86	1248.20	1614.35	
<b>TOTAL</b>		<b>3,286</b>	T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> , T <sub>3</sub> : Tránsito equivalente inicial:				<b>5809.19</b>	<b>7453.42</b>	<b>5447.04</b>	<b>6576.48</b>	

Nº de carriles en ambas direcciones	Coefficiente de distribución para el carril de proy.
2	50
4	40-50
6 o mas	30-40

Coef. de distribución por carril 45%

Años de servicio, n = 10 Tasa de crecimiento anual, t = 10 %  
 Coeficiente de acumulación del tránsito, C = 5,817.16  
 Tránsito acumulado:  $\sum L_n = CT_1 \cdot 3.4 \times 10^7$   $\sum L_n = CT_2 \cdot 3.2 \times 10^7$   
 $\sum L_n = CT_3 \cdot 3.2 \times 10^7$   $\sum L_n = CT_4 \cdot 3.8 \times 10^7$

FIG. 6.5

TABLA PARA CALCULO DEL TRANSITO ACUMULADO EN FUNCION DE EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 8.2 TONELADAS.

período considerado, lo que procede es evaluar la resistencia de diseño, --- (VRS).

En el caso de la estructura nueva, el V.R.S. de diseño se calcula tomando en cuenta las características del material con que se construirá el cuerpo del terraplén y la capa sub-rasante, así como también las del terreno natural.

En el anexo 6.2 se presentan las características de los materiales encontrados en los bancos. De acuerdo con experiencias en el lugar, se encontró que el V.R.S. representativo del cuerpo del terraplén compactado al 90% era de 5%, y el del terreno natural, 3%

El V.R.S. representativo de la capa sub-rasante compactada al 95%, se obtiene como sigue:

Se toman los valores de resistencia de los bancos del Km. 16+080 sobre el trazo, "La Selva", del Km. 27+000 sobre el trazo y "Agua Dulce", dejando fuera el banco "El Paralelo", porque su expansión es mayor a la permitida y sólo podrá emplearse en el cuerpo del terraplén.

Usando la expresión del Instituto de Ingeniería de la UNAM para calcular el V.R.S. de diseño:

$$V.R.S. \substack{z} = \overline{VRS} (1-cv) = \overline{VRS} (1-.842V).$$

$$\overline{VRS} = \frac{7.5+14.1+10.7+22.5+12.2+9.0+10.9+14.9+12.4+16.7+14.1}{11}$$

= 13.18 (Promedio de los valores).

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}}$$

Donde:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n} \quad (\text{desviación estándar})$$

$x_i$	$\bar{x}$	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$
7.5	13.18	-5.68	32.26
14.1	"	0.92	0.85
10.7	"	-2.48	6.15
22.5	"	9.32	86.86
12.2	"	-0.98	0.96
9.0	"	-4.18	17.47
10.9	"	-2.28	5.20
14.9	"	1.72	2.96
12.4	"	-0.78	0.61
16.7	"	3.52	12.39
14.1	"	0.92	0.85
			$\Sigma = 116.56$

$$\sigma = \sqrt{\frac{116.56}{11}} = 3.89$$

$$v = \frac{3.89}{13.18} = 0.30$$

entonces:

$$V.R.S_z = 13.18 (1 - 0.842 \times 0.30) = 9.85\%$$

que es la resistencia representativa de la capa subrasante.

BANCOS	BANCO "S/N"			BANCO "LA SELVA"			
KILOMETRAJE	Km	16+080	50m Iza.	Km	20+400	70m	Der.
Muestra	51	52	53	54	55	56	57
Número	S-8	S-9	S-10	S-44	S-5	S-6	S-7
Tamaño de las partículas	P#1/4	P # 4	P#1/4	P # 4	P # 4	P # 4	P # 4
% de partículas mayores de 3"	0	0	0	0	0	0	0
% que pasa la malla 4	82	100	86	100	100	100	100
% que pasa la malla 40	55	60	52	31	87	98	29
% que pasa la malla 200 .	43	37	38	11	23	6	7
Límite líquido	25.6	24.4	23.8	25.0	26.7	30.3	30.3
Límite plástico	15.5	19.6	15.8	13.1	12.3	20.6	14.5
Índice plástico	10.1	5.4	8.0	11.9	14.4	9.7	15.8
Contracción lineal	5.0	3.0	4.0	6.2	6.5	6.7	7.0
Equivalente de arena	17.5	25.8	22.1	19.9	23.3	17.8	20.3
Peso volumétrico seco máxi mo, Porter	2140	2077	2102	2051	2247	1923	1969
Humedad optima Porter	6.5	8.5	8.5	10.6	9.5	12.9	9.8
Valor relativo soporte es- tandar	15.5	49.6	22.7	19.5	21.9	15.0	22.7
% de expansión	1.0	0.002	0.600	0.320	0.680	1.800	0.730
Peso volumétrico seco suel- to	1542	1537	1979	1702	1519	1458	1660
Peso volumétrico seco máxi mo, Proctor							
Humedad optima proctor							
V. R. S. 90%							
95%	7.5	14.1	10.7	22.5	12.2	9.0	10.9
Modificada 100%	12.2	21.9	18.7	39.0	20.0	14.0	18.7
% de compactación							
Humedad natural							
Espesor requerido							
Clasificación SAHOP	SC	SC	SC	SP-SC	SC	SP-SC	SP-SC

ANEXO 6.2.- CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES PROCEDENTES DE LOS BANCOS.

TABLA

BANCO	BANCO "S/N"				BCC. "AGUA DULCE"		BCC. "EL PARALELO"	
Kilometraje	km 27+000 60m Der.				km 34+860 40m Der.		km 37+200 1500m Der.	
Muestra	58	59	60	61	62	63	64	65
Número	S-1	S-2	S-3	S-4	S-1y2	S-3y4	S-1y2	S-2y3
Tamaño de las partículas	P # 4	P # 4	P # 4	P # 4	P # 4	P # 4	P # 4	P # 4
% de partículas mayores de 3"	0	0	0	0	0	0	0	0
% que pasa la malla 4	100	100	100	100	100	100	100	100
% que pasa la malla 40	83	87	98	39	88	70	77	51
% que pasa la malla 200	27	8	7	5	34	30	55	29
Límite líquido	23.8	26.7	30.3	30.3	20.7	30.07	45.67	37.21
Límite plástico	15.8	12.3	20.6	14.5	22.22	N.P.	29.53	22.83
Índice plástico	8.0	14.4	9.7	15.8	7.85		16.09	14.38
Contracción lineal	4.0	6.5	6.7	7.0	2.8	0.5	10.0	14.38
Equivalente de arena	22.1	23.3	17.8	20.3	9.8	34.8	1.6	14.8
Peso volumétrico seco máximo, Porter	2102	2247	1924	1971	19.38	19.94	19.09	21.56
Humedad óptima Porter	8.9	10.1	13.1	9.6	13.6	8.3	16.5	11.62
Valor relativo soporte estándar	49.7	39.4	37.6	41.3	14.7	30.1	19.3	36.8
% de expansión	0.002	0.060	0.320	0.040	1.140	0.130	2.92	2.0
Peso volumétrico seco suelto	1978	1521	1458	1662	1094	1335	1095	1170
Peso volumétrico seco máximo, Proctor								
Humedad óptima Proctor								
V. R. S. 90%								
95%	14.9	12.4	16.7	14.1				
Modificada 100%	24.8	23.1	21.3	26.8				
% de compactación								
Humedad Natural								
Espesor requerido								
Clasificación SAHOP	SP-SC	SP-SC	SP-SC	SP-SM	SC	SM	ML	SC

ANEXO 6.2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES PROCEDENTES DE LOS BANCOS.

Ya que se tienen la suma de ejes equivalentes de 8.2 Ton. y la resistencia de las -- capas de apoyo, se entra a las gráficas pa -- ra calcular el espesor necesario de refuer -- zo eligiendo la correspondiente a algún -- nivel de confianza determinado; como se re -- cordará, los niveles de confianza van de - 0.6 a 0.9, siendo este último el más con -- servador y el que eligiremos para este ca -- pítulo.

Con el V.R.S. del terreno natural (3%) y -- la suma de ejes ( $\Sigma L=3.8 \times 10^7$ ) se entra a -- la fig. 4.8 y se obtiene un espesor neces -- rio de 103 cm. sobre el terreno natural.

Con el valor de resistencia soporte del -- cuerpo del terraplén (5%) se entra en la -- fig. citada, hasta cruzar la curva de trán -- sito equivalente de ejes sencillos ( $\Sigma L$ ) -- de interés, para enseguida observar el es -- pesor requerido en esas condiciones. (El --  $\Sigma L$  considerado a  $z = 60$  cm., es  $3.8 \times 10^7$ ). El espesor resultará ser de 79 cm., ne -- cesarios sobre el cuerpo del terraplén.

Del análisis anterior, se ve que será nece -- sario, siempre que la estructura se colo -- que sobre el terreno natural, una capa in -- ferior a la sub-rasante de  $103 - 79 = 24$  -- cm., construída con material propio para -- cuerpo del terraplén compactado al 90%. -- Por razones de seguridad y facilidad de -- construcción, se decide dejarla para todo-

el tramo. Con el fin de evitar al mínimo deformaciones perjudiciales en la estructura del pavimento, esa capa se construye con material propio para emplearse en la capa sub-rasante, compactado al 95%, a esta capa se le llama subyacente.

El espesor que se necesita sobre la capa subyacente se obtiene con el V.R.S. = 9.8% (al 95% de compactación) y  $\sum L = 3.8 \times 10^7$  (z = 60 cm.) y es de 55 cm.

El espesor de la capa subyacente será la diferencia del espesor requerido sobre la misma y de la requisición sobre el terreno natural.

$$103 - 55 = 48 \text{ cm.} \approx 50 \text{ cm.}$$

De estos 50 cm., se puede dejar la capa subyacente de 20 cm., compactada al 95% y los 30 cm. superiores pueden funcionar como capa sub-rasante compactando el material al 100%.

El V.R.S. de diseño de la capa sub-rasante será, calculado como se ejemplificó anteriormente:

$$\text{VRS}_z = 15.8\%$$

Con  $\sum L = 3.8 \times 10^7$ , y el valor anterior, se ve que el espesor requerido sobre la capa sub-rasante es de 47 cm.

De acuerdo con las limitaciones del método, para la sub-base se toma un V.R.S. --

máximo de 20% y el tránsito equivalente - de ejes sencillos en  $z = 30$  cm. ( $\Sigma L = 3.2 \times 10^7$ ), llegándose a un espesor de 36 cm. necesarios sobre la sub-base. El espesor de ésta última será  $55 - 47 = 8$  cm., pero por requerimientos de construcción se deja 10 cm.

Si la carpeta de concreto asfáltico se deja de 10 cm., el espesor de la base será de 16 cm.

La estructura queda:

CAPA	ESPESOR REQUERIDO SOBRE LA CAPA (cm.)	ESPESOR PROPUESTO (cm.)	ESPESOR ACUMULADO (cm.)
Carpeta	-----	10	20 (grava equiv.)
Base	-----	16	36
Sub-base	36	10	46
Sub-rasante	47	30	76
Subyacente	55	20	96
Terreno natural	103		

De la anterior relación, se observa un déficit de  $103 - 96 = 7$  cm. de grava equivalente que hacen falta a la estructura para que cumpla con lo requerido sobre el terreno de cimentación.

Estos espesores están dados en términos de grava equivalente.

Revisando con otra estructuración, queda:

CAPA	ESPESOR REQUERIDO SOBRE LA CAPA (cm.)	ESPESOR PROPUESTO (cm.)	ESPESOR ACUMULADO (cm.)
Carpeta	-----	10	20 (grava equiv.)
Base	-----	20	40
Sub-base	36	15	55
Sub-rasante	47	30	85
Subyacente	55	20	105
Terreno natural	103		

Con lo que se cumple con las requisiciones, por lo tanto la estructura queda:

CAPA	ESPESOR (cm.)
Carpeta	10
Base	20
Sub-base	15
Sub-rasante	30
Subyacente	20

El cálculo anterior estuvo relacionado al diseño de estructuras nuevas.

- B) Revisión de la estructura existente.  
Puesto que se piensa utilizar la estructura actual del pavimento, lo más conveniente es ver si no necesita refuerzo - en función de la resistencia de sus capas. Para hacerlo por este método, lo - único que cambia son las característi--cas de resistencia de las capas de apo--yo, puesto que éstas serán las de la estructura actual.

El tránsito se considera igual que como en el caso de una estructura nueva.

Lo que cambia, es que se usa la resis--tencia del cuerpo del terraplén y la capa sub-rasante actuales, se determina - una estructura necesaria y se ve cuanto hace falta para cumplir con ella.

La evaluación de la resistencia de la - capa sub-rasante se hace tomando en --- cuenta las condiciones del lugar y de - acuerdo con los índices de resistencia- que se obtuvieron de las muestras al na

tural que se extrajeron en los diferentes sondeos, la resistencia es:

$$VRS_z = \overline{VRS} (1 - 0.842 V) = 15.06 (1 - 0.842 \times 0.28) = 11.5\%$$

Con el tránsito equivalente de ejes de -- 8.2 Ton., a  $z = 30$  cm., que es de  $3.2 \times 10^7$ , se entra a la gráfica de la figura 4.8 y se determina el espesor requerido, el cual es de 48 cm. de grava equivalente.

La estructura actual más débil de pavimento en el tramo donde no existe sub-base tiene 15 cm. de espesor, suma de una carpeta de 7 cm. (14 cm. de grava equivalente) y una base asfáltica de 8 cm., (14 cm. de grava equivalente), lo que hace un espesor en grava equivalente de 28 cm., esto si el material fuera nuevo, pero no es así, el déficit es de 20 cm.

La estructura actual más débil en el tramo donde existe sub-base, tiene 37 cm. de espesor, pero está formada de una carpeta de 6.5 cm., una base asfáltica de 6.5 cm., y una sub-base de 24 cm., lo que hace un total de 48 cm. aproximadamente de grava equivalente, dándole factores de equivalencia de 2 a la carpeta y de 1.8 a la base. Pero lo anterior es para el caso de materiales nuevos y con características de calidad y resistencia dentro de lo especificado para esas capas, y el material que las forma no es de buena calidad.

El material que constituye al pavimento, además de lo anterior, ha visto sus características decrementadas por la repetición de cargas que ha sufrido, y si a esto le aumentamos que la sub-base no tiene características apropiadas más que para sub-rasante, de acuerdo a los datos del anexo 6.1, con un V.R.S. de 15.7% (similar al de capa sub-rasante), la estructura queda de  $37 - 24 = 13$  cm., siendo 6.5 cm. de carpeta (13 cm. de grava equivalente) y 6.5 cm. de base asfáltica (11.7 cm. de grava equivalente), lo que hace un total de 24.7 cm. por lo que existe un faltante de 23 cm.

Como el material de la carpeta y base asfáltica, no cumple con las características requeridas para estas capas, conviene relevarlas de esta función aprovechando el material en la construcción de una capa sub-rasante, construyendo el pavimento requerido sobre ella (48 cm. de grava equivalente). El espesor mínimo de la capa sub-rasante es de 30 cm.

El espesor necesario sobre la capa de sub base (tomando un V.R.S. de 20% y  $\sum L = 3.2 \times 10^7$  a  $z = 30$  cm.), sería de 36 cm. y entonces el grosor de la sub-base resulta de  $48 - 36 = 12$  cm.

Adoptando una carpeta de concreto asfáltico de 10 cm. (20 cm. de grava equivalente) la base queda de 16 cm.

Revisando la estructura:

CAPA	ESPESOR REQUE RIDO SOBRE LA CAPA (cm.)	ESPESOR PROPUESTO (cm.)	ESPESOR ACUMULADO (cm.)
Carpeta	-----	10	20 (grava
Base	-----	16	36 equiv.)
Sub-base	36	12	48
Sub-rasante	48		

Por lo que la estructura es suficiente:

Al reutilizar la carpeta y base actuales en la construcción de una sub-rasante, lo más adecuado es levantar estas capas, acamellonar el material y compactar la superficie descubierta con el fin de darle una compactación uniforme (al 95%), en un espesor de 20 cm. Esta capa haría las veces de subyacente.

Al final, la estructura en ambos cuerpos vendría siendo casi la misma, por lo que se propone adoptar estructuras iguales.

#### 6.5.2.2 METODO DEL INSTITUTÓ DE ASFALTOS DE NORTE AMERICA.

##### A) Estructura Nueva.

En este método también el tránsito y la resistencia son los parámetros primordiales.

El tránsito ya se estudió en el análisis de deflexiones (en la fig. 6.6 se resumen los resultados), lo único que

METODO DE DISEÑO DEL INSTITUTO DE ASFALTOS.

- 1.- Tránsito diario inicial = 7,300 vehículos
- 2.- Por ciento de camiones pesados en  
ambas direcciones = 44 %
- 3.- Por ciento de camiones pesados en  
el carril de diseño = 45 %
- 4.- Número de camiones pesados en el-  
carril de diseño = 1,446
- 5.- I T N = 4,200 vehículos Estimación del prome
- 6.- Período de diseño = 10 años <sup>los.</sup> dio del peso bruto -
- 7.- Tasa de crecimiento = 10 % de los vehículos pe-
- 8.- Factor de corrección = 0.8 sados:
- 9.- D T N = 3,360 vehículos 30 ton/veh.=67kips/  
veh.
- 10.- C B R =
- 11.- T A = (Valor determinado -  
en el análisis de -  
deflexiones.)

Estructura Propuesta:

FIG. 6.6.- FORMULA DE CALCULO (IAN).

hace falta es determinar los V.R.S. de diseño.

La manera de cómo obtenerlos se explicó anteriormente, y es obteniendo un valor tal, que el 90% de los otros valores de resistencia sea mayor y el -- 10% restante menor, como sigue:

CAPA SUBYACENTE - ( al 95% )

VALORES DE RESISTENCIA	ORDEN DE MENOR A MAYOR	MAYORES O IGUALES A	PORCENTAJES DE VALORES MAYORES A
7.5	7.5	11	100 %
14.1	9.0	10	90.91%
10.7	10.7	9	81.82%
22.5	10.9	8	72.73%
12.2	12.2	7	63.64%
9.0	12.4	6	54.55%
10.9	14.1, 14.1	5	45.45%
14.9	14.9	3	27.27%
12.4	16.7	2	18.18%
16.7	22.5	1	9.09%
14.1			

De la relación anterior se interpola para obtener el valor correspondiente al 90% - (o 90 percentil). También se puede obtener el 90 percentil elaborando una gráfica VRS-Porcentaje de valores mayores o -- iguales a, y buscar el valor de VRS co--rrespondiente al 90%.

$$\frac{90.91-81.82}{10.7-9.0} = \frac{0.91}{X-0.17}$$

$$\text{VRS} = 9 + 0.17 = \underline{\underline{9.2\%}}$$

## CAPA SUB-RASANTE ( AL 100% )

VALORES DE RESISTENCIA	ORDEN DE ME NOR A MAYOR	VALORES MA YORES O IGAUALES A.	PORCENTAJE DE VA LORES MAYORES A.
12.2	12.2	11	100 %
21.9	14.0	10	90.91%
18.7	18.7, 18.7	9	81.82%
39.0	20.0	7	63.64%
20.0	21.3	6	54.55%
14.0	21.9	5	45.45%
18.7	23.1	4	36.36%
24.8	24.8	3	27.27%
23.1	26.8	2	18.18%
21.3	39.0	1	9.09%
26.8			

$$\frac{90.91 - 81.82}{18.7 - 14} = \frac{0.91}{X=0.47}$$

$$\text{VRS} = 14 + 0.47 = \underline{\underline{14.5\%}}$$

Del método del Instituto de Ingeniería de la UNAM, se sabe ya que será necesaria -- una capa subyacente y, por otro lado, se había establecido que el VRS para el sue-- lo natural era de 3%, de acuerdo a expe-- riencias del lugar.

Con el valor del DTN calculado y los valo-- res de resistencia del terreno natural, la capa subyacente y la capa subrasante, se entra al nomograma de la fig. 4.12 y se -

obtienen espesores requeridos sobre cada -  
capa en concreto asfáltico.

Los espesores requeridos son:

CAPA	ESPESOR REQUERIDO (pulg.)	SOBRE LA CAPA (cm.)
Sub-rasante	7.7	19.60
Subyacente	9.6	24.40
Terreno natural	15.0	38.10

Si adoptamos la estructura obtenida en el  
método anterior se tiene:

CAPA	ESPESOR NETO (cm)	ESPESOR DE CONCRETO AS- FALTICO (cm)	ESPESOR ACUMULADO (cm.)
Carpeta	10.0	10.0	10
Base	20.0	10.0	20
Sub-base	15.0	5.6	25.6
Sub-rasante	30.0	8.6	34.2
Subyacente	20.0	5.7	39.9

Se puede observar que la estructura cumple  
con las requisiciones para cada capa.

B) Revisión de la estructura existente.

Aquí se toma el mismo tránsito de dise-  
ño y la resistencia es la de la capa --  
sub-rasante actual, determinada como si  
gue.

## CAPA SUB-RASANTE ACTUAL

VALORES DE RESISTENCIA	ORDEN DE MENOR A MAYOR	VALORES MAYORES O IGUALES A	PORCENTAJE DE VALORES-MAYORES A
18.7	7.2	12	100 %
16.4	8.4	11	91.67%
19.0	12.0, 12.0	10	83.33%
12.0	15.0	8	66.67%
15.0	16.4	7	58.33%
8.4	17.0	6	50.00%
17.0	17.5, 17.5	5	41.67%
7.2	18.7	3	25.00%
17.5	19.0	2	16.67%
20.0	20.0	1	8.33%
17.5			
12.0			

Interpolando:

$$\frac{91.67-83.33}{12-8.4} = \frac{1.67}{x-0.72}$$

$$VRS = 8.4 + 0.72 = \underline{\underline{-9.1\%}}$$

Con el valor del DTN ya calculado y el anterior valor relativo soporte, se usa la fig. 4.12, obteniéndose un espesor de 9.6 pulg. de concreto asfáltico (24.4 cm.)

La estructura actual no está constituida por material de buena calidad, lo que se observó anteriormente, por lo que, en vista de que se espera un tránsito futuro intenso y pesado, no es recomendable usarla.

La estructura sobre la capa sub-rasante -

podría ser la siguiente:

CAPA	ESPESOR (cm,)	ESPESOR EN CONCRETO ASFALTICO (cm.)
Carpeta	10	10.0
Base	20	10.0
Sub-base	12	<u>4.44</u>
		$\Sigma$ 24.44

Con lo que se cumple con la requisición - en espesor de concreto asfáltico.

Para facilitar los procedimientos constructivos, se adopta la estructura siguiente:

CAPA	ESPESOR (cm.)
Carpeta	10
Base	20
Sub-base	15

Cómo se expuso en el método anterior, al pavimento actual conviene practicarle las -- operaciones indicadas en el desarrollo de-aquel.

#### 6.5.2.3 TECNOLOGIA PORTER MODIFICADA.

##### A) Estructura Nueva.

Como se vió en los métodos anteriores, - primero se valoran el tránsito y las -- características de resistencia de los materiales que van a formar la sección estructural.

El análisis de tránsito es el que si--- gue:

- a) Se determina el T.P.D.A. en ambos sentidos en el año inicial o base.- En este caso es de 7,300 vehículos.
- b) Se determina el T.P.D.A. en el carril de diseño que para este cálculo es de 50%, entonces queda:

$$7,300 \times 0.5 = 3,650 \text{ vehículos,}$$

- c) Fíjense el período de diseño (n) y la tasa de crecimiento (r), que son de 10 años y 10%, respectivamente.
- d) Con el período de diseño y la tasa de crecimiento anual se calcula el factor de conversión (c), el cual es:

$$c = 365 \frac{(1 + 0.1)^{10} - 1}{0.1} = 5,817.16$$

que también se puede calcular con la gráfica 4.2.

El cálculo de los ejes equivalentes a --- 8.2 Ton., se hace como se indica a continuación:

- a) Se obtiene la distribución del tránsito, es decir, el porcentaje de cada tipo de vehículos que circula por la carretera en cuestión, que es el siguiente.

$$A_2 = 40\%$$

$$A'_2 = 16\%$$

$$B_2 = 6\%$$

$$C_2 = 5\%$$

$$\begin{aligned}
 C_3 &= 8\% \\
 T_2-S_1 &= 3\% \\
 T_2-S_2 &= 5\% \\
 T_3-S_2 &= 9\% \\
 T_3-S_3 &= 8\%
 \end{aligned}$$

- b) Determinése el número de vehículos de cada tipo que circulan sobre el carril de diseño, multiplicando el tránsito diario por el porcentaje del inciso anterior, para este ejemplo:

$$\begin{aligned}
 A_2 &= 7,300 \times 0.4 = 1,460 \text{ Vehíc.} \\
 A'_2 &= 7,300 \times 0.16 = 584 \text{ " } \\
 B_2 &= 7,300 \times 0.06 = 219 \text{ " } \\
 C_2 &= 7,300 \times 0.05 = 183 \text{ " } \\
 C_3 &= 7,300 \times 0.08 = 292 \text{ " } \\
 T_2-S_1 &= 7,300 \times 0.03 = 110 \text{ " } \\
 T_2-S_2 &= 7,300 \times 0.05 = 183 \text{ " } \\
 T_3-S_2 &= 7,300 \times 0.09 = 329 \text{ " } \\
 T_3-S_3 &= 7,300 \times 0.08 = 292 \text{ " }
 \end{aligned}$$

- c) El número de ejes equivalentes de 8.2-Ton. para cada tipo de vehículo, se obtiene multiplicando el número de vehículos de cada tipo por su coeficiente de equivalencia AASHO como sigue:

$$\begin{aligned}
 1460 \times 0.0004 &= 0.58 \\
 584 \times 0.048 &= 28.03 \\
 219 \times 2.414 &= 529.00 \\
 183 \times 2.414 &= 441.76 \\
 292 \times 2.276 &= 664.59 \\
 110 \times 4.626 &= 508.86 \\
 183 \times 4.488 &= 821.30
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 329 \times 4.350 &= 1,431.15 \\
 292 \times 4.375 &= \underline{1,277.50} \\
 &5,702.77
 \end{aligned}$$

La suma de los ejes equivalentes nos da el total en el año de inicio. Para calcularlos al término del período de diseño, se multiplica este último valor por el factor de corrección (c) y se obtiene el número de ejes equivalentes de 8.2 Ton al final del período -- considerado, que es:

$$5,702.77 \times 5,817.16 = 3.32 \times 10^7 \text{ ejes equivalentes.}$$

Para el cálculo de espesores, se determinan antes los valores de resistencia de proyecto de la misma manera que en el método del Instituto de Asfaltos, sólo que aquí se toma el valor del 80 percentil, -- tal como se muestra a continuación.

CAPA SUBYACENTE ( AL 95% )

VALORES DE RESISTENCIA	ORDEN DE MENOR A MAYOR	VALORES MAYORES O IGUALES A	PORCENTAJE DE VALORES-MAYORES A
7.5	7.5	11	100 %
14.1	9.0	10	90.91%
10.7	10.7	9	81.82%
22.5	10.9	8	72.73%
12.2	10.9	7	63.64%
9.0	12.4	6	54.55%
10.9	14.1, 14.1	5	45.45%
14.9	14.9	3	27.27%
12.4	16.7	2	18.18%

16.7                      22.5                      1                      9.09%  
14.1

$$\frac{81.82 - 72.73}{10.9 - 10.7} = \frac{1.82}{X=0.04}$$

$$\text{VRS} = 10.7 + 0.04 = \underline{\underline{10.74\%}}$$

Para la capa sub-rasante (compactada al 100%) se hace lo mismo y se obtiene un valor de diseño.

$$\text{VRS} = 18.8\%$$

Para el terreno natural, de acuerdo con las experiencias del lugar, se tomó un VRS de 3%.

El cálculo de los espesores se realiza basándose en la fig. 4.15 con las resistencias y tránsito equivalente anteriores y es:

CAPA	ESPESOR REQUERIDO SOBRE LA CAPA (cm.)
Sub-rasante	40
Subyacente	50
Terreno natural	83

De acuerdo a esto, la capa sub-rasante tendría espesor de  $50 - 40 = 10$  cm., pero el mínimo es 30 cm.

La capa subyacente quedaría entonces de  $83 - 50 = 33$  cm., pero si hacemos la sub-rasante de 30 cm., entonces la subyacente queda de 13 cm.

El pavimento quedaría de 10 cm. de espesor de carpeta de concreto asfáltico, con una base rigidizada con cemento Portland de 12 cm., de espesor. Finalmente se tiene:

CAPA	ESPESOR NETO (cm.)	ESPESOR DE MATERIAL HIDRAULICO (cm.)
Carpeta	10	20.0
Base	12	21.6
Sub-rasante	30	30.0
Subyacente	13	<u>13.0</u>
		84.6

Misma que cumple con las requisiciones de cada capa.

B) Revisión de la estructura existente.

El tránsito considerado es el mismo que en la estructura nueva, pero el VRS de proyecto es el de la subrasante actual en las condiciones del lugar. (80 percentil), el cual queda:

$$\text{VRS} = 12.6\%$$

Entonces la sub-rasante actual requiere de un espesor sobre ella de 48 cm., mismo que queda satisfecho con una carpeta de concreto asfáltico de 10 cm. de espesor y una base con cemento de 16 cm. de espesor, que por último queda:

DATOS DE PROYECTO :

1.-TRANSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL EN AMBOS SENTIDOS	7,300
2.-TRANSITO DIARIO EN EL CARRIL DE DISEÑO ( 50%)	3,650
3.-PERIODO DE DISEÑO (n, EN AÑOS)	10
4.-TASA DE CRECIMIENTO ANUAL (r)	10
5.-FACTOR DE-CONVERSION (c)	5, 817.16

CALCULO DEL TRANSITO EQUIVALENTE

TIPO DE VEHICULO (1)	DIST. DEL TRANS.(%) (2)	DIST.DEL TRANS. (VEHICULOS) (3)	COEF.DE E-QUIV. (4)	EJES SENCILLOS EQUIV.DE 8.2Ton(5)
A2	40	1,460	0.0004	0.58
A'2 (5.5 Ton)	16	584	0.048	28.03
B2 (15.5 Ton)	6	219	2.414	529.00
C2 (15.5 Ton)	5	183	2.414	441.76
C3 (23.5 Ton)	8	292	2.276	664.59
T2-S1 (25.5 Ton)	3	110	4.626	508.86
T2-S2 (33.0 Ton)	5	183	4.488	821.30
T3-S2 (41.5 Ton)	9	329	4.350	1,431.15
T3-S3 (46.0 Ton)	8	292	4.375	1,277.50
S U M A :				5,702.77
TRANSITO ACUMULADO AL FINAL DE LA VIDA UTIL (SUMA X FACTOR DE CONVERSION)				3.32 x 10 <sup>7</sup>

ESTRUCTURA

CALCULO DE ESPESORES

		NUEVA	ACTUAL
1. VRS DE DISEÑO DE LAS TERRACERIAS		3 %	3 %
2. INDICE DE ESPESOR (cm)		83	83
3. VRS DE DISEÑO DE LA CAPA SUBRASANTE		19 %	13 %
4. INDICE DE ESPESOR (cm)		40	48
5. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO EN ESPESORES - EQUIVALENTES :	CARPETA DE	20	20
	BASE - CEMENTO (BC)	22	29
	SUB-BASE (SB)	-	-
	SUB-RASANTE (SR)	30	-
6. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO EN ESPESORES - REALES :	CARPETA DE	10	10
	BASE-CEMENTO (BC)	12	16
	SUB-BASE (SB)	-	-
	SUB-RASANTE (SR)	30	-
S U M A :			

OBSERVACIONES :

PORTER MODIFICADA.

FIG. 6.7

CAPA	ESPESOR NETO (cm.)	ESPESOR DE MAT. HI- DRAULICO (cm.)
Carpeta	10	20.0
Base	16	<u>28.80</u>
		48.80

Con lo cual queda cumplida la requisición de la subrasante actual.

El resumen del procedimiento se muestra - en la fig. 6.7

Para comparar los espesores entre un método y otro, se elabora una tabla como la siguiente:

Método Estructura	INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA UNAM	INSTITUTO DE ASFALTOS DE NORTEAMERICA	TECNOLOGIA PORTER MODIF.	
<b>CUERPO NUEVO</b>			Base Rigidizada con cemento	Base Hidráulica
Carpeta	10 cm.	10 cm.	10 cm	10 cm
Base	20 "	20 "	12 "	20 "
Sub-base	15 "	15 "	-----	-----
Sub-rasante	30 "	30 "	30 "	30 "
Subyacente	20 "	20 "	13 "	15 "
<b>CUERPO ACTUAL</b>				
Carpeta	10 cm.	10 cm.	10 cm	10 cm
Base	16 "	20 cm	16 "	15 "
Sub-base	12 "	12 "	-----	12 "

La estructura del pavimento se selecciona conservadoramente, aplicando un factor de seguridad, al tomar una misma estructuración del pavimento en el cuerpo nuevo y en el existente.

En este punto vale la pena reflexionar sobre otras alternativas, como serían mejorar la calidad y resistencia de las capas que forman el pavimento, por ejemplo una base estabilizada con cemento Portland Tipo I, o una sub-rasante estabilizada con cal, también se podría pensar en bases estabilizadas con cemento asfáltico. La decisión será objeto de un estudio económico.

No obstante, en las zonas pantanosas del Km. 26+600 al 37+240 y del Km. 38+900 al 45+000, la capa subyacente se construirá de 50 cm. de espesor, con la finalidad de no hacer llegar al terreno esfuerzos de magnitud tal, que provoquen deformaciones perjudiciales de la estructura del camino. En estas zonas, además de que el talud de las secciones en terraplén será de 2:1, también se deberán construir bermas, si la altura del terraplén lo amerita, con el objetivo de hacer estables los taludes del cuerpo del terraplén.

#### 6.6 SELECCION DE LOS BANCOS DE MATERIAL.

Se muestrearon varios bancos, realizando pruebas de calidad y resistencia a los materiales extraídos de ellos,-

llegándose a una selección de los bancos, así como de su utilización en función de las características que cumplen lo especificado para cada componente de la estructura.

Los bancos seleccionados y su utilización, se muestran en la tabla 6.2 (cuadro de bancos).

#### 6.7 PROCEDIMIENTOS GENERALES DE CONSTRUCCION.

En realidad se tendrán 4 variantes, dos para cuerpo nuevo (sección en corte y en terraplén), y dos para cuerpo existente (en corte y terraplén).

Para realizar la obra en forma adecuada, se construirán primero las estructuras nuevas, dando paso al tránsito sobre las estructuras existentes. Una vez terminadas las estructuras nuevas, se dará paso al tránsito por ellas y se procederá a reconstruir las estructuras existentes, de esta manera el tránsito no se verá interrumpido.

##### A) Cuerpo Nuevo.

###### Sección en corte.

1. Despallar el terreno natural en el ancho necesario para alojar la sección y en un espesor acorde con el estudio geotécnico que se realice.
2. Corte del terreno natural en el ancho y profundidad necesarios para alojar la nueva sección.  
El material que resulte de este corte se desechará o se utilizará en el cuerpo del terraplén si cumple con lo especificado para esta parte de la estructura.
3. En la zona de desplante de la estructura, compactar-

BANCO	LOCALIZACION	MATERIAL	TRATAMIENTO	UTILIZACION	MEZCLA APROX. PARA SU EMPLEO
1.- S/N	Km 16+080, con 50m. desviación izquierda, sobre el tramo.	Arena arcillosa.	Ninguno	Capa sub-rasante, capa subyacente y cuerpo del terraplén.	Se usará solo.
2.- "La selva"	Km 20+400, con 70m. desviación derecha, sobre el tramo.	Arena limosa.	Ninguno	Capa sub-rasante, capa subyacente y cuerpo del terraplén.	Se usará solo.
3.- S/N	Km. 27+000 con desviación derecha, de 60m.- sobre el tramo.	Arena limosa.	Ninguno	Capa sub-rasante, capa subyacente y cuerpo del terraplén.	Se usará solo.
4.- "Agua dulce"	Km. 34+860, con desviación derecha de 40m., sobre el tramo.	Arena limosa.	Ninguno	Capa sub-rasante, capa subyacente y cuerpo del terraplén.	Se usará solo.
5.- "Paralelo"	Km. 37+200, con desviación derecha de 1,500m., sobre el tramo.	Arena limosa.	Ninguno	Cuerpo del terraplén.	Se usará solo.
6.- "Paz Enriquez"	Km. 26+600, con desviación derecha de 200 m., Sobre el tramo.	Arena fina	Ninguno	Sub-base y base hidráulica (cementante).	20% Banco no.6 80% Banco no.7

TABLA 6.2.- CUADRO DE BANCOS.

BANCO	LOCALIZACION	MATERIAL	TRATAMIENTO	UTILIZACION	MEZCLA APROX. PARA SU EMPLEO
7.- "La ceiba"	Km, 4+500 con desviación derecha de 5,700 m. del tramo: Acceso al puente Coatzacoalcos II. Origen Nuevo Teapa, Ver.	Grava arena limosa	Lavado y cribado para obtener tamaño máximo de 38.1mm (1.5").	Base hidráulica	40% de material de 38.1 mm. 40% de arena 20% Banco no.6
			Lavado y cribado para obtener arena		
			Cribado a tamaño máximo de 38/mm. (1.5")	Sub-base	
8.- "Paso de Bueques".	Km, 98+300 con desviación izquierda de 2,700 m. del tramo: Acayucan-Matías Romero. Origen Acayucan, Ver.	Roca caliza	Trituración total y cribado a tamaño máximo de 19 mm. (3/4").	Carpeta	Se usará solo
			Trituración total y cribado para obtener material 3 - E	Riego de sello.	

TABLA 6.2.- CUADRO DE BANCOS.

el material bajo la superficie descubierta en 20 cm. de espesor al 90% de su peso volumétrico seco máximo determinado por el laboratorio. Esta capa servirá de transición entre el terreno natural y la estructura del camino.

4. Construir la capa subyacente con material de banco que tenga características de capa sub-rasante, compactándolo al 95% de su peso volumétrico seco máximo determinado por el laboratorio. El espesor compacto de esta capa será de 20 cm.
5. Formar la capa sub-rasante con material adecuado producto de banco, de 30 cm. de espesor, compactándola al 100% de su peso volumétrico seco máximo determinado por el laboratorio. El ancho de la sub-corona en la superficie de esta capa, deberá ser el requerido para obtener al final un ancho de corona de 11 cm.
6. Una vez terminada la capa sub-rasante, constrúyase la sub-base con material propio para este empleo, compactándolo al 100% de su peso volumétrico seco máximo, el espesor de dicha capa será de 15 cm.
7. Construir la base hidráulica de 20 cm. de espesor, con material adecuado de banco compactado al 100% de su peso volumétrico seco máximo.  
El ancho de la corona terminada será de 11.0 m.
8. Sobre la superficie seca y barrida de la base, aplicar un riego de impregnación con producto asfáltico-FM-1 a razón de  $1.3 \text{ t/m}^2$ , aproximadamente, en todo el ancho de la corona, incluyendo los taludes de la base y la sub-base.
9. Previo riego de liga con material asfáltico tipo --

FR-3, aplicado a razón de  $0.6 \text{ Lt/m}^2$ , en el ancho necesario para recibir la carpeta, constrúyase ésta de 7.3 m. de ancho y en dos capas de 5 cm. de espesor, compactada al 95% del peso volumétrico máximo determinado con la prueba Marshall.

10. Aplicar un riego de sello en todo el ancho de la corona, con una proporción aproximada de material pétreo tipo 3-E y producto asfáltico FR-3 de  $10 \text{ Lt/m}^2$  y  $1.2 \text{ Lt/m}^2$ , respectivamente.
11. Hágase el señalamiento necesario.

#### Sección en terraplén

1. Despalme del terreno natural en la zona de desplante del terraplén de 20 cm. de espesor. El material que resulte se desperdiciará o se aprovechará para arrojar los taludes. Esto se hace con el objeto de eliminar material vegetal o cuerpos extraños de la cimentación de la estructura.
2. Compactación del terreno bajo la superficie descubierta por la operación anterior al 90% de su peso volumétrico seco máximo determinado por el laboratorio, en un espesor de 20 cm. Esta servirá de transición entre el terreno y la estructura que se construya.
3. Construir el cuerpo del terraplén con material adecuado de banco, en capas cuyo espesor sea función del tamaño máximo del material y/o del equipo de compactación. La compactación será al 90% de su peso volumétrico seco máximo determinado por el laboratorio. Cuando la altura del terraplén lo amerite, se construirán escalones para ligar el cuerpo nuevo con el existente.

4. Ejecútnense los pasos 4 a 11 de los procedimientos de la sección en corte para cuerpo nuevo.

B) Cuerpo Existente.

Sección en corte y sección en terraplén

1. Cortar, disgregar y acamellonar 20 cm. del pavimento actual.
2. Compactar el material bajo la superficie descubierta por la operación anterior al 95% de su peso volumétrico seco máximo, en 20 cm. de espesor. Esto se hace con el fin de tener una capa con compactación uniforme bajo la estructura que se va a contruir, esta capa hará las veces de capa subyacente.
3. El material acamellonado se tenderá y compactará al 100% de su peso volumétrico seco máximo a fin de dar el volumen para obtener la primera parte de la capa-sub-rasante de 15 cm. de espesor compactos. El resto de la capa para dar un espesor total de 30 cm., se formará con material de banco y su compactación será del 100% de peso volumétrico seco máximo determinado en el laboratorio.  
El ancho de la sub-corona en la superficie de esta capa será de 12.05 m. para poder dar el ancho de corona de 11.0 m.
4. Efectuar los pasos 6 a 11 de los procedimientos de construcción de la sección en corte para el cuerpo nuevo.

NOTAS. En las zonas entre los Km. 14+000 a 26+400, 36+600 a 37+240 y 38+900 a 41+000, el talud del cuerpo del terraplén tendrá una pendiente de 1.5:1; en las zonas pantanosas (Km 26+400 a 36+600 y 37+240 a 38+900), -

el talud tendrá pendiente de 2:1 y la capa subyacente será de 50 m de espesor. Por otra parte, los proporcionamientos entre materiales pétreos y asfálticos deberán ser verificados por el laboratorio del lugar, para garantizar que el proporcionamiento sea el adecuado.

El laboratorio del lugar también verificará la necesidad de usar aditivos con el fin de mejorar la adherencia entre materiales pétreos y asfálticos.

En forma general al hacerse la construcción, los datos de calidad y resistencia de los bancos propuestos para formar las diferentes capas de la sección estructural, tendrán que retroalimentarse.

#### 6.8 DRENAJE Y SUB-DRENAJE.

Para proteger la obra vial superficialmente, será necesario construir bordillos y lavaderos en las zonas consecución en terraplén, para que estos conduzcan el agua de lluvia a lugares donde no perjudique a la carretera, por lo cual es necesario que las obras menores como las alcantarillas y todas aquellas que conduzcan el agua superficial sean suficientes y eficaces, hidráulicamente hablando, para poder conducir el agua que desfogue las obras de drenaje superficial.

En las zonas en corte, será necesaria la construcción de cunetas revestidas, y si existen excesos de agua en el talud del corte o el terreno natural, habrá que construir sub-drenajes para proteger la estructura del pavimento.

#### 6.9 NORMAS DE CALIDAD.

En todos los proyectos existen ciertas reglas que se tienen que cumplir, ya sea para los materiales que van a

formar una carretera y/o para los trabajos que se van a desarrollar en su construcción. A continuación se detallan esas reglas o normas para el caso del ejemplo analizado.

#### 6.9.1 NORMAS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES.

Los lineamientos dados en esta parte se refieren a la Parte Octava, Libro Primero de las Especificaciones Generales de Construcción de la S.A.H.O. P. y a las observaciones hechas en el capítulo I de ésta tesis.

El material del cuerpo del terraplén y las capas subyacente y sub-rasante deben cumplir con los requisitos mencionados en las observaciones del capítulo I.

El material que se use en la construcción de la sub-base, deberá llenar los requisitos dados en el inciso 9-03.2 y en las observaciones del capítulo I.

La base hidráulica deberá construirse con material que siga los lineamientos dados en el inciso 91-03.6 y las observaciones del capítulo I.

Los materiales pétreos que se usen en la elaboración del concreto asfáltico, deberán cumplir con lo escrito en el inciso 92-03.1, y los pétreos que se usen para el riego de sello, cumplirán con los requisitos del inciso 92-03.2, en lo que a material 3-E respecta.

El cemento asfáltico No. 6 que se emplee en la elaboración del concreto asfáltico, debe llenar

los requisitos del inciso 93-02.4 A).

Para el producto asfáltico FR-3 que se aplique en los riegos de liga y sello, debe estar dentro de lo marcado en el inciso 93-02.4 B).

Por último, el material asfáltico tipo FM-1, que se use en el riego de impregnación, debe cumplir lo escrito en el inciso 93-02.4 C).

#### 6.9.2 NORMAS DE CALIDAD DE LOS TRABAJOS.

Los requisitos a que se haga mención en esta parte, son los de la Parte Cuarta y Segunda de las - Especificaciones Generales de Construcción de la S.A.H.O.P y los de las observaciones del capítulo I.

Para realizar los cortes, se seguirá lo indicado en el inciso 9-04.

En la construcción de los terraplenes, se deben seguir los requisitos del inciso 11-04 y de las - observaciones del capítulo I.

La construcción de las bases y sub-bases, se hará siguiendo los lineamientos del inciso 51-04.

El riego de impregnación se realizará conforme a lo especificado en el inciso 54-04.

La construcción de la carpeta de concreto asfáltico debe desarrollarse según lo indicado en el inciso 57-04.

Para la aplicación del riego de sello se ejecutará lo indicado en el inciso 58-04, en lo que a ma

terial pétreo 3-E y producto asfáltico FR-3 respecta.

### 6.9.3 NORMAS DE CALIDAD COMPLEMENTARIAS.

La mezcla de concreto asfáltico deberá cumplir lo especificado en el inciso 93-04.3 para el procedimiento Marshall de la Parte Octava, Libro Primero de las Especificaciones Generales de Construcción de la S.A.H.O.P.

El proyecto del pavimento de una carretera es la culminación de los estudios de evaluación y la recabación de datos de la red en conservación.

Si se hace conciencia de que una carretera con deficiencias, ya sea por un ahorro mal entendido, por un mal diseño o por errores de la construcción, es una pérdida económica para el país y provoca molestias a los usuarios y en algunas ocasiones hasta pérdidas de vidas humanas, se verá que es necesario que los técnicos que interfieren en el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras deben prepararse de tal manera que respondan a la urgencia que tiene nuestra nación de profesionales bien capacitados y con un criterio unificado. De tal forma que hagamos con los bienes que nos encomienda la Nación, como en este caso son las carreteras, que proporcionen un servicio seguro y económico al usuario y por otro lado que los gastos de mantenimiento no sean ostentosos para el caso de las modernizaciones.

Valdría la pena reflexionar sobre la decisión de hacer inversiones fuertes que garanticen las --

obras o emplear paliativos que a los pocos años -  
de realizada la obra provoquen gastos de manteni-  
miento excesivos.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Instructivo para el Diseño Estructural de Pavimentos - Flexibles para Carreteras.  
Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas - e Instituto de Ingeniería, U.N.A.M., Julio, 1980.
- 2.- Diseño de Pavimentos Flexibles. Comportamiento de los Tramos Experimentales.  
Santiago Corro C., Publicación 240, Instituto de Ingeniería, U.N.A.M., Enero, 1970.
- 3.- Tecnología para el Proyecto de Pavimentos Flexibles. - Porter Modificada.  
Fernando Olivera Bustamante, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón. U.N.A.M., Marzo, 1981.
- 4.- Instructivo para la Rehabilitación de Pavimentos Flexibles y Rígidos de Carreteras.  
Secretaría de Obras Públicas, México, 1974.
- 5.- Notas del Curso "Diseño y Construcción de Pavimentos", División de Educación Continua. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M., 1980.
- 6.- Seminario de Pavimentos, Tema XI, "Criterios y Procedimientos empleados en la Construcción y Conservación de Pavimentos".  
Rafael González Cisneros. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, 1980.
- 7.- Mecánica de Suelos, Tomo II.  
Eulalio Juárez Badillo y Alfonso Rico Rodríguez, Edición 1979.

- 8.- La Ingeniería de Suelos en Vías Terrestres. Vol. 2.--  
Alfonso Rico Rodríguez y Hermilo del Castillo Mejía,-  
Edición 1978.
- 9.- Tesis Profesional, "Refuerzo de Pavimentos Flexibles-  
por el Método de Deflexiones Dinámicas".  
Roberto Landeros Ortíz. Facultad de Ingeniería. U.N.A.  
M., 1974.
- 10.- Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras.  
Secretaría de Obras Públicas. México, 1971.
- 11.- Notas del Seminario "Beneficios para la Economía Nacion  
al que se Derivan de un Programa Eficiente de Conserv  
vación de Carreteras".  
Asociación Mexicana de Caminos. México, Marzo, 1980.
- 12.- Especificaciones Generales de Construcción. Parte Se--  
gunda, Cuarta y Octava.  
Secretaría de Obras Públicas, México.
- 13.- Normas de Procedimientos de Conservación, y Reconstrucci  
ción de Carreteras.  
Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas,  
México, 1979.
- 14.- Proyecto "Reflexiones sobre el Comportamiento de los -  
Pavimentos Flexibles".  
Alfonso Rico Rodríguez y Juan M. Orozco. Secretaría -  
de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. México, --  
Octubre, 1979.
- 15.- V Informe Presidencial.  
Lic. Jose López Portillo, México, 1981.
- 16.- Diario Oficial. Secretaría de Comunicaciones y Trans-  
portes.  
México, 28 de Noviembre de 1980.

ESTE TRABAJO SE IMPRIMIO EN LOS TALLERES  
GRAFICOS DE GUADARRAMA IMPRESORES, S. A.  
AV. CUAUHEMOC 1201, COL. VERTIZ NARVARTE  
MEXICO 13, D. F. TEL. 669 22 77 CON TRES LINEAS

