

96  
2ej

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



"METODOS DE EVALUACION DE CAMINOS Y  
SU RECONSTRUCCION"

TRABAJO ESCRITO DE TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A  
RAMON MARTINEZ RANGEL



México, D. F.

Enero de 1988



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

Todo el material contenido en esta tesis está 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.

# I N D I C E

## INTRODUCCION.

### Capítulo I.- Generalidades..... 1

Definición de pavimento flexible. Principales factores en la estructuración de vías terrestres. Secciones transversales de construcción para las vías terrestres (caminos). Características principales de cada una de las capas que forman a un camino con pavimento flexible: Terracerías (cuerpo del terraplén y capa subrasante). Pavimento (subbase, base y carpeta). El Tránsito como factor de diseño para un camino (factor de daño, TDPA Tránsito Diario Promedio Anual). Pruebas de diseño en proyectos de caminos (Porter modificada (Padrón). Ejemplo de diseño de las capas y sus espesores para un camino de cuatro carriles usando método de la Prueba Porter modificada (Padrón).

### Capítulo II.- Fallas funcionales y Fallas estructurales..... 107

Definición de falla funcional y las causas que la provocan. Definición de falla estructural y la causa que la provoca, así como su diferencia con la falla estructural. Introducción a la calificación de conservación de un camino.

Capítulo III.- Descripción y causa de diferentes da-

ños en caminos..... 121

Origen de los daños en un camino. Causa y efectos -  
o factores que provocan los daños en los caminos. -  
Tránsito. Condiciones climáticas. Medio ambiente y  
sus consecuencias. El diseño del pavimento. La ca-  
lidad de los materiales y su colocación. Factores -  
que afectan generalmente a cada una de las diferen-  
tes capas que forman la estructura de un camino con  
pavimento flexible. Terreno de cimentación. Terrace-  
rías, subbase, base y carpetas según el tipo. Clasi-  
ficación y codificación de las fallas por sus carac-  
terísticas.

Capítulo IV.- Métodos no destructivos para evaluar

el estado de los caminos con pavimen-  
to flexibles..... 143

Medición de la capacidad estructural de un camino -  
con pavimento flexible con pruebas no destructivas -  
tipos de ellas. Deflexión estática (Viga Benckelman,  
Deflectómetro móvil, curvímetro DEHLEN, Deflectógrafo  
Lacroix) Estado de deflexiones uniformes (Dina-  
flect, evaluador de camino (Road Rater), vibradores  
WES. Respuesta del pavimento a impactos de carga -  
(examen de impulso). Técnicas de propagación de on-  
das. Nuevas Técnicas de evaluación en desarrollo -

(Tecnología de la viga ligera, de la tecnología de foto).

Capítulo V.- Métodos destructivos para evaluar la estructura de los caminos con pavimentos flexibles..... 192

Tipos de pruebas y recomendaciones para su desarrollo. Capas y pruebas recomendables de laboratorio y de campo. Pruebas para los materiales de las diferentes capas de la estructura. Pruebas de clasificación y control para materiales Pétreos y suelos (granulometría, plasticidad, Porter estándar (VRS) valor relativo de soporte, (PVSM) Peso volumétrico seco máximo, (Wo) humedad óptima, (E) expansión. Valor cementante. Pruebas de adherencia de materiales pétreos con el asfalto. Prueba de desprendimiento por fricción. Prueba de pérdida de estabilidad por inmersión en agua. Dureza. Pruebas a pétreos de carpetas. Desgaste. Forma de la partícula. Densidad Pruebas de clasificación para los productos asfálticos. Prueba de destilación. Prueba de penetración. Prueba de viscosidad. Punto de encendido. Asentamiento en 5 días. Prueba de miscibilidad con cemento Portland. Prueba demulsibilidad. Pruebas de ácidos y carga de la partícula.

Capítulo VI.- Recomendaciones para la reconstrucción de caminos con pavimentos flexibles..... 219

Conservación normal. Rehabilitación. Reconstrucción o modernización. Objetivo de la conservación y sus actividades. Rehabilitación función método para - - rehabilitar un camino en México empleado por (SCT)- basado en la prueba Porter Modificada (Padrón) ejemplo de rehabilitación, motivos para optar por Reconstrucción y su procedimiento. Catálogo de las fallas más comunes que se presentan en los caminos con pavimentos flexibles, Descripción, probables causas, recomendaciones para su reparación.

Capítulo VII.- Conclusiones..... 254

Opinión personal generada sobre el trabajo.

Bibliografía..... 257

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

La ingeniería civil dentro de su amplio campo de acción comprende una área dedicada a solucionar la problemática y a satisfacer las necesidades nacionales en vías de comunicación terrestre ocasionada a su vez por las diferencias geográficas de cada lugar con respecto a otro; en este trabajo mis referencias son en particular para "el sistema carretero", debido a su gran importancia dentro del funcionamiento de un país, ésta infraestructura es de gran utilidad en la comunicación tanto externa como interna, y permite a una nación realizar sus principales tareas cotidianas de desarrollo como lo son:

Económicas.- Para ligar la oferta con la demanda, es decir entrelazar zonas productivas con consumidoras a nivel nacional, e internacional para el intercambio de exportaciones o importaciones que se realizan por los puertos, fronteras, estaciones ferroviarias, o aeropuertos; interrelacionándose con todos estos medios de comunicación para su mejor funcionamiento como sistema de transporte nacional, o bien para fomentar la integración de regiones potencialmente ricas en materias primas y recursos naturales para su mejor aprovechamiento "en beneficio de la nación", y para promover el acceso a centros turísticos creadores de divisas.

Políticas.- Para establecer un orden nacional, comunicando a la capital del país con las capitales estatales, y éstas a su vez entre sí con principales puertos, fronteras y sus respectivos municipios, logrando además un control estratégico en la nación militarmente.

Social.- Para integrar poblaciones con un número importante de habitantes al desarrollo del país, manteniendo la suficiente atención a sus necesidades fundamentales de: salud, abastecimiento de productos básicos, educación, o para fomentar la entrada a centros recreativos y vacacionales para lograr un mejor desarrollo integral de la familia base de una sociedad.

Culturales.- Mejorar el acervo de conocimiento sobre nuestras manifestaciones de vida en las áreas del arte, religión, costumbres educación, ciencia y tecnología, es otro cumplimiento de ésta infraestructura, al comunicar los diferentes centros históricos de nuestras antiguas civilizaciones, ciudades con interesantes museos y lugares con antiguas tradiciones etc.

Por todos los motivos anteriores, y por que en nuestro país actualmente se encuentra un desequilibrio en la utilización de sistemas de transporte en el que a nuestra red de sistema carretero se le ha canalizado un 80% de la transportación total de bienes, servicios y pasajeros, desconcertantemente ésta causa es producto de una política mal encausada

que perjudica al pueblo, ya que los productos alimenticios - fundamentales se elevan mucho de precio por conceptos de fletes, y sin embargo los particulares dueños de las compañías fletteras son los beneficiados. En consecuencia la red carretera que comprende hasta la fecha según estadísticas de la SCT 75,000 Km de caminos pavimentados, ha estado siendo muy vulnerable por ésta situación, lo que provoca que el deterioro de las carreteras sea demasiado rápido y por tal causa su conservación muy costosa provocando a su vez que "Los métodos de evaluación de caminos" tengan un énfasis muy importante para la ingeniería civil caminera mexicana. De ahí que en atención a mi asesor el M. en I., Fernando Olivera Bustamante con experto conocimiento en la materia, despertó en mí el interés por este tema, que a continuación paso a describir generalmente previo a su tratado, pero antes quiero aclarar que es una recopilación de información previamente seleccionada, así como también el producto de investigaciones de agencias Norteamericanas dedicadas especialmente a ello, y no pretende ser una obra vasta sobre el tema, ni un libro o manual simplemente lo que se busca es lograr una aportación ordenada de un conjunto de conocimientos básicos sobre ésta área en especial que al igual que toda disciplina de nuestro tiempo es bastante amplia y difícil de abarcar completamente por una sola persona. Entonces se espera por parte mía que este trabajo sea de beneficio para todos los que deseen conocer ésta área en especial, y para los que ya la co-

nocen una ayuda de consulta básica.

En el primer capítulo sobre las GENERALIDADES del trabajo se tratarán las características de un camino con pavimento flexible, así como las partes (capas) que lo constituyen y sus funciones estructurales de cada una, también se nombran los tres tipos de secciones transversales en los que se pueden construir un camino según la topografía de la región y los procedimientos constructivos para cada una de las capas, se hace referencia a los factores que se consideran para realizar la estructuración transversal de la vía como: Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA), y el factor de daño (Fa), el método de diseño para vías terrestres utilizado en México por la SCT "Porter Modificada (Padrón)", ampliamente detallada y un ejemplo de diseño para un camino de 4 carriles, tomando en cuenta todos los factores antes mencionados y los resultados de una prueba Porter Modificada (Padrón).

El segundo capítulo de FALLAS FUNCIONALES Y FALLAS ESTRUCTURALES, describe ampliamente la diferencia entre estos dos daños en los caminos y describe los motivos de la causa para cada una de ellas detalladamente.

En lo que refiere al capítulo III "DESCRIPCION Y CAUSA DE DIFERENTES DAÑOS EN CAMINOS" es con respecto a todos aquellos que son a la vez causa y provocación de las diferentes fallas que dañan a una vía terrestre, se describe ampliamente

te su interacción sobre el camino y se identifican claramente, se explican las características de falla según la capa y las causas que muy probablemente las causaron, se realiza también la clasificación de las mismas en grupos según sus características dominantes.

Al capítulo IV respectan los "METODOS NO DESTRUCTIVOS PARA EVALUAR EL ESTADO DE LOS CAMINOS CON PAVIMENTOS FLEXIBLES". Para ello se tratan los métodos de evaluación actuales que tienen esa característica y que se utilizan a nivel mundial, se analiza su función y fundamento para cada tipo de prueba, así como la secuencia de operación de los aparatos para realizar las mediciones en las más comunmente utilizadas como la viga BENCKELMAN, EL DINAFLECT, ETC., y una introducción a las nuevas técnicas que funcionan a base de impulsos y rayos laser con manejo de sofisticados aparatos electrónicos y computadoras.

El capítulo V tratará "LOS METODOS DESTRUCTIVOS PARA EVALUAR LA ESTRUCTURA DE LOS CAMINOS CON PAVIMENTOS FLEXIBLES", Este tipo de pruebas se recomiendan utilizar en los caminos con un deterioro más avanzado y en el se describen el tipo de operaciones de extracción de muestras y las pruebas que se les realizan en el laboratorio a los materiales dependiendo de la capa que se este tratando.

Para el capítulo VI el tema expuesto es "RECOMENDACIONES

NES PARA LA RECONSTRUCCION DE LOS CAMINOS CON PAVIMENTOS FLEXIBLES", en el se tratan los conceptos de conservación normal, rehabilitación y reconstrucción con las características en cada uno y las recomendaciones de la Dirección General de Conservación de Obras Públicas de la SCT y el método que utiliza para ello basado también en la Prueba Porter Modificada (Padrón) con un ejemplo.

Por último el capítulo VII que son las "CONCLUSIONES" que se aportan como opinión personal al tema tratado en el trabajo.

## I.- GENERALIDADES

El enfoque será en éste trabajo únicamente a caminos con pavimentos flexibles, por ser el tipo de superficies más empleadas en nuestro sistema carretero nacional y en el sistema urbano. La diferencia existente entre pavimentos rígido y flexible es la siguiente:

Pavimento flexible.- Es aquel en que su superficie de rodamiento es una carpeta asfáltica y la distribución de las cargas que el tránsito le provoca, las transmite a las capas inferiores por medio de características de fricción y cohesión en las partículas de los materiales que la forman, entonces la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que se llegue a romper la estructura del pavimento, es decir que se comporta "dúctil".

A continuación se muestra un esquema de la conformación de un pavimento flexible fig. I-1 y un rígido en comparación fig. I-2.

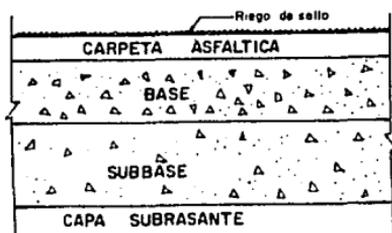


Fig. I-1 Capos que forman en general un pavimento flexible.

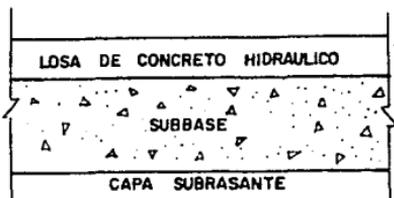


Fig. I-2 Capos que forman un pavimento rígido.

Pavimento rígido.- La superficie de rodamiento la proporciona una losa de concreto hidráulico, y las cargas del tránsito las distribuye hacia las capas inferiores en forma conjunta la losa que se encuentra trabajando con las adyacentes. Este tipo de pavimentos no puede plegarse a deformaciones de sus capas inferiores, porque sufriría falla frágil la losa de concreto hidráulico, por tal causa la losa podría apoyarse directamente sobre la subrasante, pero debido al contenido de finos dentro de sus características de materiales, se recomienda mejor apoyarla sobre una subbase de material granular, de ésta manera evitando fallas de esquina en juntas, que surgirían por la penetración de agua en el interior del pavimento y bombearían finos a la superficie si estos existieran por el reiterado paso de los vehículos.

Después de haber explicado la diferencia entre los 2 tipos de pavimentos que existen y se manejan, cabe mencionar

que dentro de los pavimentos flexibles existe uno que por sus particularidades se puede clasificar como semirígido, y es aplicado principalmente a caminos con alto volumen de tránsito mayor a 3000 (TDPA) pesado en la fig. I-3 se describen las capas que lo forman, siendo su principal característica la de tener una base rigidizada, mejorada con cal o cemento Portland y una carpeta de concreto asfáltico con un espesor de 8 a 10 cm generalmente.

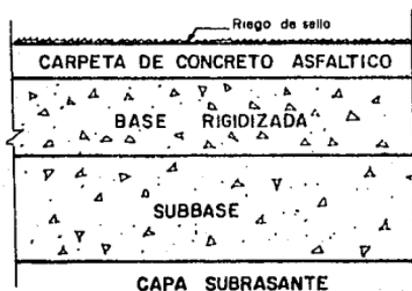


Fig. I-3 Capas que forman un pavimento flexible con carpeta de concreto asfáltico.

## PRINCIPALES FACTORES PARA LA ESTRUCTURACION DE VIAS TERRESTRES.

Para la estructuración de la sección transversal de las vías terrestres es necesario estudiar diversos factores que influyen en su funcionamiento como son:

- ASPECTO ECONOMICO
- CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION.  
CALIDAD, TRATAMIENTO Y POSICION DE LAS CAPAS EN QUE SE USAN, TRANSITO, ETC.

ASPECTO ECONOMICO.- Desde el punto de vista de la infraestructura deben evaluarse y programarse de acuerdo a los beneficios sociales y económicos que puedan proporcionar.

#### TIPOS DE CAMINOS DE ACUERDO A SU UTILIDAD SOCIOECONOMICA

Los caminos se pueden dividir de acuerdo a su utilidad, en caminos de tipo de integración nacional, de tipo social, caminos para provocar el desarrollo y caminos en zonas desarrolladas.

Caminos de integración nacional.- Son aquellos que - - principalmente sirven para tener unido el territorio nacional. La evaluación para programar la construcción de estos caminos queda a criterio de los gobernantes, que en su carácter de estadistas, deciden el monto a invertir y las obras que se deben realizar.

Caminos de tipo social.- Son aquellos que principalmente tienen como finalidad incorporar al desarrollo nacional a los núcleos sociales que han permanecido marginados por falta de comunicación. La evaluación de estos caminos se realiza por medio de costo por habitante servido que se cal-

cule, dividiendo el costo de la obra entre el número de habitantes en la zona de influencia del camino. Por lo general, éste tipo de obras son de características tales que propician los menores costos de planeación, construcción y conservación; con especificaciones geométricas de pendiente y grado de curvaturas máximas; un solo carril, como superficie de rodamiento una capa lo suficientemente aglutinada (en forma natural o con productos químicos), para que resista el tránsito y las condiciones regionales del ambiente.

Caminos para el desarrollo.- Son aquellos que nos sirven principalmente para propiciar el auge agrícola, ganadero, comercial, industrial o turístico de la zona de influencia, y su evaluación económica se realiza haciendo uso del índice de productividad que se obtiene, dividiendo los beneficios entre el costo de la obra, siendo los primeros, la suma de los costos de la producción que se obtiene durante un cierto tiempo, usualmente cinco años. Este tipo de caminos tiene una corona entre 7 y 11 m.

Caminos entre zonas desarrolladas.- Estos se construyen para disminuir los costos de operación, propiciando el mejoramiento del tránsito en los caminos regionales. Tienen como misión comunicar sólo los puntos que han alcanzado mayor desarrollo; por lo tanto serán directos, con lo que se disminuyen las distancias de recorrido, el nivel de servicio debe ser mejor que el de otros tipos de caminos, por lo que

la operación es más segura y cómoda. Con frecuencia son caminos con control de acceso; dependiendo del tránsito, pueden ser de 2, 4 o más carriles, son las llamadas autopistas que generalmente son de cuota sí es que no existe otro camino de libre acceso, y su administración esta a cargo de una dependencia oficial.

La evaluación de estos caminos se hace a través de la relación beneficio-costos, denominado índice de recuperación, que se calcula dividiendo los ahorros que se tendrán al utilizarse la nueva obra entre el costo de la construcción. Los ahorros son de combustible lubricantes horas-hombre (operadores y pasajeros), y de otros elementos menos tangibles como la comodidad y la seguridad que se obtiene al reducir el número de accidentes y por lo tanto las pérdidas materiales y humanas.

#### CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION.

Para la estructuración de una vía terrestre, la sección transversal se puede dividir en dos secciones que son:

- La correspondiente al PAVIMENTO que abarca las capas de carpeta, base y subbase.
- Y la de TERRACERIAS que considera la capa subrasante, y el cuerpo del terraplén.

Para llevar a cabo la estructuración de un camino es -

necesario calcular los espesores de las capas componentes, - lo cual se realiza usualmente a través de los nomogramas que las oficinas de camino han elaborado con base a consideraciones de carácter teórico, en una prueba considerada de resistencia y en las observaciones y correlaciones de campo.

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

#### PROGRAMACION DE CAMINOS

Para la programación de los diferentes tipos de caminos, no se puede hacer una sola lista de ellos, pues como se vio, cada uno de ellos se evalúa de manera diferente y hasta ahora ha quedado a criterio de las autoridades la elección de las obras de cada tipo que se construyen en los períodos de gobierno. Sin embargo, se debe estudiar un modelo matemático con el cual se pueda hacer una programación, no solo de los diferentes tipos de caminos, sino que quedan involucrados, además, todos los tipos de comunicación terrestre, - aérea y marítima, que en general, como los primeros, se evalúan de acuerdo a factores de beneficio-costos para proporcionar o alentar el desarrollo nacional; en éste modelo matemático deberán estar atendidas todas las necesidades de comunicación del país.

A continuación se muestra una tabla que nos brinda in-

formación sobre los tipos de caminos clasificados en función de la cantidad de Tránsito Diario Promedio Anual a futuro (TDPA), y las especificaciones geométricas recomendables dependiendo de las condiciones topográficas de una región, Fig. I-4.

CONCEPTO		UNIDAD	TIPO DE CARRETERA																	
			E			D			C			B			A					
EN EL HORIZONTE DE PROYECTO		km/a	HASTA 100			100 a 500			500 a 1500			1500 a 3000			MAS DE 3000					
TIPO DE TERRENO	MONTAÑO O LOMERO PLANO	-	[Grid of 18 columns for terrain types]																	
VELOCIDAD DE PROYECTO	km/h	30 40 50 60 70	30 40 50 60 70	40 50 60 70	40 50 60 70	40 50 60 70	40 50 60 70	40 50 60 70	40 50 60 70	40 50 60 70	40 50 60 70	40 50 60 70	40 50 60 70	40 50 60 70	40 50 60 70	40 50 60 70	40 50 60 70	40 50 60 70		
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA	m	30 40 55 75 95	30 40 55 75 95	40 55 75 95	40 55 75 95	40 55 75 95	40 55 75 95	40 55 75 95	40 55 75 95	40 55 75 95	40 55 75 95	40 55 75 95	40 55 75 95	40 55 75 95	40 55 75 95	40 55 75 95	40 55 75 95	40 55 75 95		
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE REBASE	m	- - - - -	135 180 225 270 315	180 225 270 315	180 225 270 315	180 225 270 315	180 225 270 315	180 225 270 315	180 225 270 315	180 225 270 315	180 225 270 315	180 225 270 315	180 225 270 315	180 225 270 315	180 225 270 315	180 225 270 315	180 225 270 315	180 225 270 315		
GRADO MAXIMO DE CURVATURA	°	80 30 17 11 75	60 30 17 11 75	30 17 11 75	30 17 11 75	30 17 11 75	30 17 11 75	30 17 11 75	30 17 11 75	30 17 11 75	30 17 11 75	30 17 11 75	30 17 11 75	30 17 11 75	30 17 11 75	30 17 11 75	30 17 11 75	30 17 11 75		
CURVAS	K	CRESTA	m/%	4 7 12 23 36	3 4 8 14 20	4 8 14 20 31	4 8 14 20 31	4 8 14 20 31	4 8 14 20 31	4 8 14 20 31	4 8 14 20 31	4 8 14 20 31	4 8 14 20 31	4 8 14 20 31	4 8 14 20 31	4 8 14 20 31	4 8 14 20 31	4 8 14 20 31		
	K	VALLE	m/%	4 7 10 15 20	4 7 10 15 20	4 7 10 15 20	4 7 10 15 20	4 7 10 15 20	4 7 10 15 20	4 7 10 15 20	4 7 10 15 20	4 7 10 15 20	4 7 10 15 20	4 7 10 15 20	4 7 10 15 20	4 7 10 15 20	4 7 10 15 20	4 7 10 15 20		
VERTICALES	LONGITUD MINIMA	m	20 30 30 40 40	20 30 30 40	20 30 30 40	20 30 30 40	20 30 30 40	20 30 30 40	20 30 30 40	20 30 30 40	20 30 30 40	20 30 30 40	20 30 30 40	20 30 30 40	20 30 30 40	20 30 30 40	20 30 30 40	20 30 30 40		
PENDIENTE GOBERNADORA	%	7 -	6 -	5 -	4 -	3 -	3 -	3 -	3 -	3 -	3 -	3 -	3 -	3 -	3 -	3 -	3 -	3 -		
PENDIENTE MAXIMA	%	13 10 7	12 9 6	8 7 5	7 6 4	6 5 4	5 4 3	4 3 2	3 2 1	2 1 0	1 0 -1	0 -1 -2	-1 -2 -3	-2 -3 -4	-3 -4 -5	-4 -5 -6	-5 -6 -7	-6 -7 -8		
ANCHO DE CALZADA	m	40	60	60	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70		
ANCHO DE CORONA	m	40	60	70	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80		
ANCHO DE ACOTAMENTOS	m	-	-	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
ANCHO DE FAJA SEPARADORA CENTRAL	m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
BOMBEO	%	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
SOBRELEVACION MAXIMA	%	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		

Fig. I-4 Cuadro que muestra las especificaciones geométricas para caminos. La clasificación está en base al tránsito diario promedio anual (TDPA) futuro.

De acuerdo a la demanda de tránsito, las especificaciones deben clasificar a las obras para que las características geométricas que marquen a cada una de ellas, estén de acuerdo a las necesidades y los costos de operación fig. I-4 el factor económico rige las características de pendiente, curvatura, número de carriles o vías paralelas; lo cual está en íntima relación al volumen de carga y tipo de maquinaria utilizada, la posición de la rasante económica con respecto al terreno natural, debe estudiarse cuidadosamente tomando en cuenta las especificaciones, las características topográficas, las dimensiones y necesidades de las obras de drenaje, las condiciones geotécnicas de la zona en cuanto a terrenos blandos, nivel de agua freática, zonas de inundación; se deben de estudiar las condiciones críticas con el fin de decidir hasta qué punto es conveniente mover el centro de línea en el proyecto horizontal, y hasta dónde conviene la construcción de muros de contención. En las vías terrestres es fundamental el estudio de los acarreo de los materiales de construcción, de tal manera que el costo de las terracerías sea mínimo, para lo cual, se hace uso de la curva masa, se toma en cuenta la distancia y el equipo de acarreo a utilizar, así como los tratamientos previos para los materiales. En cuanto a los precios unitarios, éstos deben ser justos para que los contratistas no compensen los precios unitarios bajos con mala calidad de obra, lo mismo se puede decir de los contratos que se otorgan por concurso, pues éstos se de-

ben adjudicar al contratista que presente los precios más reales, y tanto en este caso como en el de los contratos por administración, se deben hacer las correcciones necesarias por cambios en los costos de adquisición, o los debidos a la inflación, que es muy alta, en especial en los países en desarrollo.

De lo anteriormente expuesto puede deducirse que el factor económico está presente desde la planeación, hasta la operación de las vías terrestres.

Un enfoque totalmente técnico sobre aspectos profundos de geometría, geología, topografía, clima y geotécnica se obtendrá en el manual de la SAHOP editado en 1971, y que se recomienda para realizar estudios más profundos, y es "EL MANUAL PARA PROYECTO GEOMETRICO DE CAMINOS".

#### SECCIONES TRANSVERSALES EN VIAS TERRESTRES.

Las secciones transversales típicas de una vía terrestre son tres que se describirán esquemáticamente para carreteras de dos carriles.

Sección en terraplén. Cuando es necesario realizar rellenos (terracerías) para obtener una continuidad en las pendientes del camino. Fig. I-5.

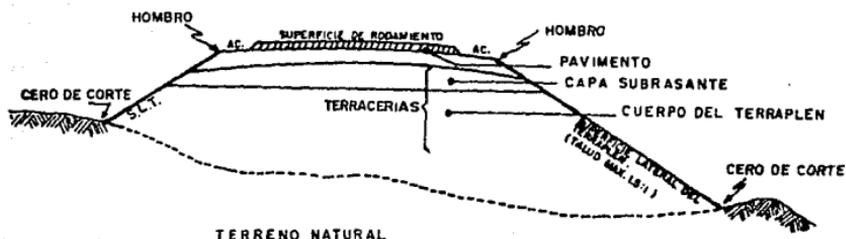


Fig. I-5 Sección transversal típica en corte, para carreteras de dos carriles.

Sección en cajón.- Es aquella que cuando por condiciones topográficas, hay la necesidad de atravesar la vía por estructuras geológicas sobresalientes como cerros, montes u otros y que para cumplir con las pendientes del proyecto hay la necesidad de excavar, y extraer material (terracerías), - ver fig. I-6.

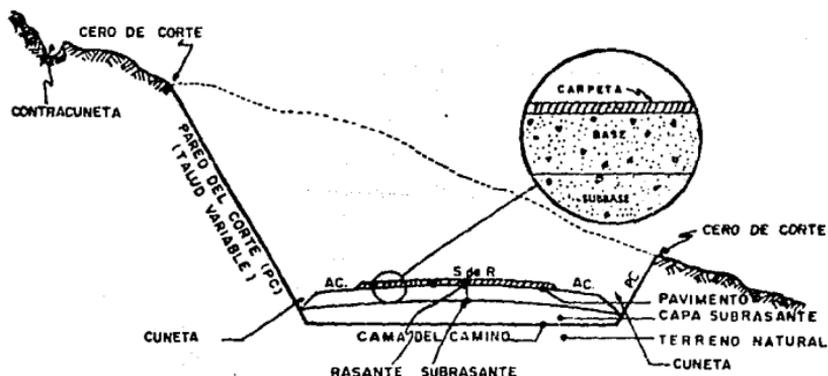


Fig. I-6 Sección transversal típica en corte, para carreteras de dos carriles; se muestra un detalle de pavimento flexible.

La sección mixta o en balcón.- En la sección en la que se nos presentan los 2 casos anteriores de secciones y que pertenece a una porción en terraplén combinada con otra parte pero en cajón, dadas a las condiciones topográficas accidentadas del lugar. Fig. I-7.

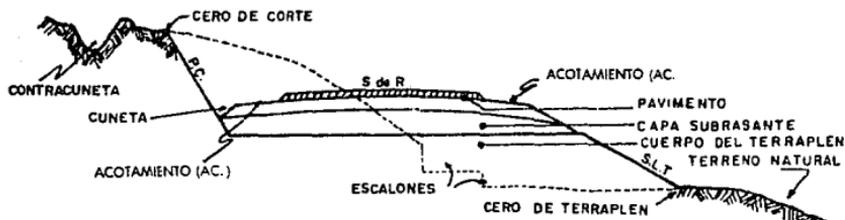
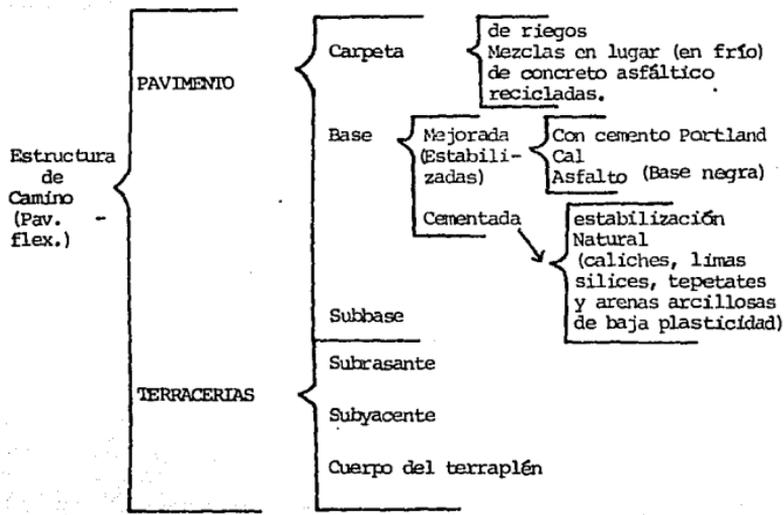


Fig. I-7 Sección transversal típica mixta o en balcón, para caminos de dos carriles.

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE CADA UNA DE LAS CAPAS ESTRUCTURALES QUE FORMAN A UN CAMINO CON PAVIMENTO FLEXIBLE.

Como ya se ha hecho mención anteriormente en éste trabajo, los caminos estructuralmente están formados por capas que se agrupan en dos secciones generalmente:



### TERRACERIAS

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

Las terracerías en terraplén se dividen en dos zonas - (fig. I-8); el cuerpo del terraplén que es la parte inferior, y la capa subrasante que se coloca sobre la anterior; con un espesor mínimo de 30 cm. (por especificaciones). A su vez, cuando el tránsito que va a operar sobre el camino es mayor a 5000 veh. diarios, al cuerpo del terraplén se le colocan los últimos 50 cm, con material compactable, y ésta capa se

denomina capa subyacente (fig. I-9).

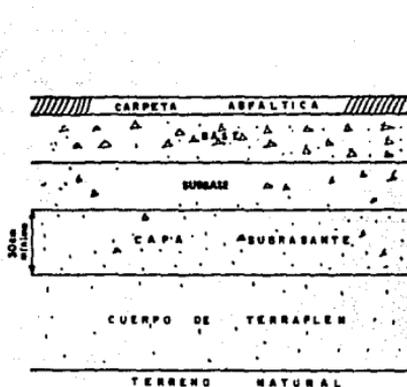


Fig. I-8 Sección transversal en terraplén de una obra vial con volumen de tránsito hasta de 5000 vehículos diarios. Las terracerías se componen del cuerpo del terraplén y la capa subrasante en la parte superior. El pavimento se coloca sobre esta capa.

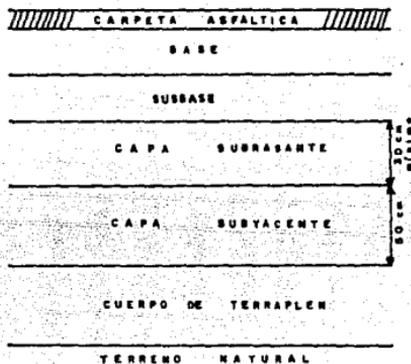


Fig. I-9 Sección transversal en terraplén de una obra vial con volumen de tránsito mayor de 5000 vehículos diarios. Las terracerías se componen del cuerpo del terraplén en la parte inferior; en seguida, se encuentra la capa subyacente de 50 cm de espesor y se coloca la capa subrasante con 30 cm mínimos de espesor; sobre esta última capa se coloca el pavimento.

### CUERPO DEL TERRAPLEN

La finalidad de esta parte de la estructura de una vía terrestre es dar la altura necesaria para satisfacer principalmente las especificaciones geométricas, sobre todo lo relativo a la pendiente longitudinal.

### FUNCIONES DEL CUERPO DEL TERRAPLEN.

- 1).- Recibir y resistir las cargas del tránsito que le son - transmitidas por las capas superiores.
- 2).- Distribuir los esfuerzos a través de su espesor, para - transmitirlos, en forma adecuada, al terreno natural de acuerdo a su resistencia.

### CARACTERISTICAS DEL CUERPO DEL TERRAPLEN.

El tamaño que pueden tener máximo los fragmentos de roca es de 75 cm; para los suelos; hasta hace poco tiempo se aceptaba que tuvieran un límite líquido menor a 100%, pero en la actualidad, los proyectistas exigen que éste valor sea menor a 70%, aunque algunos autores, sin base alguna de control de calidad y en forma muy conservadora, indican que éste valor debe de ser de 40%, y que no deben de utilizarse materiales con más de 30% de partículas, pasando por mallas 200; sin embargo, en forma contradictoria admiten valores relativos de soporte de 5% como mínimo, en especímenes compactados al 95%, del PVSM que son típicos de suelos de muy mala

calidad, bastante lejos de lo que corresponde a los materiales con la granulometría y plasticidad que piden.

#### MATERIALES PARA EL CUERPO DEL TERRAPLEN.

Los materiales que se utilizan en la construcción del cuerpo del terraplén, se dividen en dos: materiales compactables y no compactables. En realidad, ésta denominación no es correcta, pues todos los materiales son susceptibles de compactarse; sin embargo, la clasificación se hace en base a la facilidad de los materiales a ser compactados por los métodos usuales, así como para medir el grado alcanzado.

Se dice que un material es compactable, cuando después de disgregado tiene menos de 20% de retenido en malla de 7.5 cm (3plg), pero menos de 5% de retenido en malla de 15cm (6plg). Los materiales no compactables son los que no tienen las características anotadas.

#### PRUEBAS DE CLASIFICACION Y CONTROL PARA CUERPO DEL TERRAPLEN

Tanto las pruebas de clasificación como las de control son las mismas para el cuerpo del terraplén que para todas las terracerías de un camino, las cuales ya se describirán en las correspondientes a las de la capa subrasante.

#### CONSTRUCCION DEL CUERPO DEL TERRAPLEN.

El acomodo de los materiales puede realizarse de 3 ma-

neras diferentes:

- 1.- Cuando los materiales son compactables, se les debe de dar éste tratamiento con el equipo que corresponde según su calidad; en general, el grado de compactación (Gc) de estos materiales en el cuerpo del terraplén será del 90%; el espesor de las capas será de acuerdo al equipo de construcción.
- 2.- Si los materiales no son compactables, se forma una capa cuyo espesor sea casi igual de los fragmentos de roca; pero no menos de 15cm; sobre ésta capa debe de pasar un tractor de orugas, 3 veces por cada punto de la superficie con movimientos en zig zag; es conveniente que para mejorar el acomodo, se proporcione agua en una cantidad de 100-1 m<sup>3</sup> de material.
- 3.- Si se requiere realizar rellenos en barrancas angostas y profundas, en donde no sea fácil el acceso del equipo de acomodo o compactación, se permite que el material se coloque a volteo, hasta una altura en que ya pueda operar el equipo.

Cuando el tránsito que va a soportar un camino, es mayor a 5000 vehículos por día, como ya se dijo, los 50 cm superiores del cuerpo del terraplén, se construirán con material compactable y se les dará este tratamiento hasta alcanzar un grado del 95% de PVSM; si el material con el que se

construyó la parte inferior también es compactable, la diferencia será sólo el grado de compactación que tendrá cada una de ellas.

#### FUNCIONES DE LA CAPA SUBRASANTE.

Las principales funciones de la capa subrasante son:

- A).- Resistir los esfuerzos debido al paso de los vehículos (tránsito) que le son transmitidos por el pavimento.
- B).- Transmitir y distribuir adecuadamente los esfuerzos anteriores, al resto de la terracería (ya sea cuerpo del terraplén o capa subyacente según el caso).

Estas dos funciones de tipo estructural, son comunes a todas las capas de las secciones transversales de un camino.

- c).- Evitar que cuando el terraplén esté formado de materiales finos plásticos, estos contaminen el pavimento. El tamaño de las partículas deberá de estar entre las finas correspondientes al cuerpo del terraplén, y las granulares del pavimento.
- d).- Evitar que el pavimento sea absorbido por las terracerías, cuando éstas estén formadas principalmente por fragmentos de roca (pedraplenes). En este caso, la granulometría del material debe ser intermedia entre los fragmentos de roca del cuerpo del terraplén, y los gra-

nulares del pavimento (base o subbase).

- e).- Evitar que las imperfecciones de las capas de los cortes se reflejen en la superficie de rodamiento.
- f).- Uniformar los espesores de pavimento, principalmente cuando se tiene mucha variación de los materiales de terracería, a lo largo del camino.
- g).- Economizar espesores de pavimento, en especial cuando los materiales de terracerías requieren un espesor grande, debido a una baja calidad de los materiales del lugar.

#### CARACTERISTICAS DE LA CAPA SUBRASANTE

En cuanto a la capa subrasante, ésta apareció oficialmente en las especificaciones mexicanas en 1957, y sus características mínimas deben de ser:

Espesor de la capa: 30 cm mínimo.

Granulometría tamaño máximo: 7.5 cm (3 plg.).

Grado de compactación 95%: del PVSM.

VRS Valor Relativo de Soporte: 15% mínimo.

Expansión máxima: 5%.

Estos dos últimos valores se deben de obtener por medio de la prueba de Porter estándar. Hasta la fecha las especificaciones para las dos últimas características valo--

res de 15% mínimo y 5% máximo, respectivamente, pero los proyectistas están exigiendo los marcados con anterioridad; sin embargo, estas características deben de adecuarse a la función que tendrá ésta capa en la obra.

#### MATERIALES DE CONSTRUCCION PARA LA CAPA SUBRASANTE.

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

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

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

#### PRUEBAS DE CLASIFICACION Y CONTROL PARA LA CAPA SUBRASANTE

De clasificación.- Son las que se les realizan a los materiales y nos permiten conocer sus características para darles el uso conveniente.

Pruebas de clasificación para  
materiales de terracerías

Granulometría
Plasticidad
Resistencia (VRS)
Expansión
Valor cementante

De control.- Son las que aplicamos a los materiales ya integrados a la estructura vial y nos sirven para verificar la calidad de la obra.

Las pruebas de control son las mismas que las de clasificación en materiales excepto las correspondientes a la compactación.

Las mismas  
Para clasificación

Compactación

$$G_c = \frac{PVS \text{ campo}}{PVS \text{ laborat.}}$$

de Campo.- por sondeos

$$PVS = \frac{W_{\text{sondeo}}}{V_{\text{sondeo}}}$$

de laboratorio

estática.- Próctor
dinámica.- Porter estándar.

#### RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCION DE LA CAPA SUBRASANTE

En cuanto a los procedimientos de construcción, la compactación se debe realizar utilizando el equipo más adecuado, de acuerdo a sus características. En forma general se construye mediante dos capas de 15 cm de espesor mínimo.

Cuando los materiales que se encuentran en las zonas cercanas a la obra no cumplan con las características marca-

das en las normas, se requiere estabilizarlos en forma adecuada, ya sea mecánicamente (mezclandolos con otros materiales sin que pierdan sus propiedades intrínsecas cada uno pero logrando características deseadas) o químicamente (mezclandolos con materiales como: cal o cemento Portland, para bajar plásticidad y aumentar la resistencia, en éste tipo de mezcla sí se modifican las propiedades de los materiales originales); en otras ocasiones para construir las terracerías, es necesario formar caja y sustituir el material extraído por otro de características adecuadas; a menudo éste es el caso para construir la capa subrasante en cortes.

A veces, se tiene que el material de los cortes es adecuado para utilizarse en la capa subrasante, por lo que éste no debe de acarrear de préstamos de banco, sino que se utiliza el mismo material, y para que no se tengan salientes en la cama de cortes y que la compactación sea constante, se escaifican 15 cm de material, se humedece en forma homogénea, se extiende dando el bombeo o sobreelevación de proyecto y se compacta a 95% de su PVSM.

Resumiendo los procedimientos de construcción de la capa subrasante nos adaptaremos a los siguientes requisitos:

- 1).- Elección de bancos.
- 2).- Ataque de bancos.
- 3).- Tratamientos, (disgregados, trituración y cribado), o -

estabilización (química o mecánica).

- 4).- Acarreo y acamellonamiento en el camino.
- 5).- Extendido y compactado.

## P A V I M E N T O

### BASES Y SUBBASES

Definición.- Son capas sucesivas de materiales seleccionados que se constituyen sobre la capa subrasante y debajo de la - carpeta en los pavimentos flexibles.

### FUNCIONES DE LA BASE Y SUBBASE

Las subbases y las bases tienen finalidades y características semejantes, sin embargo, las primeras pueden ser de menor calidad:

Las funciones de éstas capas:

- 1.- Recibir y resistir las cargas del tránsito a través de - la capa que constituye la superficie de rodamiento (car - peta asfáltica).
- 2.- Transmitir, adecuadamente distribuidas, éstas cargas a - las terracerías.
- 3.- Impedir que la humedad de la terracería ascienda por ca - pilaridad.

- 4.- En caso de que haya alguna introducción de agua por la parte superior, permitir que ésta descienda hasta la capa subrasante.
- 5.- La subbase debe proteger a la base aislándola de las terracerías cuando éstas sean formadas por material fino y plástico y cuando la base sea de textura abierta. De no existir el material de sub-base el material de la terracería se introduciría a la base, y produciría cambios volumétricos perjudiciales.
- 6.- La base debe de estar constituida por materiales de buena afinidad con el asfalto de riego de impregnación.

#### CARACTERISTICAS DE BASES Y SUBBASES

Para las carpetas delgadas que se construyen en el país (de 2 a 8 cm). En estos casos las bases se construyen con materiales de valor cementante adecuado, y así evitar que a poco de abrir el camino, el tránsito provoque deformaciones rítmicas transversales, que en lenguaje de caminos se denominan "permanentes", por utilizar únicamente materiales inertes sin cementantes.

LAS BASES CEMENTADAS.- Si los materiales que se van a utilizar para subbases y bases en caminos con 3000 vehículos diarios, no tiene suficiente valor cementante, pueden estabilizarse mecánicamente mezclandoles materiales de baja plasticidad

dad, o sea materiales con límite líquido menor a 18% o contracción lineal menor a 6.5%. Debe tenerse especial cuidado en que al cementarse un material en la forma indicada, no disminuya su resistencia ni aumente la plasticidad más allá de lo que marcan las normas.

Por estudios realizados en el país y en el extranjero, al aumentar finos en un material inerte, la resistencia aumenta hasta un límite para luego disminuir; sin embargo, hay un rango, como se ve en las figs. I-10 y I-11 en que las resistencias de las mezclas son iguales o mayores a las de los materiales inertes.

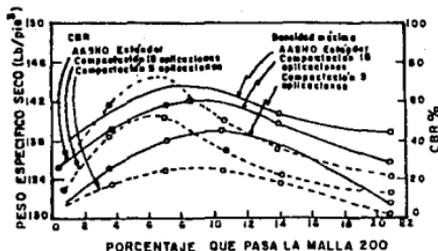


Fig. I-10 Variación del VRS y PVS de una grava al proporcionar diferentes porcentajes de finos; nótese cómo aumenta la resistencia hasta un máximo y que existe un margen de porcentajes en que la resistencia es mayor o igual a la inicial (De Principles Of Pavement Design. Yoder y Witczak, John Wiley, 1975).

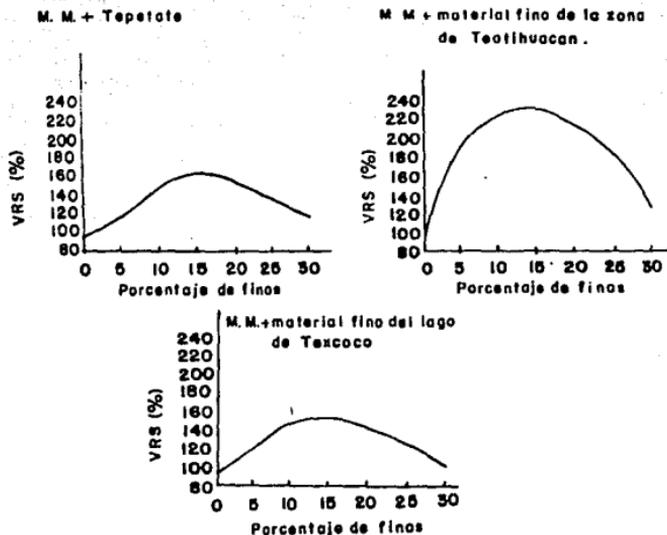


Fig. I-11 Variación del VRS de una grava-arenosa al agregarle diferentes porcentajes de materiales finos (a) tepetate, (b) limo arcilloso de Teotihuacan y (c) limo arcilloso del lago de Texcoco. (De tesis profesional del Ing. Efrén M. Borja G. E.N.E.P. Aragón, 1984).

#### BASES MEJORADAS CON CEMENTO PORTLAND, CAL O ASFALTO.

Las bases sobre las cuales se construyen una carpeta de concreto asfáltico, deben tener un módulo de elasticidad semejante al de ésta última, por lo que conviene estabilizarlas, mezclándoles cal hidratada o cemento Portland, pues de lo contrario con pequeñas deformaciones de la base, la carpeta se puede agrietar en forma prematura.

También se pueden construir bases asfálticas (tamaño - máximo hasta de 5 cm).

Las características anteriores pueden observarse en la fig. I-12, en donde se ve que cuando las carpetas son delgadas, los esfuerzos tangenciales aumentan de un modo considerable, y que lo mismo sucede si los módulos de elasticidad - de las carpetas y de las bases son bastante diferentes.

Como ya se ha dicho el cemento Portland se utiliza para aumentar el módulo de elasticidad de los materiales de base, se pueden utilizar los procedimientos de suelo mejorado o suelo cementado; con el segundo de ellos se alcanza una resistencia mayor; sin embargo, es posible que aparezcan agrietas semejantes a los del concreto hidráulico, formando cuadros de 5 a 7 m por lado que se reflejan en el concreto - asfáltico, lo cual no es sino una falla; en este caso, el - riego de sello se dará después que se presente este agrietamiento, con lo que se obtiene un buen calafateo, además de - las características propias de este tratamiento como lo son: proporcionar suficiente adherencia con las llantas de los - vehículos y servir como superficie de desgaste.

Cuando se utiliza el procedimiento de suelo mejorado - se obtiene menos problemas, aunque la resistencia de la base es menor que en el caso anterior, lo que debe de tomarse en - cuenta en la estructuración de pavimento, si es que los espe

sores de proyecto se corrigen en relación con la calidad de los materiales que se usen.

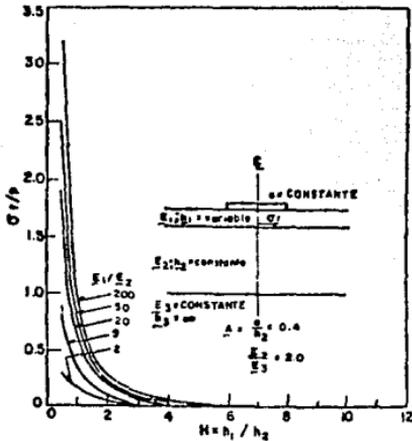


Fig. I-1 Gráficas que muestran que el esfuerzo cortante en la superficie que se encuentra entre la carpeta asfáltica y la base, aumenta en forma considerable al disminuir el espesor de la carpeta ( $h$ ). (De Principles of Pavement Design. Yoder Wilczak, John Wiley, 1975).

Con la misma finalidad, de tener una base con características semejantes a las del concreto asfáltico, es posible construir bases "negras" o asfálticas que pueden producirse en plantas en "frío" (utilizando FR3 o emulsiones) o lo que es menos común y recomendable, en "caliente" (con cemento asfáltico); en estas bases se usan materiales pétreos hasta de 4 cm (1.5 plg.) o 5cm (2 plg.) de tamaño máximo y con 40% menos asfalto que el utilizado para carpetas.

#### MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCION DE BASES Y SUBBASES

Las características de éstos materiales, en cuanto a -

resistencia (VRS de la Porter estándar), plasticidad (contracción lineal) y valor cementante, se indican en las tablas figs. I-13a y I-14; estas características, que son más importantes para éstos materiales, se deben cumplir en forma simultánea.

### MATERIALES DE SUBBASE

CARACTERISTICAS	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRIA		
	1	2	3
Contracción lineal, en porcentaje (Máx.)	6.0	4.5	3.0
Valor cementante, para materiales angulosos en kg/cm <sup>2</sup> (Min)	3.5	3.0	2.5
Valor cementante, para materiales redondeados y lisos en kg/cm <sup>2</sup> (Min)	5.5	4.5	3.5
Valor relativo de soporte estándar saturado, en porcentaje	50 Min.		
Equivalente de arena, en porcentaje	20 Min (Tentativo)		

### ZONAS DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS PARA MATERIALES DE SUBBASE Y BASE

ABERTURA EN MILIMETROS

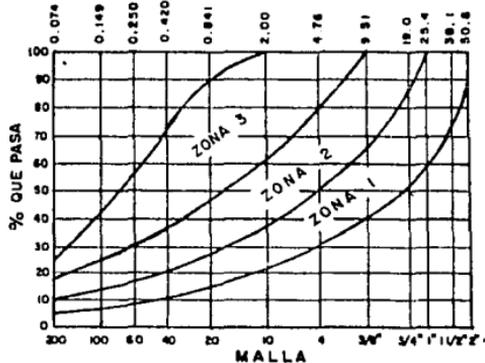


Fig. I-13(a) Características de calidad que se requieren en los materiales que se utilizarán como subbases de pavimento.  
(b) Zonas granulométricas a las que se refieren las especificaciones de base y subbase.

## MATERIALES DE BASE

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

## MATERIALES DE BASE

PARA EMPLEARSE EN	INTENSIDAD DE TRANSITO EN AMBOS SENTIDOS	Valor relativo de soporte estándar	Equivalente de arena (tentativo)	Índice de durabilidad (tentativo)
CARRETERAS	Hasta 1000 vehículos pesados al día (Mín.)	80	30	35
	Más de 1000 Vehículos pesados al día (Mín.)	100	50	40
AEROPISTAS PARA AERONAVES CON PESO TOTAL	Hasta 20 ton (mín.)	80	35	35
	Más de 20 ton (mín.)	100	50	40

Fig I-14 Características de calidad que se requieren en los materiales que se utilizarán como bases de pavimento.

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

Desprendimientos por fricción 25% máximo

De cubrimiento con asfalto (método inglés) 90% mínimo

Desprendimiento de la película 25% máximo.

De granulometría, la curva granulométrica del material\_ debera quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3, sin presentar cambios bruscos de pendientes. Tomando en cuenta que el tamaño máximo - del material no debera ser mayor de 2 plgs. Ver fig. I-13b.

#### PRUEBAS QUE SE LES REALIZAN A LOS MATERIALES PARA BASE Y SUBBASE.

Las pruebas tanto de clasificación como de control de\_ calidad son las mismas para las terracerías hasta la capa de\_ base, por lo tanto son las mismas mencionadas primeramente - en terracerías, evitando de ésta manera la repetición de - - ellas.

#### PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION PARA BASES Y SUBBASES

Desde el punto de vista constructivo, es indistinto re\_ ferirse a la subbase o a la base, por ser los mismos procedi\_ mientos de construcción.

Las subbases y bases se construyen en general, con un\_ material previamente seleccionado mezclado con un cementante natural (limo, caliches, etc.), y agua.

La construcción de la subbase y base se iniciará cuan\_ do la capa subrasante o la subbase, según sea el caso, que - estén ya terminadas.

Los procedimientos de construcción para subbase y base, incluyendo las etapas de muestreo y pruebas preliminares, son como sigue:

1.- EXPLORACION.- Se requiere efectuar una exploración completa de la zona en que se construirá la obra vial, a fin de encontrar posibles bancos para pavimentación. Para ésta etapa es muy útil poder hacer uso de la fotografía aérea, los reconocimientos de tipo terrestre, ya que se realicen a pie, en vehículo o a lomo de bestias.

Los materiales que se pueden utilizar para la construcción de bases o subbases de pavimento flexibles varían desde gravas, arenas de río ó depósitos (aglomerados) o materiales ligeramente o con fuertes contenidos de cementantes (conglomerados) o roca masiva. Existen materiales que aunque son finos, como el "sascab" de la península de Yucatán, de origen calcáreo, que cuando son de baja plasticidad, se comportan muy bien en éstas capas; en cambio otros materiales que a simple vista parecen resistentes, pueden comportarse mal en las fases, como son los materiales pumíticos, que por un lado son fácilmente deleznable y al desmoronarse producen cambios volumétricos de las capas y, por otro lado, son de tipo resiliente, es decir, que presentan rebote, o sea que bajo las cargas reducen su volumen en forma importante, pero que al cesar la carga lo recobran; materiales como éstos son los "jales" existen alrededor de Guadalajara Jal.; la piedra

"pómez" o el "tezontle" tan abundante en la zona del eje volcánico, desde Colima hasta Veracruz. Estos pueden utilizarse en subbases o terracerías, si están empacadas en materiales finos, como tepetates de plasticidad aceptable. Hay - otros que son muy duros al extraerse, pero que se intemperizan con facilidad, como las lutitas, las pizarras, el "choy", que no deben usarse en bases o subbases a menos que se utilicen en zonas francamente áridas.

## 2.- MUESTREO.- Pruebas de laboratorio. Dirección de bancos.

Una vez que sean localizados probables bancos, se realizan sondeos preliminares, para tener idea de la calidad de los materiales, y si los resultados son positivos, se realizan sondeos definitivos en mayor número que los anteriores, para conocer la extensión del banco y la variabilidad del material. Los sondeos pueden ser de cielo - abierto, cuya profundidad varía de 2 a 4 m en materiales poco o nada cementados; para materiales con regular cementación y rocas; se realizan perforaciones con máquina rotatoria.

Realizados los sondeos, se efectúan los muestreos que pueden ser en forma estratificada o integrales cuando se toman de los sondeos a cielo o de frente de ataque de bancos - antiguos. De las máquinas rotatorias se toman como muestra los trozos de materiales que se recuperan en los tubos utilizados. A los materiales muestreados se le realizan las prue-

bas necesarias y de acuerdo a los resultados y a la localización se hace la elección definitiva de bancos.

3.- EXTRACCION Y ACARREO DE MATERIALES.- Para realizar la extracción de los materiales, se debe tomar en cuenta, que aquéllos que se encuentran en forma masiva se deben obtener con tamaños accesibles, que en obras viales son del orden de 75 cm como máximo. Para ello, en primer lugar se barrena la roca, se coloca la dinamita y algún otro producto de nitrógeno que disminuya el costo, se colocan los estopines y se lleva a cabo la explosión. De acuerdo a la cantidad de explosivos que se colocan en los barrenos, a la posición en que se encuentran éstos, y a la dureza de la roca, será el tamaño máximo de los fragmentos que se produzcan.

Una vez que se aflojó el material, ya sea producto de roca o depósitos de aglomerados, se cargan a los vehículos de transporte por medio de diferentes máquinas que se usan de acuerdo a la dificultad que se presenta por el tamaño máximo de los fragmentos; así, se puede realizar la carga por medio de palas manuales, palas frontales o de palas mecánicas. El equipo de transporte deberá ser más reforzado a medida que los tamaños de los fragmentos de roca sean mayores.

4.- TRATAMIENTOS PREVIOS.- En seguida se efectúan los tratamientos previos, o sea los que se llevan a cabo antes de

llegar a la obra; estos tratamientos pueden ser de cribado o de trituración; en la mayoría de los casos en que se necesita alguna estabilización, principalmente tipo químico, también se realiza como tratamiento previo, y en todos estos casos se tienen plantas para realizar con eficiencia los trabajos necesarios.

5.- ACARREO A LA OBRA.- Los materiales tratados previamente, o los que pueden llevarse en forma directa del banco, se acarrean a la obra, en donde se acamellonan, es decir se hace un acordonamiento de sección constante para medir su volumen, y en el caso de que haya faltante, se deben realizar los recargues necesarios. Para acamellonar los materiales se utilizan motoconformadoras.

6.- TRATAMIENTOS EN LA OBRA.- En seguida, a los materiales que lo necesitan, se les efectúan los tratamientos en el tramo, que en general son estabilizaciones mecánicas aunque en ocasiones son también de tipo químico. Para utilizar éstos tratamientos, con el material que constituye el mayor volumen, una vez acamellonado y medido, se forma una capa en parte de la corona de la obra, y sobre de ella se coloca el material que se le va a mezclar en forma acordonada; si es necesario, se disgrega para luego mezclarlos con motoconformadoras hasta homogeneizarlos, después de lo cual, conviene volver a acamellonarlos para comprobar el volumen, la suma de los volúmenes

de los materiales es mayor estando separados que cuando lo están unidos. Para realizar la revoltura en la obra, también se pueden utilizar mezcladoras mecánicas, que para realizar su trabajo requieren que los materiales ya estén debidamente disgregados.

- 7.- COMPACTACION.- En seguida se efectúa el proceso mecánico de aumentar el peso volumétrico de los materiales en un tiempo relativamente corto, brindándole con esto al material mejor resistencia a las cargas y un estado esfuerzo-deformación más aceptable durante la vida útil de la obra.

LA COMPACTACION del material se efectúa humedeciéndolo con una cantidad de agua cercana a la óptima; esta humedad óptima de campo, en general es menor que la del laboratorio, porque las máquinas que se utilizan son de gran peso, aunque se debe de compensar el agua que se evapora mientras se hacen los tratamientos. El agua no se riega de una sola vez, sino que se distribuye en varias pasadas de la pipa (vehículo formado por un tractor y un tanque, con el que se humedece el material.

El material acamellonado se abre parcialmente hacia la corona de la obra y pasa la pipa haciendo un primer riego, luego, la motoconformadora abre una nueva cantidad de material y la coloca sobre el ya humedecido, vuelve a pasar la

pipa y así en seguida, hasta que se proporcione toda el agua necesaria; en seguida se homogeneiza la humedad en todo el material por medio de motoconformadoras, que hacen cambios sucesivos del material hacia un lado y otro, sobre la corona de la obra.

Ya que se consiguió uniformar la humedad en todo el material se distribuye a través de la corona, para formar la capa con el espesor suelto necesario. Se debe cuidar que el material no se segregue, es decir, que no se separen los finos de los gruesos; para ello es conveniente que el material húmedo se coloque en el centro de la corona y se vaya distribuyendo hacia los lados por medio de las motoconformadoras que operarán a una velocidad baja.

Una vez que se tiene extendido el material, se compacta hasta alcanzar el grado de compactación de proyecto, que en general es de 95% del PVSM, aunque a últimas fechas se ha estado pidiendo el 100%. A este respecto cabe mencionar que para pasar de 95% a 100% de compactación, se requiere de un gran esfuerzo o energía, que se traduce en un mayor costo; sin embargo, el aumento de resistencia es relativamente bajo; en este caso valdría mejor agregarle un poco de cal o cemento Portland, con lo que sí se aumentaría la resistencia de una forma considerable, obteniendo de ésta manera ventajas grandes como:

Dar sustentación adecuada a carpetas delgadas.

Deducir costo por energía de compactación.

Disminuir el costo de conservación durante la construcción - de la obra cuando transitan por ella vehículos prematuramente.

La compactación de este material se realiza con máquinas de rodillos lisos, ya sean metálicos o cajas con neumáticos; el peso de estos equipos puede variar entre 15 y 25 - ton; si se cuenta con una unidad pero vibratoria, la eficiencia para obtener la compactación es mayor.

Se insiste que para darle una sustentación adecuada a las carpetas asfálticas delgadas, conviene que las bases - tengan un valor cementante de acuerdo a las especificaciones; ésta cementación, si el material natural no lo tiene, - se le debe proporcionar mezclándole algún otro de baja plasticidad como limo, caliches, tepetates silicosos o arenas - arcillosas, cuyo índice plástico sea menor a 18% o contracción lineal a 6.5%.

Además de la necesidad que se tiene de cementar las - bases para que no aparezcan deformaciones cíclicas en la superficie de rodamiento, se tienen otras propiedades secundarias que busca el constructor: Los materiales de base y subbase con cementación son más fácilmente compactables y disminuyen los costos de conservación en la obra, como ya se dijo

anteriormente.

Para que no se abuse de la cementación, se debe recordar que las especificaciones en cuanto a VRS, plasticidad y valor cementante deben de cumplirse simultáneamente.

8.- RIEGO DE IMPREGNACION.- Una vez alcanzado en las bases - el grado de compactación de proyecto, se dejan secar superficialmente durante varios días, una vez que se tiene a la capa en esa condición, se barre para retirar de ella toda la basura, polvo y partículas sueltas que pueda haber; esta operación se puede realizar con cepillos manuales o mecánicos. En seguida, se debe proporcionar a la base un riego de impregnación, que se realiza distribuyendo asfalto FM-1 en proporción de  $1.5 \text{ l/m}^2$ . Este riego de impregnación sirve para tener una zona de transición, entre la base de materiales naturales y la carpeta asfáltica. El asfalto debe penetrar en la capa de base cuando menos 3mm; si la superficie de la capa está muy "cerrada", es posible que se deba a que tenga un exceso de finos y es probable que el riego entonces no penetre; en estos casos, conviene cambiar la granulometría, reduciendo los finos para proporcionar la penetración del asfalto; si por el contrario está muy abierta, conviene que la proporción de asfalto se aumente a  $1.8 \text{ l/m}^2$ , para que cumpla su finalidad.

### CONSTRUCCION DE BASES CON ESTABILIZACION QUIMICA

Cuando las bases son del tipo de suelo cemento, una vez incorporado el cemento Portland y homogeneizada el agua, de inmediato se extiende el material en la corona y se compacta. En cambio, si es del tipo suelo mejorado, ya incorporados el cemento y el agua, no se permite que se agrume el material, para lo cual es necesario que éste se revuelva 2 ó 3 veces al día durante 3 días, para luego agregar el agua necesaria, extender y compactar.

Si la base es del tipo asfáltico, éstas se pueden efectuar en plataformas, en plantas en frío o en caliente, siguiendo los procedimientos que se indicarán en lo siguiente, relacionado con carpetas asfálticas ya que sólo se diferencian de éstas en el tamaño máximo del agregado y la cantidad de asfalto.

CARPETAS ASFALTICAS = (Gravas arenas + asfalto).

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

- I.- Carpetas construidas por el sistema de riegos.
- II.- Carpetas elaboradas por el sistema de mezclas en el lugar.
- III.- Carpetas elaboradas en caliente en planta estacionaria o de concreto asfáltico.
- IV.- Carpetas recicladas.

FUNCIONES PRINCIPALES QUE DEBE CUMPLIR LA CARPETA ASFALTICA EN UN CAMINO CON PAVIMENTO FLEXIBLE.

- A).- Proporcionar una superficie de rodamiento adecuada que permita en todo tiempo un tránsito fácil y cómodo de los vehículos.
- B).- Impedir la infiltración del agua de lluvia hacia las capas inferiores del pavimento, que ocasionaría una disminución en su capacidad para soportar cargas.
- C).- Resistir la acción destructora de los vehículos y de los agentes de intemperismo.

PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE UNA CARPETA ASFALTICA.

- a).- No deben de desplazarse, ni desintegrarse por la acción del tránsito para el que se diseñaron durante su vida útil (5 a 8 años) con la debida conservación.
- b).- Ser prácticamente impermeables.
- c).- Presentar una superficie que estando seca no refleje los rayos luminosos.

d).- Presentar una superficie uniforme y de textura ligeramente áspera para hacerlas antiderrapantes.

#### MATERIALES UTILIZADOS PARA CARPETAS ASFÁLTICAS.

A).- Materiales pétreos.- Los materiales pétreos para la construcción de carpetas son suelos inertes, provenientes de playones de ríos o arroyos, de depósitos naturales, denominados minas, o de rocas, los cuales, por lo general, requieren de cribado, triturado o ambos para poder utilizarse.

Las características más importantes que deben satisfacer los materiales pétreos para carpetas asfálticas son: granulometría, dureza, forma de la partícula y adherencia con el asfalto.

En este caso, la granulometría es de mucha importancia, y debe satisfacer las normas correspondientes, pues como los materiales pétreos deben cubrirse en su totalidad con el asfalto, si la granulometría cambia, también cambiará la superficie por cubrir. Ya que al aumentar o disminuir los finos, se afecta más a la superficie por cubrir, que cuando hay un cambio en las partículas gruesas, las especificaciones toleran más los cambios en éstas que en aquellos. Al estudiar cada uno de los tipos de carpetas asfálticas, se hará mención de las granulometrías necesarias y de las tolerancias correspondientes.

## B).- Productos asfálticos

Cemento asfáltico.- El asfalto, también llamado cemento asfáltico, es el último residuo de la destilación del petróleo y a temperaturas normales es sólido, de color café oscuro. Para poder ser mezclado con los materiales pétreos, debe calentarse a 140°C, por lo que para ello es necesario contar con una planta. Las especificaciones correspondientes se encuentran en la tabla de la fig. I-15. El más utilizado es el cemento No. 6.

CARACTERISTICAS	Cementos asfálticos			
	CEMENTO ASFALTICO			
	Núm 3	Núm 6	Núm 7	Núm 8
Penetración, 100 g 5s 25°C, grados	180-200	80-100	60-70	40-50
Viscosidad Saybolt-Furor A 155°C, s, mínimo	60	85	100	120
Punto de inflamación (capa abierta de Cleveland), °C mínimo	220	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, 50 cm <sup>2</sup> , 5 h, 165°C:				
Penetración retenida, por ciento, mínimo	40	50	54	58
Pérdida por calentamiento, por ciento, máxima	1.4	1.0	0.8	0.8

Fig. I-15 Especificaciones para cementos asfálticos.

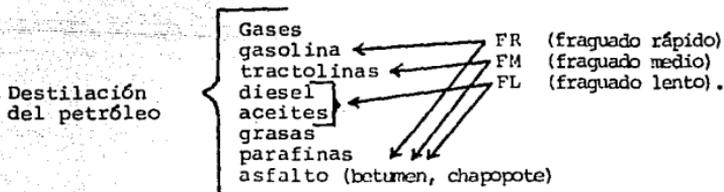
Rebajados asfálticos.- Con el fin de hacer trabajable el cemento asfáltico a temperaturas menores, es necesario fluidificarlo, para lo cual se producen los rebajados y las emulsiones asfálticas.

Los rebajados asfálticos se fabrican diluyendo el con-

creto asfáltico en gasolina, tractolina, también conocida como petróleo diafano, o con diesel o aceites ligeros.

En el primer caso se obtienen los rebajados de fraguado rápido, denominados con FR, en el segundo caso los rebajados de fraguado medio o FM, y por último los de fraguado lento o FL. Los rebajados rápidos, medios o lentos, se pueden producir con diferentes proporciones de cemento asfáltico (entre 50 y 80%) y los correspondientes de solventes o "fluxes" (entre el 50 y el 20%). De esta manera, para cada uno de los rebajados se tienen especificados 5 tipos que se numeran del 0 al 4, teniendo mayor denominación los que tienen mayor cantidad de cemento asfáltico, y disminuye a medida que aumenta el contenido de solventes. Así, se tiene FR del 0 al 4 y FL del 0 al 4 (FL-0, FL-1, FL-2, FL-3, FL-4). Las especificaciones correspondientes se muestran en el cuadro de la fig. I-16.

Para realizar las mezclas con los agregados pétreos y los cementos o los rebajados asfálticos, es necesario que aquéllos estén bien secos, pues de otra manera no hay adherencia con el asfalto.



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-Furuf:					
A 25°C, segundos	75-150				
A 50°C, segundos		75-150			
A 60°C, segundos			100-200	250-500	125-250
A 80°C, segundos					
Destilación: Por ciento del total destilado a 360°C					
Hasta 45°C mínimo	15	10			8
Hasta 45°C máximo	55	50	40	25	40
Hasta 45°C mínimo	75	70	65	55	80
Hasta 45°C máximo	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
Aguá 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

Asfaltos rebajados de fraguado medio

CARACTERISTICAS	G R A D O				
	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-Furuf:					
A 25°C, segundos	75-150				
A 50°C, segundos		75-150			
A 60°C, segundos			100-200	250-500	125-250
A 80°C, segundos					
Destilación: Por ciento del total destilado a 360°C					
Hasta 225°C	25	20	10	5	0
Hasta 250°C	40-70	25-65	15-55	5-40	30 Mo =
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
Aguá 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

Fig. I-16 Especificaciones para asfaltos rebajados de: (a) fraguado rápido (FR) y (b) fraguado medio (FM).

Emulsiones asfálticas.- Para tener un producto asfáltico que se pueda aplicar o mezclar con pétreos húmedos, se fabrican las emulsiones asfálticas, en las que el cemento asfáltico - por medio de un emulsificante y un estabilizador se encuentra en suspensión en agua. De acuerdo al emulsificante usa-

do, se tienen las emulsiones aniónicas (con carga negativa) - y nos las dan materiales calizos, su emulsificante es jabón, y las catiónicas, (su carga es positiva) de materiales silicosos y su emulsificante es ácido sulfúrico, éstas pueden resistir mayores humedades en los pétreos. Las emulsiones también pueden ser de fraguado rápido, medio y lento de acuerdo al porcentaje de cemento asfáltico, puede verse en la fig. - I-17a y b en donde se dan a conocer las normas correspondientes.

Rompimiento.- Es la acción en la que el asfalto se adhiere - al pétreo y el agua queda libre.

(Emulsiones  
asfálticas)  
- Cemento asfáltico  
- Agua  
- Emulsificante  
- Mat. pétreo  
con humedad de  
absorción de 5 a 8%  
en contenido de agua

Aniónicos (carga negativa)  
Emulsificantes (jabones)  
Materiales: Calizas

Catiónicas (carga positiva)  
Emulsificantes (ácido sulfúrico)  
Materiales: silicosos

## Emulsiones asfálticas aniónicas

CARACTERÍSTICAS	GRADO				
	Rompimiento Rápido		Rompimiento Medio	Rompimiento Lento	
	RR-1	RR-2	RM-2	RL-1	RL-2
<b>PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO</b>					
Viscosidad Saybolt - Fural a 50°C, segundos	20-100	75-400	100 M/in	20-100	20-100
Viscosidad Saybolt - Fural a 25°C, segundos					
Residuo de la destilación, porcentaje en peso, mínimo	57	62	62	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia en porcentaje, máximo	3	3	3	3	3
Demulsibilidad					
35 ml de 0.02N CaCl <sub>2</sub> , por ciento, mínimo	60	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

Note: 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).

## Emulsiones asfálticas catiónicas

CARACTERÍSTICAS	GRADO					
	Rompimiento Rápido		Rompimiento Medio		Rompimiento Lento	
	RR-2K	RR-3K	RM-2K	RM-3K	RL-2K	RL-2K
<b>PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO</b>						
Viscosidad Saybolt - Fural, 25°C, segundos					20-100	20-100
Viscosidad Saybolt - Fural, 50°C, segundos	20-100	100-400	50-500	50-500		
Residuo de la destilación, porcentaje en peso, mínimo	60	65	60	65	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia en porcentaje, 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		
Disolvente en volumen, por ciento, máximo	3	3	20	12	6.7	6.7
<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

Note: 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).

Fig. I-17 Especificaciones para emulsiones (a) aniónicas y (b) catiónicas.



Pruebas de clasificación:	Asfaltos	Rebajados	Emulsión
- Penetración .....	X	X	X
- Viscosidad .....	X	X	X
- Punto de encendido .....	X	X	
- Asentamiento en 5 días .....			X
- Carga de la partícula .....			X

#### PRUEBAS A LA MEZCLA ASFALTICA

- Resistencia VRS
- Peso volumétrico (PV)
- Relación de vacíos
- Flujo

#### PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD PARA LA CARPETA ASFALTICA

- Compactación  $G_c \geq 95\%$  PV de la prueba de Porter estándar.
- Contenido de asfalto.
- Permeabilidad  $\leq 10\%$  absorbido superficialmente
- Espesores y terminado.

#### PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CARPETAS QUE SE UTILIZAN EN CAMINOS CON PAVIMENTOS FLEXIBLES.

El tipo de carpeta se encuentra en función del tránsito que circulará sobre ella durante su vida útil como ya se verá un ejemplo de cálculo de diseño posteriormente en este mismo capítulo.

## I.- CARPETAS CONSTRUIDAS POR EL SISTEMA DE RIEGOS.

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

Es una serie sucesiva de capas de productos asfálticos y pétreos sobre la base impregnada.

La forma de construir las carpetas por riegos es la siguiente:

Sobre la base impregnada se da un primer riego de producto asfáltico que se cubre con un riego del material pétreo más grueso que se vaya a usar, por medio de una compactadora de rodillo liso de 10 ton; se le da un acomodo haciendo 3 cubrimientos de la superficie. En seguida se repite to da la operación, sólo que el material pétreo será de dimensiones menores al usado con anterioridad; en seguida, utilizando el material pétreo más fino se vuelve a repetir toda la operación; es decir, se da un riego de asfalto fluidificado, se riega el material pétreo y se acomoda con un rodillo liso. Se deja una semana para que fragüe el producto asfáltico (que se evaporen los solventes) y después, por medio de un barrido manual o mecánico, se retira el material fino que no éste adherido al resto de la estructura. Esto es muy importante para evitar contratiempos a los usuarios, pues cuando no se hace o se realiza en forma defectuosa, se pueden -

romper los parabrisas con las partículas que son expelidas - hacia atrás por las llantas de los vehículos.

El tipo, de carpeta construido como se indico, se denomina de 3 riegos, y los materiales pétreos que se utilizan - tienen granulometría de tipo uniforme, es decir, de una gama corta de tamaños.

El procedimiento de construcción para carpetas de 1 y 2 riegos es semejante, sólo que en el se omiten uno o dos de los ciclos mencionados según sea la necesidad, a continua- - ción se describen esquemáticamente las carpetas por sistemas de riegos y sus especificaciones:

Tipo de carpeta de riego	Granulometría del material pétreo	Riego	Espesor
TRES RIEGOS	-mat. 1 gruesa ( 1 1/4" a 1/4")	primero	5
	-mat. 2 mediana (3/4" a #8=2.38mm)	segundo	a
	-mat. 3 fina (1/2" a #40=0.42mm)	tercero	6 cm
DOS RIEGOS	-mat. 2 mediana ( 3/4" a #8 )	primero	4 cm
	-mat. 3 fina (1/2" a #40 )	segundo	
UN RIEGO	-mat. 3 fina (1/2" a #40 )	de sello	2 cm

Las especificaciones completas para granulometría de -

estos materiales, se pueden ver en la fig. I-18.

**ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS PARA MATERIALES PETREOS QUE SE EMPLEEN EN CARPETAS ASFALTICAS POR EL SISTEMA DE RIEGOS O PARA RIEGOS DE SELLO**

DENOMINACION DEL MATERIAL PETREO	POR CIENTO QUE PASA LA MALLA										
	50.8 mm (2")	38.1 mm (1 1/2")	32.0 mm (1 1/4")	25.4 mm (1")	19.0 mm (3/4")	12.7 mm (1/2")	9.51 mm (3/8")	6.35 mm (1/4")	4.76 mm (Núm. 4)	2.50 mm (Núm. 6)	0.425 mm (Núm. 40)
1			100	95 Mín.		5 Máx.		0			
2					100	95 Mín.		5 Máx.		0	
3-A						100	95 Mín.			5 Máx.	0
3-B							100	95 Mín.		5 Máx.	0
3-E						100	95 Mín.		5 Máx.	0	

Fig. I-18 Especificaciones para materiales pétreos que se emplean en carpetas asfálticas por el sistema de riegos e para riegos de sellos (material 3).

Carpetas	Materiales	1a. Copa (l/m <sup>2</sup> )	2a. Copa (l/m <sup>2</sup> )	3a. Copa (l/m <sup>2</sup> )
3 riegos	Cemento asfáltico pétreo	0.6-1.1 #1: 20-25	1.1-1.4 #2: 8-12	0.7-2.0 #3: 6-8
2 riegos	Cemento asfáltico pétreo	0.6-1.0 #2: 8-12	0.8-1.1 #3: 6-8	
1 riego	Cemento asfáltico pétreo	0.6-1.0 #3: 8-11		

Fig. I-19 Cantidades de material pétreo y cemento asfáltico que se recomiendan para la construcción de carpetas por el sistema de riegos. Para conocer la cantidad de asfalto rebajado o emulsificado, la cantidad aceptada de cemento asfáltico, se divide entre el porcentaje de este material contenido en el producto asfáltico y es el resultado de una prueba de destilación.

Las cantidades aproximadas de material pétreo y cemento asfáltico se muestran en la fig. I-19.

Los productos asfálticos que se utilizan en estas carpetas de riegos son: rebajado de tipo FR-3 y emulsiones de - fraguado medio, en la fig. I-19 se dan las cantidades de cemento asfáltico necesarias para calcular la cantidad de producto líquido, se deberá dividir la cantidad escogida, entre el porcentaje en decimal, de la cantidad del cemento asfáltico que está contenido en el producto que se vaya a utilizar, de acuerdo a la prueba de destilación correspondiente. La cantidad apropiada que se debe utilizar en cada caso depende de la densidad y absorción del material pétreo, así como del tipo de producto asfáltico que se vaya a utilizar. Lo conveniente es que se hagan pequeños tramos de pruebas variando las cantidades entre los rangos recomendables en la fig. I-19 y elegir las proporciones que se comporten mejor.

## II.- CARPETAS DE MEZCLAS ELABORADAS EN EL LUGAR O EN FRIO.

Se llama de mezclas en el lugar por que se incorpora el asfalto, se mezcla, se tiende y compacta en el sitio donde se va a utilizar, los materiales pétreos se mezclan con un rebajado asfáltico FR-3 a 80°C ó una emulsión asfáltica de rompimiento medio.

Los procedimientos de construcción son los siguientes:

- 1.- Exploración, sondeos, muestreos y elección de bancos en la zona de construcción de la vialidad.
- 2.- Obtención del contenido óptimo de asfalto.- Para dicha obtención, generalmente se basa en la prueba de compresión sin confinar, que consiste en realizar diferentes especímenes con diferentes contenidos de asfalto y se llevan a la ruptura.
- 3.- Explotación de bancos.- Se extrae el material, si se trata de conglomerados o de roca firme, se tendrá que hacer uso de explosivos y la extracción se realiza con palas mecánicas o frontales; si se trata de materiales aglomerados, la extracción se puede hacer ya sea con palas manuales, frontales o con dragas.
- 4.- Tratamientos previos.- Los tratamientos son de cribado o triturado de acuerdo al desperdicio que tengan los materiales.
- 5.- Acarreo al tramo.
- 6.- Acamellonamiento y medición del material.- Con el material sobre la capa de base, se procede a acamellonarlo y sacar secciones transversales del camellón para tener la seguridad de que el volumen acarreado es igual al de proyecto para darle el espesor requerido y para recibir la cantidad de cemento asfáltico fijado.
- 7.- Incorporación del asfalto y mezclado.- Una vez verifica-

do el volumen de material pétreo, se extiende un tercio y se le aplica con petrolizadora parte del asfalto requerido, se revuelve, se repite el paso anterior, hasta tener el material pétreo y el asfalto adicionado en su totalidad, se procede de nuevo a revolver hasta que la mezcla alcance una consistencia (uniformidad en color).

- 8.- Evaporación de los solventes.- Si el contenido de los solventes en la mezcla, es mayor a 0.09 con respecto a la cantidad de cemento asfáltico utilizado, se seguirá moviendo la mezcla con la motoconformadora, hasta que ese contenido esté abajo de ese valor.
- 9.- RIEGO de liga.- Este riego se aplica sobre la base impregnada y se da con un asfalto rebajado (FR-3 a 80°C) a razón de  $0.7 \text{ l/m}^2$ .
- 10.- Extensión de la mezcla.- El tendido se realiza de inmediato sobre el riego de liga en la corona con un espesor constante; para que no haya segregación de materiales, es recomendable que se acamellone toda la mezcla hacia el centro, y que la motoconformadora lo vaya extendiendo hacia la orilla a baja velocidad.
- 11.- Compactación.- La compactación se realiza con rodillos lisos, de neumáticos o ambos, con pesos entre 8 y 15 ton, hasta alcanzar el 95% de la prueba de Porter estándar. Al final de la compactación, se borran las huellas de los neumáticos por medio de un rodillo liso, que

cierre a media rueda toda la superficie compactada.

12.- Prueba de permeabilidad para la carpeta.

13.- Riego de sello.- Es un proceso de construcción como para la carpeta de un riego, que tiene como objetivo impermeabilizar la carpeta y brindarle una superficie de desgaste, para mejorar el coeficiente de rugosidad, para señalar la superficie de rodamiento, que los conductores reconocerán por el ruido de las llantas o por el color de la superficie. Como ya se vió el material pétreo es del Num. 3 y producto rebajado del tipo FR-3 o emulsión de fraguado medio ver cuadro siguiente:

Material pétreo	8-10,1/m <sup>2</sup>	9-11;1/m <sup>2</sup>
Cemento asfáltico	3A:0.7-1.0,1/m <sup>2</sup>	3E:0.8-1.0;1/m <sup>2</sup>

Fig. I-20 cuadro de graduación y cantidades para riegos de sello.

### III.- PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION PARA CARPETAS DE CONCRETO ASFALTICO ELABORADAS EN CALIENTE EN PLANTA ESTACIONARIA.

Las mezclas asfálticas en caliente son las que proporcionan las carpetas de mayor calidad, las cuales estan formadas de un material pétreo bien graduado y cemento asfáltico.

como ligante. Se elabora en una planta que calienta el material pétreo a 160°C ó 150°C y el asfalto a una temperatura de 140°C, se dosifican, se mezclan y tiende conservando aún temperatura elevada.

El procedimiento de construcción, para este tipo de carpetas es como sigue:

- 1.- Se eligen los bancos de materiales.- Para elegirlos se sigue la misma secuencia antes ya mencionada en bases, subbases y otros tipos de carpetas.
- 2.- Se hace el proyecto de granulometría en el laboratorio y se encuentra el contenido óptimo de asfalto (cemento asfáltico). Con base en la granulometría se calibra el abastecimiento de la planta mezcladora.
- 3.- Extracción de material de los bancos.- Como en los procesos pasados se sigue la misma secuencia.
- 4.- Tratamientos previos.- El triturado y cribado del material se realizan mediante trituradoras de quijadas, una o dos de cono o de rodillos, cribas y bandas. Es conveniente que se realicen almacenamientos con 3 ó 4 tamaños diferentes.
- 5.- Proporcionamiento en frío.- En la planta de mezclado, se realiza un primer proporcionamiento aproximado de pétreos en frío, por medio de cargadores frontales o utilizando las compuertas de las tolvas, auxiliadas de bandas.

Este primer proporcionamiento se hace para que no haya posibilidad de suspender el mezclado por falta de material de algún tamaño.

- 6.- Calentamiento de pétreos.- Por medio de cangilones, el material se lleva al cilindro de calentamiento y secado, aquí el pétreo se calienta entre 150°C y 170°C. En esta etapa, la planta produce una gran cantidad de polvo que se va a la atmósfera, a no ser que tengan un equipo especial de captación, que en la actualidad es obligado para evitar la contaminación del aire.
- 7.- Cribado del pétreo en caliente.- Ya con la temperatura necesaria, el pétreo se eleva otra vez con cangilones a la unidad de mezclado, en donde, en primer término, se hace un cribado para alimentar 3 ó 4 tolvas con material de diferentes tamaños.
- 8.- Proporcionamiento definitivo.- Se pesa la cantidad de pétreos necesaria de cada una de ellas y se deposita en la caja mezcladora, en donde se provee de cemento asfáltico, a una temperatura de 130°C a 140°C. Se realiza la mezcla hasta su completa homogeneización y, por último, se hace el vaciado al equipo de transporte o a un silo de almacenamiento provisional.

Existen dos tipos de plantas: de producción discontinua o de "bachas" y de producción continua. En la primera, se hace el mezclado en una caja, en donde se depositan el -

pétreo y el asfalto a una temperatura necesaria y por medio de aspas se hace el mezclado, hasta su homogeneización; en general, para llenar un camión, se necesitan de 3 a 4 ciclos de mezclado. En las segundas, el material pétreo y el asfalto se proporcionan en forma continua, en un canal en el cual se tiene un tornillo sin fin de tal longitud que al fin se tenga la mezcla homogénea y la producción se presenta en forma continua.

9.- Acarreo al tramo.- Se transporta la mezcla al tramo, a donde debe de llegar con una temperatura de 110 a 120°C, para lo que, si es necesario, se deben utilizar lonas que la cubran durante el trayecto.

10.- Riego de liga con cemento asfáltico.- Antes de colocar la mezcla se debe de dar un riego de liga con FR-3 sobre la base impregnada, en proporción de 0.7 l/m<sup>2</sup>. Al llegar el equipo de transporte al tramo, descarga su contenido en la máquina extendedora (finisher) que, forma una franja de mezcla asfáltica, evitando segregaciones del material y dándole una ligera compactación. Al terminar de vaciar un camión la mezcla que acarreó, se para el tren de extendido y luego, al ensamblarse el siguiente, se reanuda el trabajo, por lo que entre vehículo y vehículo se tiene una junta en donde puede haber una discontinuidad que deberá ser evitada o reducida por un equipo de rastrilleros, que en número de 4 ó 6 -

por extendedora, tienen como misión, además de lo anterior, la de asegurar una textura conveniente en la superficie y borrar las juntas longitudinales entre las franjas.

11.- Compactación.- A una temperatura mayor de 90°C, se debe iniciar la compactación de la franja, para lo que al principio se utiliza un rodillo de aproximadamente 7 ton, para dar un primer armado y permitir posteriormente la entrada de equipo, con peso de 15 ton aproximadamente, el cual no se puede usar desde el principio, porque produce el desplazamiento de la mezcla. Se pueden utilizar rodillos lisos o neumáticos; al final se deben borrar las huellas de la compactación, utilizando un rodillo liso. El grado de compactación será de 95% como mínimo, con respecto al peso volumétrico de proyecto, que no necesariamente corresponde al máximo. Para conocer este grado de compactación, se extraen corazones con máquinas rotatorias.

12.- Impermeabilización de la carpeta.- Además del control de compactación y de temperatura ya indicadas, se debe controlar la cantidad de asfalto en las mezclas y la granulometría del material pétreo; a 2 ó 3 días de compactada la mezcla, se hace la prueba de permeabilidad, aunque en este tipo de carpetas en general se cumple con las especificaciones respectivas; sin embargo, de

ser necesario, o por requerirse de una capa de desgaste se podrá sellar la carpeta.

Como ya se dijo, una carpeta asfáltica debe ser bastante impermeable, por lo que si una carpeta nueva o una antigua no cumple con esta característica, se deben sellar superficialmente, para lo cual se pueden utilizar principalmente dos procedimientos; riego de sello o mortero asfáltico.

Riego de sello.- El tratamiento de riego de sello es similar a la construcción de la carpeta de un riego, sólo que ésta se hace sobre una base y aquel sobre una carpeta que se requiere impermeabilizar; aunque también sirve como capa de desgaste, para mejorar el coeficiente de rugosidad y aun para señalar la superficie de rodamiento, que los conductores reconocerán por el ruido de las llantas o por el color de la superficie. Se utiliza material pétreo del Num. 3 y producto rebajado del tipo FR-3 o emulsión de fragüado medio a continuación se da una tabla con las cantidades a usar Ver fig. I-20.

El tratamiento de mortero asfáltico.- En inglés se denomina Slurry Seal, es una mezcla íntima de arena y emulsión asfáltica de fragüado medio o lento, que al momento de colocarse, tiene una consistencia pastosa. Las normas del material pétreo (Arena) y las cantidades a utilizarse de éste y la emulsión, se dan en la siguiente tabla: fig. I-21.

COMPONENTES	PROPORCIONES EN PORCENTAJE CON RESPECTO AL PESO SECO DEL MATERIAL PETREO
Emulsión asfáltica	18-25
Agua para dar la consistencia necesaria a la mezcla	10-15

62

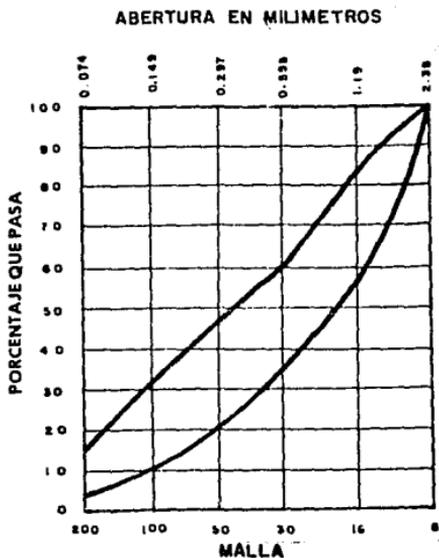


Fig. I-21 Especificaciones de granulometría y cantidades para la elaboración de morteros asfálticos.

Existen en el mercado diferentes tipos de maquinaria móvil que a la vez que mezclan los materiales, los extienden en la superficie; aunque este tratamiento en general es más costoso que el anterior, se tiene la ventaja que no deja partículas sueltas o semisueltas, que con el paso de los vehículos puedan salir como proyectiles a altas velocidades y que en muchas ocasiones son causa de que se rompan los parabrisas de los vehículos, como puede suceder con el riego de sello.

En general todas las actividades para la construcción de las carpetas deben llevarse a cabo con mucho cuidado, y con un buen control de calidad ya que, por ejemplo, cuando se incorpora menos asfalto del necesario, la carpeta se desgranará; en caso de que se tenga más, el asfalto brotará a la superficie tornandola lisa y resbaladiza; lo anterior se aplica en forma especial a los riegos de sello, pues si no están bien ejecutados, pueden hechar a perder una carpeta de buena calidad; por ello, el personal que realice este trabajo debe tener una amplia experiencia para la dosificación de los materiales pétreos y asfálticos, ya que el tiempo transcurrido para colocar el material pétreo depende del tipo de producto asfáltico que se haya utilizado: rebajado o emulsión y dentro de éstas sí es catiónica o aniónica.

#### T R A N S I T O

Para cálculos de diseño se utilizaran los siguientes conceptos:

TDPA (Tránsito diario promedio anual)..- Es el total de vehículos que pasan en ambos sentidos por una carretera durante un año, dividido entre 365 días. Para determinarlo se encuentra en forma directa el tránsito, operación que se llama aforo y puede realizarse por operarios o contadores mecánicos, el conteo puede llevarse durante todo el año, ó sólo en ciertas temporadas y luego proyectarlo a un año por medio -

de técnicas estadísticas. Si se tiene el TDPA de varios - - años consecutivos, se puede conocer la tendencia de incremento.

Cuando se va a construir un camino la forma de simular el TDPA es por medio de llamados Tránsito Inducido y Tránsito generado.

El Tránsito Inducido.- Es aquél que en la actualidad está - utilizando otros caminos, pero que al construirse el nuevo, - hara uso de el para llegar al mismo destino. Es decir, es - el tránsito que ahora hace un rodeo, pero al abrirse el nuevo camino lo utilizará por ser más directo, o por darle mayores facilidades para llegar al sitio deseado, para conocer - con bastante aproximación el tránsito inducido, se utilizan - estudios de origen y destino en los caminos que actualmente - están en operación, en los que se hacen entrevistas tanto a los operadores de vehículos como a los pasajeros.

El Tránsito Generado.- Es aquél provocado por el desarrollo - de la propia zona de influencia del nuevo camino, para conocerlo, se hace una cuantificación de los productos que se generan, tanto agrícolas como ganaderos, industriales, etc., - y se calcula el número de vehículos que serán necesarios para su movimiento y además se estudia el número de vehículos - que se ocuparán para actividades comerciales, turísticas, - etc.

## TRANSITO EN EL CARRIL DE DISEÑO

De el TDPA se necesita conocer el porcentaje que hace uso del carril en donde se cargan más el movimiento, el cual se toma como carril de diseño, a continuación se tabula el porcentaje que toma el carril de diseño dependiendo de la cantidad de carriles de la vía:

% de TDPA QUE TOMA  
CARRIL DE DISEÑO

## CAMINO

DE DOS CARRILES \_ \_ \_ \_ \_ 60 ó 65%

(Uno en cada sentido)

DE CUATRO CARRILES

(Dos por cada sentido) \_ \_ \_ \_ \_ 50%

DE SEIS CARRILES O MAS \_ \_ \_ \_ \_ 40%

(Tres por cada sentido, etc.)

## COMPOSICION DEL TRANSITO

También es necesario conocer la cantidad de vehículos de los diferentes tipos que circulan por las carreteras, los cuales se pueden dividir en grupos para hacer menos difíciles los cálculos; así se pueden dividir en:

Tipo A ..... Se involucran todos los automóviles, las camionetas tipo pick-up y los que tengan un peso menor de 3 ton.

Tipo B .....Aquí en ésta clasificación se encuentran todos los autobuses incluidos.

Tipo C .....Estan los camiones de carga con más de 3 ton y que se desglosan en grupos, ya que tienen gran variedad de características, pues su peso total puede variar desde 3 a 60 ton. con diferentes combinaciones en la posición de sus ejes y llantas. De cada uno de los vehículos es necesario conocer sus pesos, cargados y vacíos; principalmente en los vehículos de carga, que pueden estar compuestos por una unidad de tracción, una caja y un remolque, cada uno conteniendo varios ejes en diferentes combinaciones y con una o dos llantas; así, se tienen ejes sencillos con ruedas sencillas, ejes con ruedas sencillas o dobles y ejes triples con ruedas dobles. La importancia de conocer el tipo del vehículo, sus pesos, la posición y número de ejes y sus ruedas, es la de poder estudiar la magnitud de los esfuerzos en la estructura vial y proyectar adecuadamente la sección transversal.

Otros datos necesarios para conocer la influencia del tránsito, son el factor de incremento anual y vida útil de la obra.

Las características del tránsito, se aplican de dos maneras diferentes para la estructuración de una vía terrestre. La primera de ellas se denomina "a un nivel fijo de tránsito", en el cual se elige el vehículo que más daño le causa a la estructura, tomando en cuenta tanto el número de pasadas como el peso. En la segunda forma, se toma todo el tránsito que utiliza la vía y se denomina de "tránsito mezclado".

#### TRANSITO A UN NIVEL FIJO

Cuando se utiliza el criterio de tránsito a un nivel fijo, se utilizan sólo las características del vehículo que más daño causa a la estructura; sin embargo, las gráficas de proyecto se elaboran empíricamente, tomando en cuenta (implícita y explícitamente) la composición del tránsito total. Por ejemplo, en un camino secundario se puede escoger como vehículo de proyecto uno de peso de 17 ton; en cambio, para una autopista pudiera ser uno de 60 ton. El proyectista de la estructura de la obra vial, entraría directamente en las curvas correspondientes a esos vehículos; sin embargo, al formarse las curvas de proyecto, aunque sea en forma empírica, se tomó en cuenta que el camino secundario operará una

cantidad de automóviles o vehículos de poco peso en una proporción mayor que en la autopista y que en ésta operarán con seguridad un número más grande de vehículos, autobuses y camiones que en aquella. Además, se debe tomar en cuenta que estas curvas de proyecto deben de ser de tipo regional, aun dentro de un país, pues la composición del tránsito puede tener fuertes variaciones.

#### CRITERIO DE TRANSITO MEZCLADO

La segunda forma de utilizar los datos del tránsito para su aplicación en el proyecto de pavimentos, es tomar las características de todos los vehículos o ejes equivalentes, para lo cual se usa el factor de daño.

#### FACTOR DE DAÑO (Fa)

El factor de daño es la relación del daño existente que un vehículo dado le causa a la estructura de la obra, en relación al daño que le causa un vehículo estándar.

En México como en otros países, incluyendo EUA, se utiliza como estándar un eje sencillo con ruedas sencillas, soportando una carga total de 8.2 ton (18,000 lb) o sea 4.1 ton por rueda.

La teoría general en éste criterio es como sigue:

Los vehículos de un cierto tipo, transitando sobre un -

carril de dimensiones determinadas, tienen alguna posibilidad de variar su posición en el carril, de tal manera, que hacia las orillas se tienen menos pasadas; en cambio hacia el centro se encuentra la mayoría de las operaciones; si lo anterior se expresa por medio de una curva de frecuencias que tenemos en la fig. I-22. Si los vehículos tienen bastante posibilidad para variar su posición en el carril, la curva es achatada (curva a) y de poca altura; en cambio, si hay poca opción de que se varíe la posición, la curva es más esbelta (curva b). El primer tipo de posibilidad es la que corresponde a pistas de aterrizaje y el segundo a carreteras o a calles de rodaje para aviones, ya que el ancho de aquellas es mucho mayor que el de una carretera.

Si en el carril en estudio, se tienen diferentes tipos de vehículos, cada uno de éstos tendrá una curva de frecuencias como las a y b de la fig. I-23.

Utilizando la curva de la fig. I-22a, tenemos:

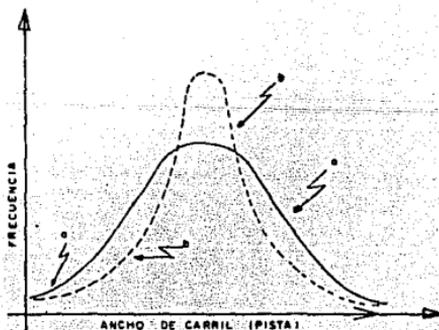


Fig. I-22 Curvas de frecuencia de la posición de los vehículos a lo ancho de un carril de tránsito (o pista) (a) mayor variabilidad; (b) menor variabilidad.

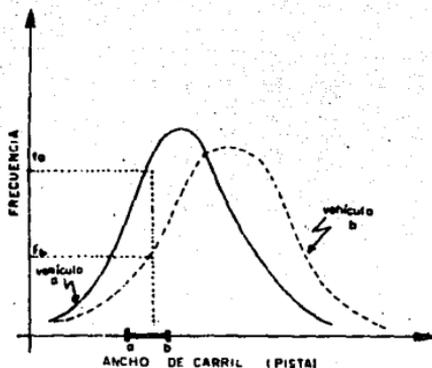


Fig. I-23 Curvas de frecuencia para dos tipos diferentes de vehículos que operan en un mismo carril (pista).

Factor de Daño.- Es la relación del daño que el vehículo en estudio puede realizar en una pasada al pavimento ( $da$ ) entre el daño que también, en una pasada provoca el vehículo estándar ( $dt$ ).

$$\text{Factor de Daño} = Fa = \frac{da}{dt} \dots\dots\dots (1)$$

Para conocer el número total de pasadas ( $Na$ ), que el vehículo en estudio puede realizar, dividimos el daño total que puede resistir el pavimento ( $D$ ), entre el daño que este vehículo, produce en una pasada ( $da$ ).

$$Na = \frac{D}{da} \dots\dots (2) \text{ despejando } da = \frac{D}{Na} \dots\dots\dots (2)$$

y el número de pasadas del vehículo estándar que resiste el

pavimento es:

$$Nt = -\frac{D}{dt} \dots\dots(3) \text{ despejando } dt = -\frac{D}{Nt} \dots\dots(3')$$

sustituyendo (2') y 3') en (1) tenemos:

$$Fa = -\frac{da}{dt} = -\frac{Nt}{Na} \dots\dots (4)$$

o sea que el factor de daño se obtiene con el número de pasadas con que lleva a la falla al pavimento el vehículo estándar entre el número correspondiente al vehículo en estudio.

De la Ec. (4) podemos obtener:  $da = Fa dt$

Si durante la vida útil del pavimento, el vehículo pasa  $fa$  veces (frecuencia) por la franja (a-b) del carril o pista, el daño causado en ella por este vehículo será:  $Da - (a-b) = da fa \dots\dots (5)$ .

El daño causado por los diferentes tipos de vehículos que pasan por esa misma franja será:  $D(a-b) = \sum_{a=1}^n da fa \dots\dots (6)$

Sustituyendo (4') en (6):  $D(a-b) = \sum_{a=1}^n Fa dt fa \dots\dots (7)$

La franja del carril que sufre el mayor daño, es aquella en que se incluye la máxima frecuencia para todos los vehículos, por lo que el daño máximo ( $D_{m\acute{a}x.}$ ) en el carril de diseño será:  $D_{m\acute{a}x.} = \sum_{a=1}^n Fa dt fa_{m\acute{a}x.}$

Sustituyendo el valor de  $D_{\text{máx.}}$  en la Ec. (3) obtenemos:

$$Nt = \frac{\sum_{a=1}^n Fa \frac{dt}{dt} fa_{\text{máx.}}}{dt} = \sum_{a=1}^n Fa fa_{\text{máx.}} \dots \dots \dots (9)$$

Por lo que el número de vehículos estándar que pueden pasar por un carril de carretera o pista de aeropuertos, es igual a la suma de los productos de los factores de daño de los vehículos correspondientes por la frecuencia de cada uno de éstos en la franja más crítica.

La  $fa_{\text{máx.}}$  para los diferentes vehículos, dependen del ancho del carril (pista), del ancho de los vehículos. En carreteras, los vehículos tienen muy poca posibilidad de variar su posición en el carril, por lo que la curva de frecuencias es bastante esbelta y es por ello que en este caso, se toma cada vehículo que pasa como un cubrimiento.

De esta manera la formula (9) queda para carreteras:

$$Nt = \sum_{a=1}^n NaFa \quad \text{siendo } Na = \text{número de vehículos de un tipo a}$$

$Fa = \text{factor de daño para cada tipo de vehículo.}$

El factor de daño varía de un país a otro y entre las diferentes oficinas de proyecto puede ser distinto, de acuerdo a los elementos con que se calculen.

Algunos autores toman como base, para su cálculo, la

relación de esfuerzos a una determinada profundidad, otros lo hacen por medio de deformaciones.

Deacon y Witczak, para pavimentos flexibles calculan:

$$F = (Ea/Et)^4$$

en donde Ea, Et.- Son las máximas deformaciones principales en el fondo de la carpeta asfáltica, causadas por un vehículo cualquiera (a) y el vehículo tipo (t).

La AASHO toma como vehículos tipo uno de 8.8 ton para ejes sencillos y el de 14 ton para eje tándem.

Yoder encontró que un promedio de los factores de daño utilizados por diferentes agencias de caminos de EUA, es:

$$Fa = (Wa/Wt)^4$$

En la que W es el paso de los vehículos a (en estudio) y t (tipo) teniendo cuidado de utilizar éste en su modalidad de sencillo o tándem de acuerdo al tipo de aquél.

Witczak y Deacon han demostrado que en el comportamiento de pavimentos flexibles, la variable más significativa es el espesor de la carpeta asfáltica, ya sea en el criterio de la doble o triple capa.

En la estructuración de pavimentos flexibles, el factor más importante de proyecto es el de resistencia (VRS u otro),

y el dato de tránsito tiene menor importancia, sobre todo - para grandes volúmenes, por lo que no es necesario profundizar demasiado en el cálculo de factores de daño, pues se - corre el riesgo de tratar de exagerar los milímetros y des- cuidar los kilómetros.

Diferentes asociaciones de los EUA hacen cálculos aproximados para encontrar el número de ejes de 8.2 ton, sin que se llegue a detallar la composición del tránsito.

#### CALCULO DEL TRANSITO DURANTE LA VIDA UTIL DE LA OBRA

A continuación se muestra una manera sistematizada para encontrar el número de ejes equivalentes de 8.2 ton en el - carril de diseño, teniendo como datos el (TDPA), en el número de carriles de la carretera, la composición del tránsito, y los factores de daño para cada vehículo o tipo de vehículos. Se considera que los factores de daño de la AASHO o - los que se obtienen para la profundidad de 40cm, de acuerdo - al criterio del Instituto de Ingeniería de la UNAM son aceptables para este cálculo en general para el proyecto de la - sección estructural de una vía terrestre.

En la parte superior se encuentran los datos en la siguiente forma Fig. I-24 de acuerdo al tipo de caminos se calcula el TDPA en el carril de diseño, para el cual se multiplica el TDPA del camino por el porcentaje, en decimal que - le corresponde según el número de carriles que tengan 60% -

para dos, 50% para cuatro, y 40% para 6 o más.

En la columna 3 de acuerdo a la composición del tránsito se calcula la cantidad de cada tipo de vehículo.

Los datos de la columna 5 se obtienen multiplicando los de la columna 3 por los factores de daño correspondientes - que se colocan en la columna 4 obtenidos de la fig. I-25; el número total de ejes estándar equivalentes es igual a la suma de la columna 5 o sea, es el tránsito diario promedio - - anual equivalente total, en el carril de diseño (TDPA) etc.

En la actualidad, los métodos que utilizan el criterio de tránsito mezclado, calculan el total de número de ejes - estándar que harían uso de la vía durante los (n) años de - vida útil. Este volúmen de tránsito se calcula con la si - - guiente ecuación:  $T_e = TDPA_{et} \times C$  donde:

$T_e$  = Volumen de ejes estándar en la vida útil.

$C$  = Factor de proyección del tránsito al futuro.

$$C = \frac{(1+r)^n - 1}{r} \quad 365 \text{ donde } r = \text{Es el factor de incre-}$$

mento anual de tránsito que en forma aproxima da puede ser:

$r = 12\%$  para caminos -  
nuevos

$r = 4\%$  para caminos con  
más de 10 años -  
de construidos.

$r = 8\%$  en promedio.

El dato final que se reporta en la forma mencionada, es precisamente este dato de tránsito total equivalente en la vida útil de la obra.

En diferentes ocasiones, se ha tratado de calcular los espesores de pavimentos con base en cálculos de tránsito futuro para una cierta cantidad de años de vida útil, sin tomar en cuenta la capacidad del carril de diseño, de tal manera que si el camino llegara a esa vida útil, podría tener una operación completamente congestionada, por lo que más que un mejoramiento de un pavimento, lo que se requeriría sería un aumento en el número de carriles. Por lo anterior, el número de años ( $n$ ) de vida útil del camino, se debe calcular considerando, que en el último año se tenga en el carril de diseño un vehículo de acuerdo con el nivel de servicio que se espere tener después de esos " $n$ " años, de acuerdo a las características, el cual corresponde en general al nivel C (para caminos de 2 carriles 5000 automóviles diarios, para los de 4 carriles 9000, en terreno plano).

Cálculo de espesores para pavimentos flexibles  
método de portar modificado (patrón)

Obra \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_  
 Tramo \_\_\_\_\_ Subtramo \_\_\_\_\_  
 Datos para proyecto:  
 Tránsito diario promedio anual en dos sentidos (TDPA) \_\_\_\_\_ VEH.  
 Tránsito en el carril de diseño ( % ) \_\_\_\_\_ Período de diseño (n) \_\_\_\_\_ años  
 Tasa anual de crecimiento (r) \_\_\_\_\_ %factor de proyección al futuro (c) \_\_\_\_\_

Tipo de vehículos	Dist. del tránsito (%) (2)	Dist. del tránsito (%) (3)	Coefficiente de equivalencia (4)	Ejes sencillos equivalentes de 8.2 T (5)
Vehículos hasta 16 ton			.06	
Autobuses			2.1	
Camiones (15 a 23 ton)			2.1	
Tractor c/semirremolque (25 a 33 ton)			4.1	
Camión c/ remolque (35 a 55 ton)			6.4	
Tractor c/ semi y remolque (65 a 85 ton)			8.4	
			Suma	

Tránsito equivalente acumulado  
 Al final de la vida útil = factor de proy. (C) X suma = \_\_\_\_\_

Cálculo de espesores  
 VR, de diseño del cuerpo del terraplén \_\_\_\_\_ %  
 D<sub>1</sub> = Espesor de capa subrasante + pavimento \_\_\_\_\_ cm de grava  
 VR, de diseño de la capa subrasante \_\_\_\_\_ %  
 D<sub>2</sub> = Espesor de pavimento \_\_\_\_\_ cm de grava

Estructuración del pavimento

Capa	Tipo	Es. Real	Fact. de Conv.	Esp. de gravas (cm)		
				por capa	de par	Total
Carpete de						
Base de						
Subbase						
Subrasante						

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

Fig. I-24. Hoja para el cálculo de tránsito equivalente (8.2 ton) acumulado durante la vida útil de una carretera.

Tipo de vehículo	Peso total (ton)	Coeficiente de equiva- lencia	Peso de ejes cargados (ton)				
			Tractor		(semirra- molque)	R e m o l q u e	
			Delantero	Trasero		Delantero	Trasero
Automóvil A2	2	.003	1(s)	1 (s)			
Autobús							
B2	15.2	2.0	5.5(s)	10.0(s)			
B3	20.0	1.8	5.5(s)	14.5(t)			
B4	27.0	2.3	9.0(t)	18.0(t)			
Camiones							
A'2	5.5	0.06	1.7(s)	3.8(s)			
C2	15.5	1.8	5.5(s)	10.0(s)			
C3	23.5	2.2	5.5(s)	18.0(t)			
C4	28.0	2.5	5.5(s)	22.5(tr)			
T2-S1	25.5	4.0	5.5(s)	10.0(s)	10.0(s)		
T2-S2	32.5	4.2	5.5(s)	10.0(s)	18.0(t)		
T3-S2	41.5	4.3	5.5(s)	18.0(t)	18.0(t)		
C2-R2	35.5	5.5	5.5(s)	10.0(s)		10.0(s)	10.0(s)
C3-R2	43.5	6.0	5.5(s)	18.0(t)		10.0(s)	10.0(s)
C3-R3	51.5	6.3	5.5(s)	18.0(t)		10.0(s)	18.0(t)
T2-S1-R2	45.5	6.1	5.5(s)	10.0(s)	10.0(s)	10.0(s)	10.0(s)
T3-S3	50.5	6.0	5.5(s)	18.0(t)	22.5(tr)		
T2-S2-R2	53.5	6.4	5.5(s)	10.0(s)	18.0(t)	10.0(s)	10.0(s)
T3-S1-R2	53.5	6.6	5.5(s)	18.0(t)	10.0(s)	10.0(s)	10.0(s)
T3-S2-R2	61.5	8.4	5.5(s)	18.0(t)	18.0(t)	10.0(s)	10.0(s)
T3-S2-R3	69.5	8.2	5.5(s)	18.0(t)	18.0(t)	10.0(s)	18.0(t)
T3-S2-R4	77.5	8.0	5.5(s)	18.0(t)	18.0(t)	18.0(t)	18.0(t)

(S) = eje sencillo; (t) eje tándem; (tr) = eje triple.

Fig. I-25 Tabla que muestra los pesos de los diferentes tipos de vehículos automotores y los coeficientes de equivalencia a vehículos estándar de 8.2 ton.

## CARGAS PERMISIBLES EN MEXICO PARA LOS VEHICULOS

En México, las cargas máximas legales por eje son:

- 5.5 ton por eje sencillo rueda sencilla,
- 10.5 ton para eje sencillo rueda doble,
- 18.0 ton para eje tándem rueda doble
- 27.0 ton para eje triple rueda doble; de esta manera se tienen legalizadas las diferentes combinaciones de vehículos - que se señalan en la lista de la fig. I-25 en la que se indi-

can también las cargas totales y los diferentes ejes de los que se constan; así mismo, se proporcionan los factores de equivalencia que el Ing. Fernando Olivera B. recomienda para encontrar los ejes equivalentes de 8.2 ton, que podrían ser usados en la forma de la fig. I-24, detallando, si así se requiere, la lista que ahí se presenta; la nomenclatura para los vehículos es como sigue:

C- Camión con un chasis

T- Tractor (unidad sólo con motor)

S- Caja o semirremolque jalado directamente por el tractor.

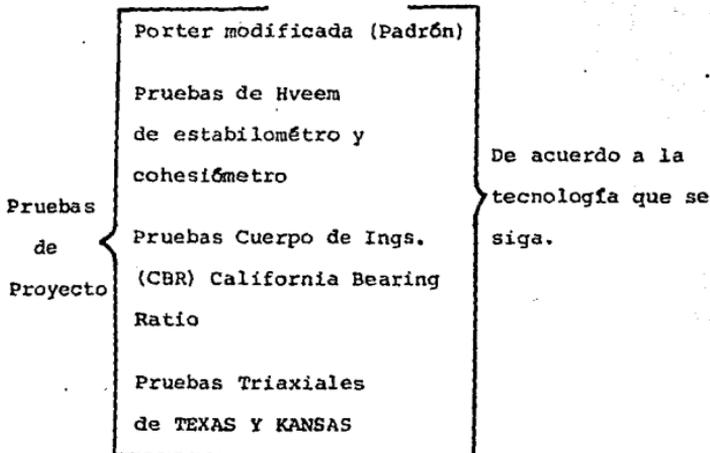
R- Remolque; caja jalada por el semirremolque

El número que sigue a cada letra es la cantidad de ejes en cada porción.

#### PRUEBAS DE DISEÑO DE PROYECTO DE CAMINOS (PAVIMENTOS FLEXIBLES)

Existen en la práctica mundial numerosas pruebas de resistencia para el proyecto de espesores de pavimentos, algunas de ellas muy sencillas y otras bastantes elaboradas, a continuación se muestra un esquema con las principales pruebas actualmente usadas para proyecto:

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**



En la literatura la prueba de CBR (California Bearing Ratio) data su uso de 1925 tanto para clasificar los materiales como para efectuar el proyecto de los espesores de una vía terrestre carretera, inicialmente en la agencia de carreteras de California, de acuerdo con lo establecido con el Sr Porter se elaboraba el espécimen en forma estática.

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

#### PRUEBA DE DISEÑO "METODO PORTER MODIFICADA" (PADRON)

En éste trabajo únicamente se describirá éste método -

por ser con el que se diseñan nuestras vías terrestres y una tecnología mexicana de ingeniería civil de aportación a nivel mundial.

A principios de la década de los cuarenta los técnicos mexicanos dedicados a las vías terrestres se interesaron por establecer o adoptar una prueba de resistencia que fuera sencilla pero eficaz para el proyecto de pavimentos, y después de haber revisado la prueba Porter y la técnica del estado de California (E.U.), ellos establecieron la prueba que hoy se usa en México con buenos resultados y la denominaron PORTER MODIFICADA (PADRON), esto en honor al Ingeniero mexicano RODRIGO PADRON LL. que dirigió a un grupo de técnicos mexicanos en la investigación para el desarrollo de la nueva tecnología mexicana. Las interrogantes y respuestas que surgieron en los técnicos mexicanos para el desarrollo de la mencionada prueba fueron:

- 1.- ¿Hay diferencias al compactar los especímenes en forma estática, como se utilizaba en California, o en forma dinámica, como lo hacía el cuerpo de ingenieros? Si las hay, ¿Cuál es la aceptable?

Resp. La compactación de tipo dinámico es más tardada y sus resultados tienen una mayor variabilidad, debido a que se rompen las aristas de las partículas alisándolas en forma superficial.

2.- ¿Es suficiente elaborar un sólo espécimen con un determinado peso volumétrico y humedad como se hacía en California o es necesario realizar una gama amplia de combinaciones como en el método del Cuerpo de Ingenieros? ¿Cuáles son las combinaciones necesarias?

Resp.- En general, los VRS obtenidos de especímenes compactados dinámicamente son menores a los especímenes compactados estáticamente ver (fig. I-26).

3.- ¿El saturar los especímenes antes de proceder a su penetración representa una condición real de campo?

Resp.- Los especímenes compactados dinámicamente son menos sensibles al cambio de la calidad de los materiales.

En la fig. I-26 se observan los valores de VRS obtenidos de especímenes compactados estáticamente en las ordenadas; cada par de valores se obtuvieron a igualdad de pesos volumétricos y humedades. En primer lugar, se puede observar que los valores de las abscisas son mayores a los correspondientes de las ordenadas, pero que las diferencias entre ambos es mayor a medida que la calidad de los materiales es mejor; así si para el VRS de las abscisas tenemos un valor de 60, el correspondiente en las ordenadas es 50; y si en las abscisas tenemos 120, en las ordenadas apenas se tienen 80; lo que indica que según los VRS obtenidos en forma dinámica, los materiales son mejores, pues el primero podría considerarse como una

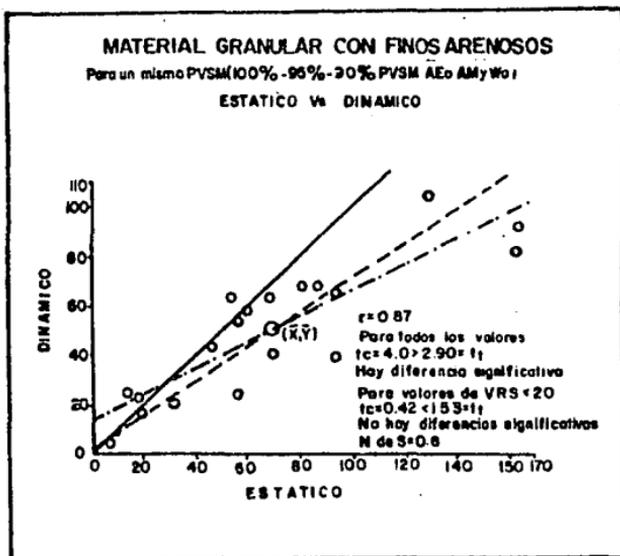


Fig. I-26 Gráfica en la que se observa que los valores de VRS obtenidos de especímenes compactados en forma dinámica son menores a los compactados en forma estática (Estudio SAHOP, 1978).

subbase o una base regular; en cambio, los resultados que se obtienen en el segundo las abscisas nos dicen que ese material es muy bueno para subbase, pero el segundo es bueno para una base; al utilizar compactación dinámica se pueden rechazar materiales que pudieran ser de buena calidad.

En cuanto a las humedades de prueba, en la investigación realizada se encontró que las humedades de campo variaban de  $w_o - 2\%$  a  $w_o + 4\%$ ; en el laboratorio se encontró que los

especímenes con humedades mayores a  $W_o+3$  reportaron valores de soporte del mismo orden, por lo que no era conveniente elaborar especímenes con humedades mayores.

En campo, la mayor cantidad de agua se encontró en zonas mal drenadas de alta precipitación y la menor cantidad en lugar de poca precipitación y bien drenadas. (El drenado o no se refiere al natural del lugar).

En cuanto a los pesos volumétricos, se encontró que donde se tenían mayores humedades, aquéllos eran menores y lo contrario sucedía si se tenían menores humedades; lo anterior es lógico ya que los materiales o mayores humedades tienden a expandirse, en cambio, cuando los materiales pierden agua tienden a contraerse y a aumentar su peso volumétrico.

Por último, en relación de que si la saturación era una posibilidad real en las carreteras, se llegó en aquel entonces a que eso no es posible, a menos que se tuvieran zonas con agua entarquinada o sea zonas de inundación, en cuyo caso debían tomar las medidas necesarias para proteger la estructura.

En general, la prueba PORTER MODIFICADA (PADRON) se lleva a cabo en especímenes que se compactan a diferentes pesos volumétricos y diferentes humedades, de tal manera que el proyectista puede obtener los especímenes que crea necesari-

rios para conocer el comportamiento del suelo que está estudiando, incluyendo el de las condiciones críticas que se presentan en la realidad.

El objetivo es obtener el valor relativo de soporte de un espécimen compactado estáticamente para obtener la combinación del peso volumétrico y humedad que el proyectista crea conveniente, de acuerdo a las combinaciones críticas que se esperan en la obra, el espécimen no se satura.

De acuerdo a los resultados de la investigación ya reseñados, se dieron las siguientes recomendaciones para elaborar los especímenes:

Condiciones de zona	Grado de Compactación	Humedad
Zonas con baja precipitación		
y buen drenaje ( $NAF > 5m$ ) (natural)	100%	$W_o$
Zonas con condiciones regulares de drenaje natural y precipitación ( $5m > NAF > 1m$ )		
	95%	$W_o + 1.5\%$
Zonas con alta precipitación		
y mal drenaje ( $NAF < 1m$ ) (natural)	90%	$W_o + 3.0\%$

El grado de compactación ( $G_c$ ) es con respecto al PVSM obtenido en la prueba de laboratorio de acuerdo al tipo de

material y  $W_o$  es la humedad óptima correspondiente, éstos resultados se registran en la forma fig. I-27.

En cada uno de los bancos para materiales de terracerías o de capa subrasante, se realizan tantos sondeos como sea necesario, para conocer la calidad que tengan y su capacidad o volumen utilizable. Para cada sondeo se tendrá un VRS obtenido de la Porter Modificada, pero de ellos, ¿Cuál será el valor de proyecto?.

Ensayo No. \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_ Laboratorio \_\_\_\_\_ Equipo No. \_\_\_\_\_

Peso ( $P_1$ ) del molde, collarín y base, gramos \_\_\_\_\_ Volumen (V) del molde,  $\text{cm}^3$  \_\_\_\_\_

Allura (a) del borde superior collarín a la placa de carga,  $\text{cm}^3$  \_\_\_\_\_

Peso volumétrico seco máximo ( $\gamma_m$ ),  $\text{kg}/\text{m}^3$  \_\_\_\_\_ Humedad óptima ( $W_o$ ) \_\_\_\_\_

Humedad que contiene el material ( $W_1$ ) \_\_\_\_\_

Grado de concentración, % _____					
Peso volumétrico seco ( $\gamma_s$ ) $\text{kg}/\text{m}^3$ _____					
Humedad de prueba ( $W_1$ ) _____					
Agua por agregar, $\text{cm}^3 = 5000 \frac{(W_2 - W_1)}{(100 - W_1)}$					
Peso mat. húmedo, grs. $P_{m,h} = \frac{\gamma_s}{1000} \frac{(100 + W_1)}{100} V$					
Peso de equipo con el mat. húmedo, grs = $P_1 + P_m$					
Carga de compactación, kg _____					

Fig. I-27 Forma para efectuar los cálculos y registrar los resultados de la prueba de Porter modificada (Padrón).

- a.- Si se toma el valor mayor de todos ellos, la obra estará diseñada para todos los demás valores menores.
- b.- Si se toma el menor, el cálculo estará sobrediseñado para todos los valores restantes.

El VRS de proyecto se acostumbra para un banco de ochenta percentil de los valores obtenidos, o sea, aquel valor que es menor del 80% de los valores que se obtienen y que es mayor a la vez del 20% de los restantes, con lo cual se podría pensar que se tiene un riesgo del 20% de que la obra falle; sin embargo no es así, ya que este valor es menor al medio y por otro lado existe la posibilidad de que el 20% de los valores menores se hayan obtenido de pruebas ejecutadas, y que en realidad la calidad de los materiales sea mayor.

Para calcular el 80 percentil o sea el VRS de proyecto, se procede como se indica en seguida:

- 1.- En una zona en donde puede ser posible obtener material de la calidad deseada, se hacen 3 ó 4 sondeos preliminares, se efectúa el muestreo y en el laboratorio se realizan las pruebas de clasificación y de Porter Modificada (Padrón).
- 2.- Si el resultado de las pruebas indica que el material es adecuado para la capa que se desea construir, se realiza un mayor número de sondeos en forma de cuadrícula, se muestrean los materiales y se les realizan las pruebas -

de clasificación y Porter modificada (patrón) con el resultado de las pruebas, en primer lugar se conoce y delimita la extensión del banco y enseguida se calcula el o los valores del VRS de proyecto.

- 3.- Si es posible, se hace una zonificación del banco, de tal manera que en cada sección se tengan VRS del mismo orden ver fig. I-28 de valores mayores e iguales a cada uno de ellos ver fig. I-29.

Valores ordenados	Valores iguales o mayores	Porcentaje de valores iguales mayores
5.4	6	100.00
5.6	5	83.33
6.5	4	66.66
6.9	3	50.00
7.0	2	33.33
9.5	1	16.66

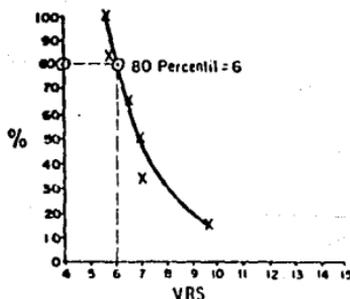


Fig. I-28 V.R.S. tabulados de mayor a menor y porcentajes correspondientes en relación a la frecuencia para obtener el VRS de proyecto.

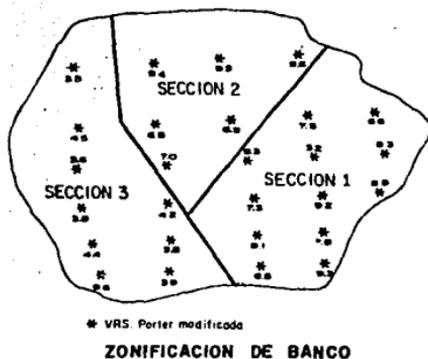


Fig. I-29 Zonificación de un banco de acuerdo a los VRS de los diferentes sondeos.

5.- Se forma una gráfica colocando en las abscisas los VRS y en las ordenadas los porcentajes calculados y se encuentra el VRS correspondiente al 80%, igual al 80 percentil, que es el VRS de proyecto de esa sección fig. I-29.

En la fig. I-30 se muestra el nomograma de proyecto; para calcular los espesores de pavimento de acuerdo a éste método de Porter modificada (Padrón), se requiere contar con -

el tránsito equivalente durante la vida útil del pavimento y los datos del VRS de proyecto. Con el VRS de la parte superior del terraplén y el dato del tránsito se encuentra el espesor  $D_1$ ; con el correspondiente a la capa subrasante se encuentra el espesor  $D_2$ .

### GRAFICA PARA LA ESTRUCTURACION DE UNA OBRA VIAL EN BASE A VRS OBTENIDO DE PRUEBA PORTER MODIFICADA

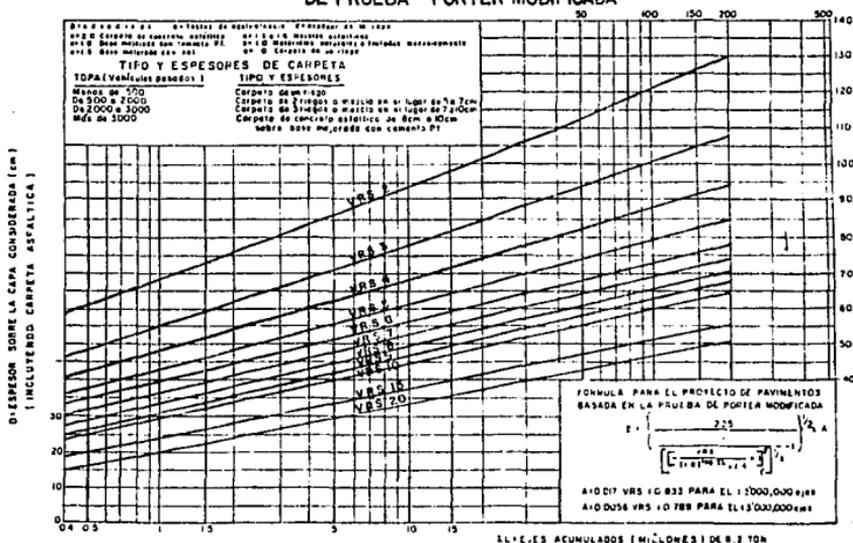


Fig. I-30 Gráficas de proyecto por el método de Porter modificado (Podrán) propuestas por el autor, con base en tránsito equivalente (8.2 ton) acumulado durante la vida útil de la obra.

La diferencia de estos dos valores es el espesor de la capa subrasante necesaria para resistir las cargas (fig. I-31); sin embargo, esta capa puede tener hasta cinco funciones además de las estructurales por lo que su espesor debe ser de 30 cm mínimo; así, si en el cálculo anterior se tiene un espesor menor, se debe aumentar, por especificaciones, hasta esa cantidad.

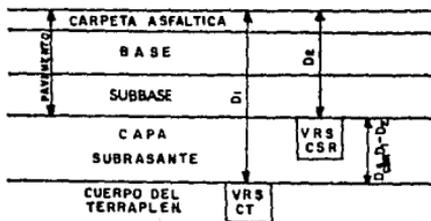


Fig. I-31 Figura que muestra en forma objetiva los espesores  $D_1$  y  $D_2$  para la estructuración de una vía terrestre con pavimento flexible. Método de Porter modificado (Padrón).

Sólo en ocasiones, cuando el material del cuerpo del terraplén es de baja calidad y el tránsito intenso, al efectuar el cálculo anterior se pueden tener espesores de capa subrasante mayores de 30 cm; lo anterior debe evitarse y en el caso de que tengan buenos materiales en el cuerpo del terraplén, se puede reducir el número de pruebas de resistencia para proyectos en éstos materiales bajo la capa subrasante.

te y sólo se realizan algunas por seguridad.

El cálculo del espesor de las capas de pavimento, o sea de la carpeta, de la base y de la subbase, se hace a partir del espesor D2 que corresponde a material de grava o natural. Como al utilizarse materiales estabilizados en forma química o con asfalto, estos tienen mayor resistencia que los naturales, el espesor de la capa en que intervienen se puede reducir; para ello se recomienda utilizar los factores de equivalencia siguiente:

TIPO DE MATERIAL	FACTOR DE EQUIVALENCIA
Carpeta de concreto asfáltico.....	2
Carpeta de mezcla en el lugar de buena calidad.....	1.8
Carpeta de mezcla en el lugar de regular calidad .....	1.3
Base estabilizada con cemento Portland .....	1.8
Base estabilizada con cal .....	1.5
Carpeta de tres riegos .....	1.3
Carpeta de uno o dos riegos .....	1.0
Material natural .....	1.0

Estos valores son tentativos y semejantes a los que utilizan algunas agencias extranjeras (la del cuerpo de ingenieros, método de Hveem para diferentes tipos de materiales, -

etc.). Se hace la aclaración que algunos proyectistas no utilizan estos valores y colocan el espesor de pavimento que se obtiene de la gráfica de proyecto sin hacer ninguna reducción, con lo que obtienen un mayor factor de seguridad pero también un costo mayor. Para comodidad del proyectista estos valores aparecen en la parte superior izquierda del nomograma de proyecto (fig. I-30).

Con los valores anteriores podemos hacer uso de la siguiente igualdad:

$$D2 = a1d1+a2d2+a3d3$$

en la que:

D2 = espesor de grava necesaria en el pavimento, obtenido de la gráfica de proyecto, de la capa subrasante se utiliza el VRS de proyecto.

a1,a2,a3 = factores de equivalencia correspondiente a la carpeta, base y subbase de acuerdo con la calidad de los materiales que se usen.

d1,d2,d3 = espesores reales de carpeta, base y subbase.

El tipo de espesor de la carpeta se recomienda en el nomograma de proyecto, de acuerdo al tránsito diario promedio anual ACTUAL de vehículos con peso mayor a 5 ton, en los dos sentidos; es decir se descartan los automóviles y los camiones de carga con 5 ton o menos. Lo anterior se hace, para -

que sobre todo en caminos nuevos la carpeta se vaya construyendo por etapas y en cada una de ellas se tenga la posibilidad de corregir pequeñas fallas que se vayan presentando en la estructura; si al principio el tránsito es muy bajo, se puede construir una carpeta de un riego, cuando aumente el tránsito, quizá a los 5 años de la puesta en servicio, se colocaría una carpeta de mezcla en el lugar y al final, cuando se requiera, por ejemplo a los 10 ó 12 años, se coloca una carpeta de concreto asfáltico, para lo cual es probable que la capa de asfalto actual se disgregue y se incorpore a la base a la cual se rigidizará con cal o cemento Portland para darle al concreto asfáltico una sustentación adecuada.

Con estas recomendaciones, que aparecen en el nomograma se tienen  $d_1$  y  $a_1$ ; para la elección del espesor y calidad de la base, se debe tomar en cuenta si se necesita rigidizar o no y qué producto se utilizará para ello; además, se deben considerar los espesores mínimos, que para base y subbase, que por procedimientos de construcción son de 12 cm; se hace la aclaración de que en ocasiones no se requiere subbase, en cuyo caso no se colocará; si se necesita, tendrá como mínimo el espesor indicado. En caminos con tránsito diario promedio pasado actual mayor de 5000 vehículos, el espesor de base mínimo será de 20cm.

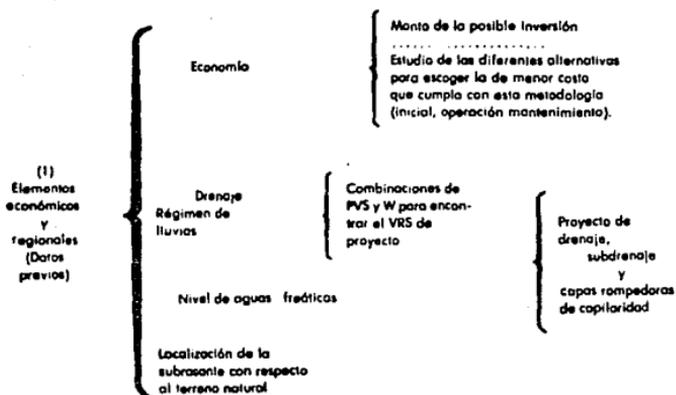
Por otro lado, si el espesor calculado nos indica que la subbase es del orden de 8 a 10 cm, lo más conveniente se-

rá aumentarlo a los 12cm, pero si es menor quizá sea mejor -  
adicionárselos al espesor de la base, haciendo las correccio-  
nes por calidad y no construir aquella capa. El espesor de -  
la subbase se calcula con la siguiente igualdad:

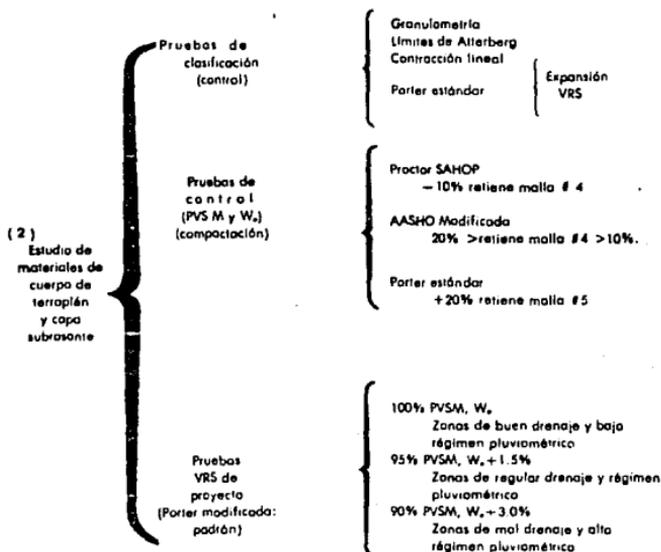
$$d3 = D2 - a1d1 - a2d2$$

Es pertinente insistir en que el nomograma de proyecto -  
sólo se puede aplicar con datos procedentes de la prueba de -  
Porter modificada (patrón), ya que aunque existen otras tec-  
nologías que utilizan el VRS como elemento de resistencia, -  
los valores cambian al variar la forma de obtención; datos -  
recopilados por el Ing. F. Olivera B, indican que a igualdad  
de pesos volumétricos y humedades, en pruebas de VRS en el -  
lugar, se pueden tener valores de 10% en el laboratorio; con  
especímenes compactados estáticamente, el valor es del orden  
del 6% y en especímenes compactados dinámicamente sería del -  
orden de 3%, por lo que si en forma ilógica se utiliza el -  
mismo nomograma, se tendrían espesores bastante diferentes.

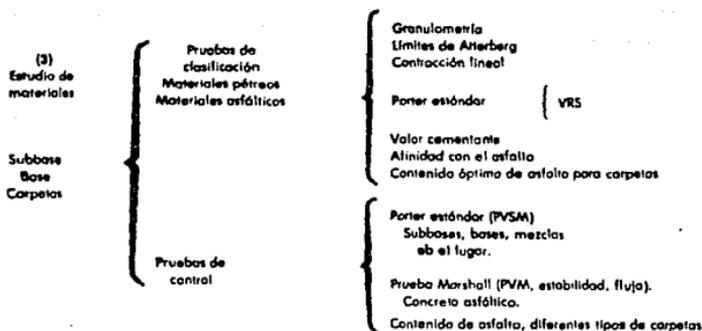
A continuación se muestra un conjunto de cuadros esque-  
matizados, resumiendo la secuencia que sigue el método de -  
Porter modificada (Patrón), referido a las pruebas que se -  
les realizan hasta capa de base.



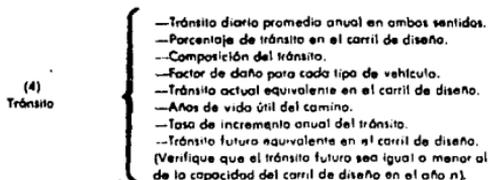
Elementos económicos y regionales que se deben tomar en cuenta para la estructuración de la sección transversal de una vía terrestre.



Cuadro que muestra las pruebas que se realizan a los materiales de terracerías para el proyecto de la sección estructural de una vía terrestre. Método de Porter modificado (Patrón).



Cuando se muestran las pruebas que se realizan a los materiales de subbase, base y carpetas para el proyecto de la sección estructural de una vía terrestre. Método de Porter modificado (Padrón).



Resumen de características del tránsito para el proyecto de la sección estructural de una vía terrestre con pavimento flexible.

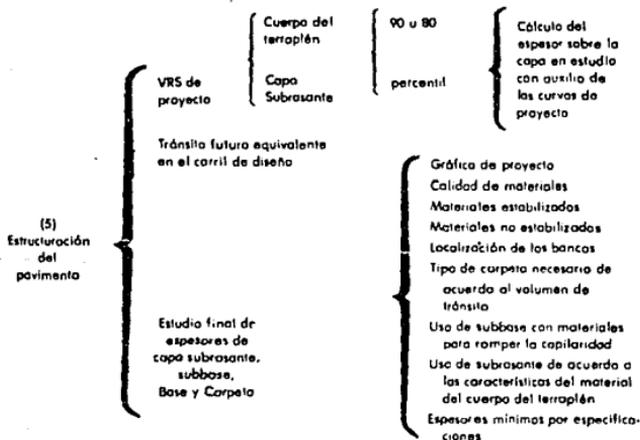


Fig. E - 32 Elementos para la estructuración final de una vía terrestre. Método de Porter modificado (Padrón).

Resumiendo, la estructuración de la sección transversal con este método se realiza en la forma que se muestra en la fig. I-32. Se deberán conocer los valores relativos de soporte obtenidos de la prueba Porter Modificada (Padrón), para los materiales de cuerpo de terraplén y capa subrasante con la combinación de humedades que decida el proyectista y el tránsito de futuro equivalente en el carril de diseño por medio de las gráficas se calcula el espesor de la capa subrasante (mínimo de 30 cm) y de pavimento: de acuerdo a la calidad de los materiales (naturales o estabilizados), el tránsito pesado actual y los espesores mínimos necesarios por construcción, se calculan los espesores de la subbase (si se requiere), base y carpeta. Se debe tener especial cuidado en la calidad de los materiales, si se requieren capas rompedoras de capilaridad, etc.

Posteriormente se desarrollará un ejemplo de diseño de una sección transversal de un camino con pavimento flexible, siguiendo el método de Porter modificada (Padrón) por ser el nuestro utilizado por la (SCT) Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Antes de entrar en el diseño es importante hablar sobre el tránsito y sus características, ya que este es el principal objetivo de diseño y construcción de una obra vial.

A continuación se muestra un ejemplo completo de cálculo

lo de estructuración transversal de un camino con pavimento flexible, de acuerdo al método de Porter modificada (Padrón).

Ejemplo:

Diseñar el espesor de las capas de una estructura de un camino con pavimento flexible de cuatro carriles, para el cual se realizaron sondeos en los bancos para el cuerpo del terraplén (préstamo) y de capa subrasante; para cada uno de ellos, se obtuvo el VRS de proyecto (Prueba Porter modificada Padrón), correspondiente al 80 percentil, teniendo los siguientes datos:

$VRS_{CT}$  de proyecto para el cuerpo del terraplén: 7%

$VRS_{CSR}$  de proyecto para capa subrasante:

No Sondeo	$VRS_{CSR}$ (%)
1 - - - - -	15
2 - - - - -	13
3 - - - - -	16
4 - - - - -	14
5 - - - - -	13
6 - - - - -	13
7 - - - - -	15
8 - - - - -	16

Para obtener el  $VRS_{CSR}$  de la capa subrasante teniendo un conjunto de muestras del banco en estudio y los resulta--

dos del laboratorio se obtendrá el 80 percentil para un  $VRS_{CSR}$  de proyecto de la siguiente manera:

- 1.- Se ordenan los valores de menores a mayores y se registran con su frecuencia de resultados.

$VRS_{CSR}$ (%)	Frecuencia
13 - - - - -	3
14 - - - - -	1
15 - - - - -	2
16 - - - - -	<u>2</u>
	8

- 2.- Se calcula para cada valor con respecto al total 8 el % de valores iguales y mayores a el.

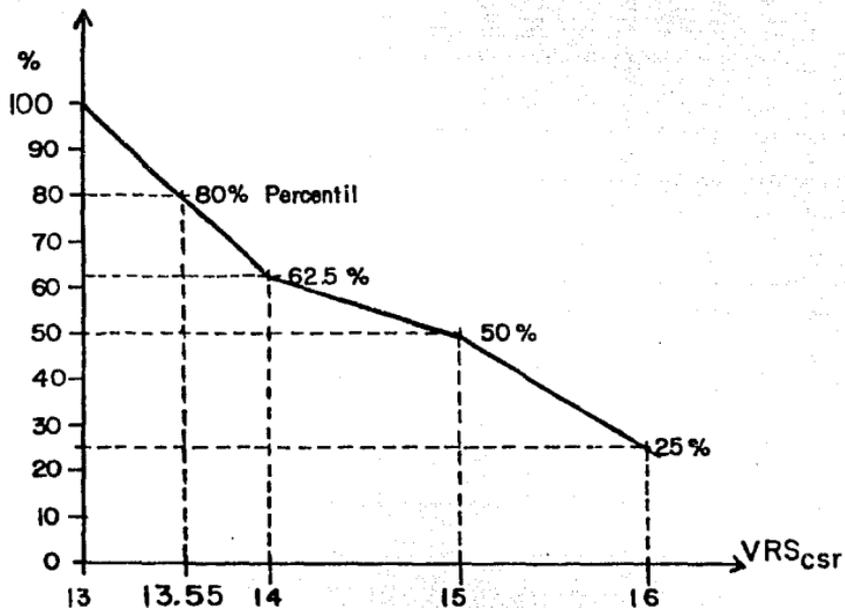
$VRS_{CSR}$	frecuencia	%
13 - - - - -	3	100.00
14 - - - - -	1	62.50
15 - - - - -	2	50.00
16 - - - - -	<u>2</u>	25.00
	= 8	

Pero sí

8	→	100 %	
5	→	X %	= 62.5 %
8	→	100 %	
4	→	X %	= 50 %

8 —————> 100 %  
 2 —————> X % = 25 %

3.- Se grafica el  $VRS_{CSR}$  y el %, se obtiene el 80 percentil\_ como el  $VRS$  correspondiente al 80%.



El  $VRS_{CSR}$  correspondiente al 80 percentil es  $VRS_{CSR}$  Proyecto = 13.55%

El TDPA inicial será de 6983 vehículos con la siguiente

composición.

Vehículos hasta de 5 ton - - -	35 %
Vehículos hasta de 5 a 15 ton-	15 %
Autobuses - - - - -	8 %
Cargueros	
De 20 ton - - - - -	25 %
De 40 ton - - - - -	12 %
De 65 ton - - - - -	5 %

Período de diseño  $n = 20$  años

Tasa de incremento anual del tránsito = 8 %

Nota: debido a que se trata de un camino (autopista) de 4 - carriles el carril de diseño trabajará con un 50% del total del TDPA, como ya se explicó en lo correspondiente a Tránsito.

El TDPA para el carril de diseño entonces es:

$$6983 \times 0.50 = 3492 \text{ vehículos}$$

Vertiendo los datos en la forma de la fig. I-24. Se tiene:

El factor de proyección a futuro es:

$$C = \frac{(1+r)^n - 1}{r} 365 = \frac{(1+0.08)^{20} - 1}{0.08} 365$$

donde  $n = 20$  años

$r = 8 \%$

$$C = 16,703$$

Cálculo de espesores para pavimentos flexibles  
método de porter modificada (patrón)

Obra \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_  
Tramo \_\_\_\_\_ Subtramo \_\_\_\_\_  
Datos para proyecto: \_\_\_\_\_  
Tránsito diario promedio anual en dos sentidos (TDPA) 6983 \_\_\_\_\_ VEH.  
Tránsito en el carril de diseño (50%) 3492 Período de diseño (n) 20 años  
Tasa anual de crecimiento (r) 8 Factor de proyección al futuro (c) 16,703

Tipo de vehículos	Dist del tránsito (%) (2)	Dist del tránsito (%) (3)	Coefficiente de equivalencia (4)	Ejes sencillos equivalentes de 8.2 T (5)
Vehículos hasta 16 ton	35+15=50	1746	.06	105
Autobuses	8	279	2.1	586
Camiones (15 a 23 ton)	25	873	2.1	1833
Tractor c/semirremolque (25 a 33 ton)			4.1	
Camión c/ remolque (35 a 55 ton)	12	419	6.4	2682
Tractor c/ semi y remolque (65 a 85 ton)	5	175	8.4	1470
		Suma		6676

Tránsito equivalente acumulado  
Al final de la vida útil = factor de proy. (C) X suma = 16,703X6,676

Cálculo de espesores  
VR, de diseño del cuerpo del terraplén 7 % = 111.50923X10<sup>6</sup> ejes estándar.  
D<sub>1</sub> = Espesor de capa subrasante + pavimento 70 cm de grava  
VR, de diseño de la capa subrasante 13.55 %  
D<sub>2</sub> = Espesor de pavimento 56 cm de grava

Estructuración del pavimento

Capa	Tipo	Es. Real (cm)	Fact. de Conv.	Esp. de gravas (cm)		
				por capa	de pav.	Total
Carpeta de		10	2.0	20.0		
Base de		15	1.5	27.50		
Subbase		14	1.0	14.00	56 ≥ D <sub>2</sub>	
Subrasante		30	1.0	30.00		86 ≥ D <sub>1</sub>

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

Fig. I-24 Hoja para el cálculo de tránsito equivalente (8.2 ton) acumulado durante la vida útil de una carretera.

Total de ejes estándar de 8.2 ton. (Te)

$$Te_{8.2} = TDPA_{e8.2} \times C = 6676 \times 16,703 = 111.50923 \times 10^6 \text{ veh.}$$

Con este dato entramos a la fig. I-30

111.50923  $\times 10^6$  vehículos transformados en millones de - -  
ejes de 8.2 ton y con un  $VRS_{CT} = 7\%$

Tenemos que el espesor que debe de existir sobre la capa del cuerpo del terraplén es de:

$$D_1 = 70 \text{ cm.}$$

Ahora para un  $VRS_{CSR80\%} = 13.55$  y una cantidad de vehículos transformados en ejes de 8.2 ton =  $111.50923 \times 10^6$  veh. de la fig. I-30

Se tiene que el espesor de grava requerido sobre la capa subrasante, es decir el del pavimento es de:

$$D_2 = 56 \text{ cm. (de pavimento).}$$

Entonces para obtener el espesor de la capa subrasante tenemos que:

$$D_{CSR} = D_{1CT} - D_{2pav.} = 70 - 56 = 14 \text{ cm.}$$

Pero por especificaciones ésta capa debe tener un espesor no menor de 30 cm.

Para condiciones de diseño de espesor y tipo de carpeta

se considerará el TDPA Pesado Considerado aquel mayor a 5 ton = 65 %

ya que el menor a 5 ton = 35 %

TDPA pesado = TDPA X 0.65 = 6983X0.65 = 4539 veh. de la fig. I-30 en el extremo superior izquierdo se recomienda una carpeta de concreto asfáltico de 8 a 10cm de espesor sobre una base mejorada con cemento Portland. Para un TDPA (vehículos pesados) mayor a 3000, ya que nuestro TDPA (veh. pesados) = 4539 veh.

En la tabla correspondiente a la estructuración del pavimento de la fig. I-24 se vacían los valores de los espesores reales en la primera columna y en la segunda los correspondientes factores de conversión de cada capa según sus características para subbase y subrasante serán siempre 1.0, la 3era. columna se llena con los espesores reales convertidos a espesores en grava, multiplicados precisamente por el factor de conversión.

El espesor de la base como mínimo será de 15cm y el de la subbase se encuentra con la expresión anteriormente ya expuesta  $D_{SB} = D_2 - a_1d_1 - a_2d_2$  donde cada una de las componentes ya se identificaron antes.

$$D_{SB} = 56 - (2 \times 10) - (1.5 \times 15) = 14 \text{ cm.}$$

Por último cuando se recomienda una base rigidizada es-

ta puede ser con cal o cemento Portland esto influirá directamente sobre el factor de conversión que se usará y a la vez variará el espesor de esta capa en grava y nos dará como resultado un sobrediseño o bien un óptimo diseño que estando cumpliendo con el espesor total de grava mayor o igual al obtenido de las gráficas ( $D_1$ ) se ésta diseñando correctamente, así también sucedera con el espesor de las capas de pavimento transformadas en grava debe de cumplirse que sea mayor o igual al espesor obtenido de las gráficas ( $D_2$ ) de la fig. - I-30.

## II.- FALLAS FUNCIONALES Y FALLAS ESTRUCTURALES

Recién abierta una obra vial al servicio, debe presentarse condiciones óptimas para su operación; al transcurrir el tiempo y estar en operación, se va deteriorando, presentando diferentes estados de condiciones de servicio, disminuyendo cada vez más la facilidad de tránsito, debiéndose tener conservación normal adecuada y rehabilitaciones oportunas para que la obra no llegue a su falla rápidamente.

En relación con las fallas en caminos con pavimentos flexibles para nuestro caso, éstas pueden ser de tipo estructural o funcional de acuerdo con los parámetros que se tienen para definirlos.

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

LA FALLA FUNCIONAL, es aquella que se tiene en los caminos cuando las deformaciones superficiales son mayores a las tolerables y presentan ciertas incomodidades al tránsito, de acuerdo con el tipo de camino del cual se trate, ya que se puede tener una superficie de rodamiento con deformaciones que son aceptables para caminos secundarios, pero que pueden considerarse inconvenientes para autopistas y que, por tanto, para éste caso que ha llegado a la falla funcional.

Ligado a éste concepto de falla funcional, se tiene el índice de servicio que es una calificación de la superficie de rodamiento. Este índice se estima en función del estado físico de la superficie de rodamiento, la que los técnicos califican de acuerdo a los baches, deformaciones y grietas que presentan, o bien con la opinión de los usuarios. ver fig. II-1.

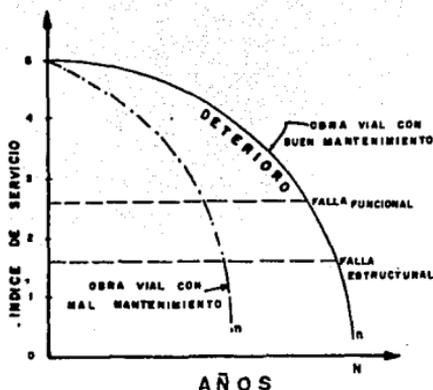


Fig. II.1 Esquema que muestra la falla funcional y la falla estructural de una obra vial de primer orden (autopista), en función del índice de servicio durante su vida útil.

El índice de servicio se califica en escala de 1 a 5; - en caminos de primer orden se requiere que éste valor sea - como mínimo de 2.5 a 3.0 para considerárseles en condiciones aceptables, pero que ya conviene reacondicionarlos; para caminos secundarios ésta se tiene con calificación de 2.0.

El criterio de calificación para obtener el índice de - servicio varía de acuerdo a la dependencia encargada de cons- truir o conservar los caminos de un país; en México, la Se- cretaría de Comunicaciones y Transportes cuenta al respecto - con el manual denominado "Aplicación de los Conceptos de Ca- lificación y Comportamientos a la Reconstrucción y Conserva- ción de Carreteras", de acuerdo con el cual se realiza la -

calificación de los caminos de la red nacional y que se explica enseguida claramente, es un método de evaluación no destructivo para caminos con pavimentos flexibles.

Los métodos más utilizados actualmente en el país para conocer los estados de condición de servicio de un camino, sin provocar destrucción en él, son el de calificación visual efectuada por observadores altamente experimentados y que consiste en considerar las deformaciones longitudinales y transversales, textura de la superficie, porcentaje de baches, cajetes, calaveras y áreas ya reparadas anteriormente, para asignarles una calificación en función de lo anteriormente mencionado y que la escala numérica es idéntica a la establecida por la AASHTO para el índice de servicio.

La forma en que se realiza el examen visual de calificación actual es la siguiente:

Se forma un grupo de 5 personas calificadoras que tiene por experiencia evaluar caminos, quienes recorren un mismo tramo de 10 km del camino en estudio por separado, esto con el fin de obtener información amplia sobre él, la calificación será la media del grupo examinador y se basará en la escala de la AASHTO antes ya mencionada y descrita; se recomienda que el recorrido lo realicen los observadores en un vehículo común a velocidades máximas de 80 km/hr en terrenos planos, o de los 60 km/hr en montañoso, de preferencia en

horas en que la luz es suficiente para la buena realización.

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

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

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

ELEMENTOS POR CALIFICAR	VALOR RELATIVO
a) Del cuerpo	
Corona .....	50
Drenaje .....	30
Derecho de vía .....	<u>20</u>
	suma: 100

## b) Del señalamiento

Vertical .....	60
Horizontal .....	<u>40</u>
suma:	100

## c) Influencias para calificación según SCT.

Del cuerpo .....	0,80
Del señalamiento .....	<u>0,20</u>
total	1.00

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

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

La calificación de una sección, es el número que se obtiene sumando los productos resultantes y multiplicandolos por la calificación de cada elemento con la escala mencionada anteriormente por su valor relativo, y su correspondiente factor de influencia.

Esta calificación es variable en el rango de 0 a 500.

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

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

Como se puede observar éste método de calificación de - la SCT es más completo que el de la simple inspección visual o calificación actual, por que toma en cuenta aspectos de - drenaje, señalamientos tanto verticales como horizontales, - derecho de vía en general etc., mientras el otro da caracte- rísticas únicamente superficiales.

A continuación se describe:

Indice de Servicio actual.- Es la capacidad que tiene - un pavimento para seguir dando servicio, y está en función - de la historia de su vida útil que se obtiene tomando medi- ciones de las características siguientes:

- 1) deformación longitudinal.
- 2) deformación transversal.
- 3) textura superficial.
- 4) porcentaje de baches y áreas reparadas.

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

## INDICE DE SERVICIO ACTUAL

0		
CALIFICACION ACTUAL (VISUAL)		ESTADO DEL PAVIMENTO

4	-	5	.....	excelente
3	-	4	.....	bueno
2	-	3	.....	regular
1	-	2	.....	malo
0	-	1	.....	muy malo

Si las deformaciones y los baches son numerosos y constantes, el estado de la superficie del pavimento analizado será irregular y proporcionará un tránsito incomodo e inseguro, para lo cual de acuerdo a las condiciones geométricas del camino y las velocidades que se pueden desarrollar existe un índice de servicio mínimo de condiciones desfavorables que el usuario puede tolerar y que es llamado "nivel de rechazo", con un índice de servicio de 2.0, y para un camino en condiciones normales de 2.5.

Los dispositivos que se utilizan a nivel mundial para obtener las mediciones correspondientes de la superficie del pavimento del camino y establecer así la escala de calificación de índice de servicio son los siguientes:

- a). Instrumentos montados en vehículos o en remolques que miden la respuesta del vehículo a la superficie del pavimento, cuando se transita a una velocidad estándar. Por su bajo costo, estos equipos son los más populares y se

usan ampliamente. Los rugómetros tipo Mays o PCA, con - variantes desarrolladas en diversos países, son típicos\_ de esta clase de instrumentos.

- b). Equipos que miden el perfil del pavimento, con relación\_ a una línea horizontal. Estos equipos muy sofisticados\_ y de alto rendimiento, registran el perfil real del paví\_ mento almacenando y procesando la información a través - de computadoras integradas. Por su alto costo y difícil\_ tad de operación, hasta la fecha han tenido uso limita-- do. Pueden mencionarse en ésta categoría el perfilóme-- tro de contacto Surface Dynamica (superficie dinámica) - y los perfilómetros a base de ondas de alta frecuencia o rayos Laser, que no hacen contactos mecánicos con la su- perficie del pavimento.

A continuación se mencionan 8 de los aparatos más usa-- dos a nivel mundial para este fin:

- 1.- El rugósímetro del B.P.R.
- 2.- Perfilómetro C.H.L.O.E
- 3.- La regla rodante R.S.E
- 4.- El perfilómetro británico
- 5.- El perfilómetro dinámico de superficie S.D.R.
- 6.- El vehículo medidor de carreteras Mays. C.R.M.
- 7.- El método de nivelador preciso para determinar perfiles\_ "Level"

8.- Perfilógrafo transversal de laboratorio "Central de París" Fig. II-1

De todos ellos los más utilizados en México son el perfilómetro C.H.L.O.E y el vehículo Mays. C.R.M.

El perfilómetro C.H.L.O.E.- Es el aparato que determina la variancia de la pendiente longitudinal del camino, o sea que mide la deformación longitudinal por cambio de ángulos - entre 2 líneas de referencia, pero tiene defectos en su lentitud de operación, medidas imprecisas de ondulaciones menores que la distancia entre las 2 ruedas medidoras, y carencia de información sobre ondulaciones mayores.

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

Las rodadas son efectos del tránsito, las observaciones con el rugómetro normalmente deben hacerse al centro de estas trayectorias, para cada trayectoria longitudinal dos o tres recorridos de prueba del rugómetro son suficientes para obtener una buena representación de la falla, se recomienda calentarle por lo menos diez millas antes de empezar las mediciones diarias y conducirlo a una velocidad de 32 km/hr - que facilitan al conductor observar la trayectoria fijada, -

y al observador poder tomar las notas necesarias. Ver fig.-  
II-2.

PERFILOGRAFO TRANSVERSAL DE LABORATORIO "CENTRAL DE PARIS"

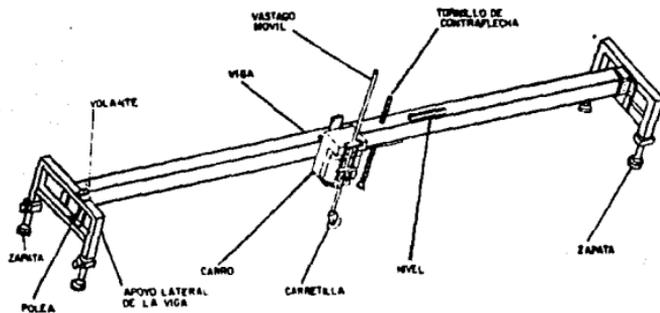


Fig. II-1

## RUGOMETRO

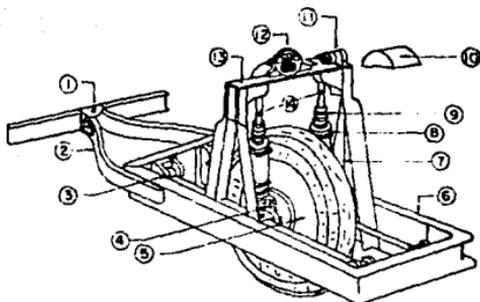


Fig. II-2.

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

La respuesta de los pavimentos a una deflexión estática, esta representada por una curva típica que comprende 3 - fases en su historia ver fig. II-3.

- 1.- En la fase inicial inmediatamente después de la construcción la estructura del pavimento se consolida y la deflexión es mínima normal se representa por una línea creciente.
- 2.- Durante la fase funcional el pavimento se encuentra soportando el tráfico y su deformación o deflexión se muestra permanentemente constante.
- 3.- La fase de debilitamiento ocurre como un resultado de la interacción de ambos factores, tráfico y medio ambiente. En esta fase la deflexión se incrementa rápidamente y por lo consecuente un deterioro en la estructura del pavimento.

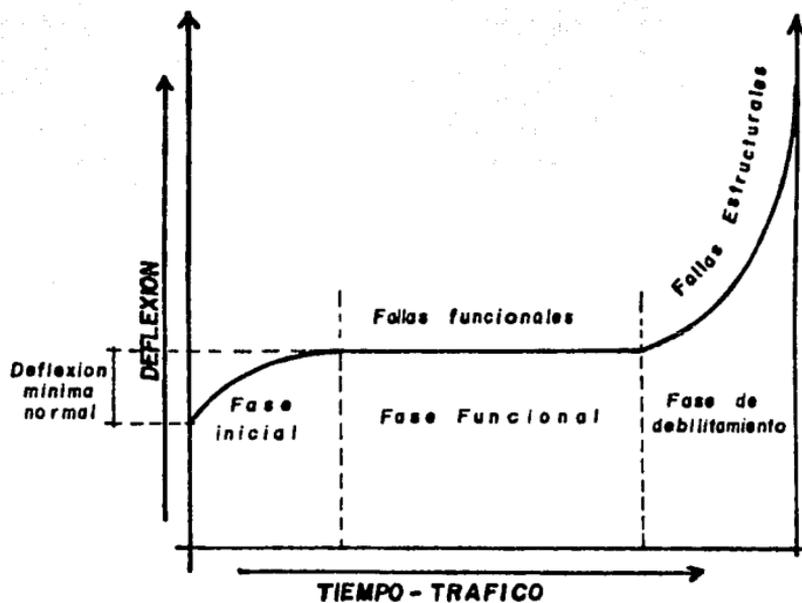


Fig. II-3

### III.- DESCRIPCION Y CAUSA DE DIFERENTES DAÑOS EN CAMINOS

La evolución en las fallas funcionales, puede presentarse de dos maneras distintas, como origen de daños en caminos:

- La evolución de una falla funcional única.
- La evolución de una falla funcional que es la causa de la aparición de otras más.

El avance de una falla funcional única es el caso menos frecuente. La evolución en la superficie se desarrolla con menor o mayor rapidez, pero puede seguirse cuantitativamente: por ejemplo, en el caso de un agrietamiento en forma de piel de cocodrilo, es conveniente conocer la dimensión media de la retícula y la capa afectada. Es muy difícil, a menos que se destruya el pavimento, conocer la profundidad a la que se detiene la falla y las consecuencias de la misma.

En este caso no es posible tomar en cuenta más que la magnitud superficial.

El avance de una falla funcional, causa de la aparición de otras.

Este es el caso que se presenta más frecuentemente, también es más complejo. Resulta difícil seguir los avances debido a que no siempre son constantes.

Una falla funcional que ha evolucionado rápidamente, - puede permanecer luego en un estado estacionario o evolucionar lentamente al mismo tiempo que surge otra.

Sin embargo, hay que observar que en muchos casos las - fallas típicas se desarrollan en "cadena" (hundimientos, - agrietamiento, piel de cocodrilo y baches).

Las causas y efectos que se describirán en éste capítulo serán principalmente las que corresponden a las fallas - funcionales ya que las fallas estructurales como se describió en el capítulo anterior son el producto de la evolución de las mismas funcionales o en el peor de los casos un mal - diseño inicial, que ponen al camino en un estado intransitable prematuramente.

Las causas de una falla funcional en una carretera son - muy numerosas y diversas, y pueden ser de carácter cuantitativo (tránsito, tiempo, etc.), o cualitativo (de los diferentes tipos de materiales que constituyen las capas de la estructura vial; pavimento y terracerías), o bien de índole - aleatorio natural (lluvias, humedad, temperatura alta o baja, etc.).

Estos factores son a la vez provocadores de efectos preponderantes pero temporales aleatorios, es conveniente ser - muy prudente en cuanto al valor de ésta influencia. Al realizar un análisis de estos factores en función de los - -

diferentes tipos de falla no tenemos más que una aproximación del problema.

Podemos clasificar las causas de las fallas funcionales de acuerdo a 4 criterios que son:

I.- El tránsito

II.- Las condiciones climáticas, el medio ambiente y sus consecuencias.

III.- El diseño del pavimento.

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

I.- El tránsito es el parámetro cuya influencia segura todavía no ha podido definirse debidamente.

Los ensayos de la A.A.S.H.O. (Asociación de Autoridades Estatales Americanas en Operación de Carreteras), demostraron que la evolución de las deformaciones, del agrietamiento, etc., estaban asociadas a las cargas de los ejes, a la duración de su aplicación y al número de pasadas, pero estos resultados sólo pueden aplicarse a un pavimento determinado, apoyado sobre un tipo de suelo dado y en condiciones climáticas precisas, es decir en otras palabras que las deformaciones y agrietamientos que sufre un pavimento están en función de variables como el tipo del suelo, las condiciones de tránsito a las que estará sometido, el clima del medio ambiente, etc. Por consiguiente es necesario ser muy prudente al interpretar estos resultados y aplicarlos a un pavimento cual-

quiera.

II.- Las condiciones climáticas, el medio ambiente y sus con  
secuencias.

Los parámetros que más influyen en el cuerpo del pavimento son: La presencia del agua en mayor cantidad que lo normal y los ciclos del hielo-deshielo en zonas frías, así como las altas temperaturas en las zonas cálidas.

La presencia del agua

El agua se infiltra en el cuerpo del pavimento ya sea:

- Por la superficie pavimentada: basta entonces con proteger el pavimento superficialmente, con un sello asfáltico lo suficientemente estable para detenerla.
- Por infiltración lateral: el agua que proviene de los acotamientos se desplaza horizontalmente. Este fenómeno, si no es el más importante desde el punto de vista de cantidades de agua por unidad de tiempo, es el más peligroso. Puede resolverse en forma adecuada impermeabilizando los acotamientos y construyendo un drenaje eficaz.
- Por afloración capilar: el agua proviene del nivel freático, y sube hacia la estructura vial. En este caso el problema de la evacuación del agua es complejo y requiere casi siempre de un estudio especial, se puede resolver en

casos con capas rompedoras de capilaridad.

- El contenido de agua del subsuelo cuando es muy elevado, puede provocar importantes trastornos, ya que llega a modificar la capacidad de soporte del suelo en forma importante, o bien agravar el "desgaste por fricción" de ciertos materiales, como las calizas.

Los ciclos de hielo-deshielo.

Durante las heladas (en el momento de presencia del hielo), el agua que existe dentro del pavimento entre sus partículas se transforma en cristales de hielo, lo cual provoca que se pierda la compactación que tenían los materiales; hay una demanda de agua de las zonas no congeladas. Durante el deshielo en la estación de primavera, el problema se agudiza, ya que los suelos con menor compactación absorben el agua y baja considerablemente su capacidad de cargar, es decir este contenido de agua se aloja dentro de un espesor muy variable.

Es entonces cuando el tránsito pesado provoca asentamientos más o menos importantes, produciendo deformaciones y grietas que hacen que el cuerpo del pavimento envejezca prematuramente.

A continuación se expone una gráfica en la que se muestra la deflexión que sufre un pavimento a lo largo del año,-

que incluye fenómeno de helada, alta temperatura y humedad, - es dividida en cuatro periodos ver fig. III-1.

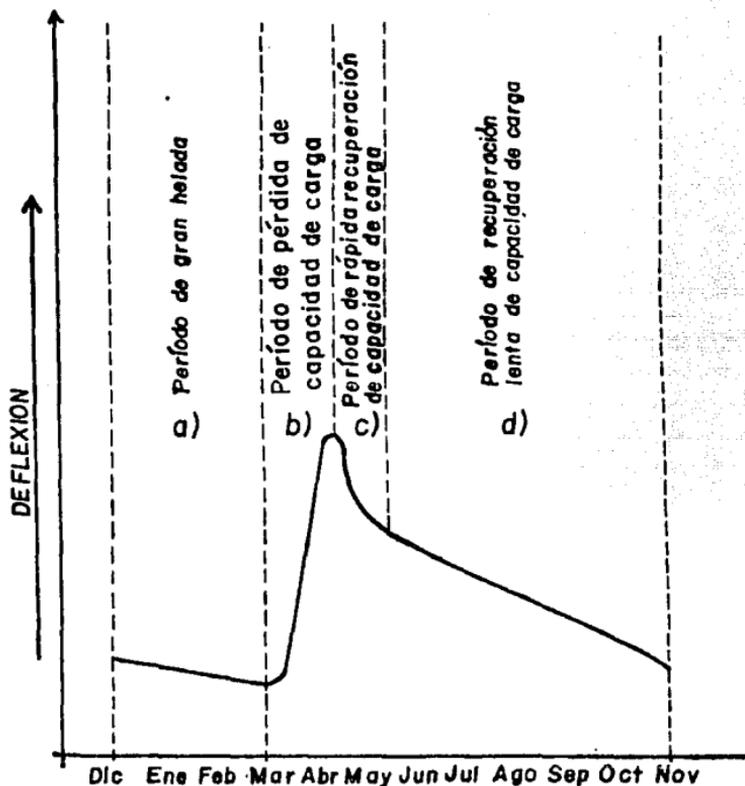


Fig. III-1 Variación típica de la deflexión en un pavimento durante el año (comprende 4 periodos).

- a) El periodo crítico de helada, cuando el pavimento es atacado fuertemente por el hielo.

- b) El segundo período cuando la helada empieza a desaparecer de la estructura del pavimento, entonces la deflexión se eleva rápidamente.
- c) El tercer período durante el cual, el agua que proviene de la fusión del hielo se retira de la estructura del pavimento y la deflexión empieza a bajar.
- d) Cuando la estructura del pavimento continúa secándose lentamente en el exterior, los niveles de deflexión disminuyen en forma considerable.

La deflexión se incrementa al aumentar la temperatura en el asfalto, o sea que decrece la fase rígida del asfalto, y los cambios de temperatura tienen más influencia en la deflexión, entonces al incrementar la rigidez de las capas, o variar los espesores del asfalto los esfuerzos totales de deflexión decrecen.

Mencionemos igualmente la acción de los fundentes químicos que tienen por efecto mantener una humedad permanente en la superficie.

El pavimento experimenta un choque térmico ocasionado por la reacción endotérmica de fusión de la nieve o del hielo por los fundentes y se fragiliza por las bajas temperaturas, manteniéndose un estado permanente de humedad, sufriendo fallas superficiales por el agua retenida en las fi-

suras (grietas) "acuñamiento".

Debe agregarse a lo anterior el ataque mecánico del tránsito en general (cuyos efectos en este caso particular son agresivos) y sobre todo el provocado por los neumáticos con picos especiales para la nieve.

Cabe señalar haciendo énfasis que en México no son muchas las regiones con estos problemas, y que solamente se nos presentan en zonas de la Sierra Madre Occidental; entre los estados de Sinaloa, Durango, Sonora, y Chihuahua.

Altas temperaturas en zonas cálidas o desérticas.

Las zonas con intenso calor, ya sean las tropicales o las desérticas por el día, los pavimentos que se construyen en este tipo de lugares presentan problemas originados principalmente en sus carpetas asfálticas, ya sea que se desestabilizan y la superficie de rodamiento sufre deformaciones por el arriñonamiento o corrimiento de las carpetas (corrucción longitudinal como falla).

### III.- El diseño del pavimento.

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

más bien a los ensanchamientos ligeros, en aquellos sitios - donde el camino empezaba a "invadir" el acotamiento. En la actualidad, el diseño adquiere cada día mayor importancia - sobre todo en los casos de pavimentos antiguos de poco espesor (de 10 a 15 cm), o cuando el cuerpo del pavimento está - contaminado por la penetración de agua.

#### IV.- La calidad de los materiales y su colocación.

Estos dos criterios son esenciales. Al establecer un - balance de las fallas, se observa que dos terceras partes de las mismas provienen de:

##### MATERIALES INADECUADOS

- granulometría incorrecta.
- porcentaje elevado de elementos redondeados (cantos redondeados),
- insuficiente dureza de los agregados,
- agregados sucios,
- rápido púlido de los agregados (desgaste excesivo).

##### FABRICACION DEFICIENTE

- porcentaje incorrecto de asfalto o de finos,
- insuficiente mezclado,

##### COLOCACION QUE NO SATISFACE LAS CONDICIONES REQUERIDAS.

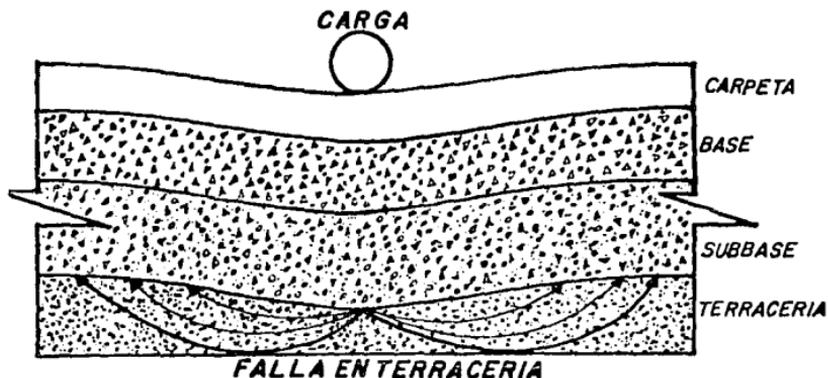
- Insuficiente compactación,

- excesiva compactación,
- insuficiente temperatura de colocación,
- segregación durante la colocación,

A CONTINUACION EN FORMA RESUMIDA SE TRATARAN LOS PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN A CADA UNA DE LAS CAPAS QUE FORMAN UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE.

PARTES FUNDAMENTALES DE LA ESTRUCTURA Y LAS CAUSAS QUE PROVOCAN LA FALLA.

Terreno de cimentación.- Mala calidad de materiales que lo componen (suelos orgánicos, suelos expansivos, suelos resilientes, etc.) asociados a variaciones de contenido de agua, que producen cambios volumétricos perjudiciales; baja capacidad de carga o falta de compactación.



Terracerfías.

a) cortes

b) terraplenes

a) Cortes.- Inestabilidad en los materiales de los taludes, que producen deslizamientos o derrumbes sobre el pavimento; espesor insuficiente de la capa subrasante; mala calidad del material y/o baja compactación en ella.

b) Terraplenes.- Mala calidad de los materiales del cuerpo del terraplén y/o de la capa subrasante.

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

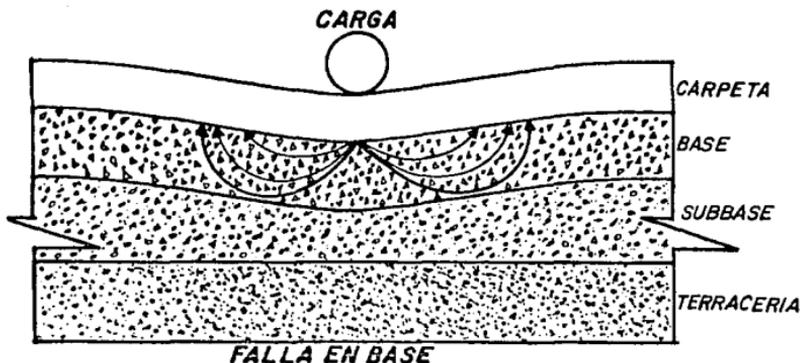
Sub-base.- Motivo de la falla generalmente es la mala calidad del material utilizado; baja compactación, falta de espesor; contaminación con el material de las terracerfías; defectos de construcción y/o acabados.

Base.- Mala calidad de los materiales utilizados; baja compactación; falta de espesor; falta de afinidad del material pétreo con el asfalto de impregnación; falta de limpieza o barrido de la superficie de la base al momento de impregnar;

defectos de construcción y/o acabados; defectos de la base - impregnada por exposición excesiva al tránsito antes de protegerla con la carpeta.

Riego de impregnación.- En riegos tipo inadecuado de asfalto o mala calidad del producto; cantidad excesiva de asfalto; - cantidad escasa de asfalto; tránsito demasiado pronto sobre el riego de asfalto; asfalto frío de viscosidad baja que no puede penetrar en la base; defectos en la aplicación del asfalto (defectos atribuibles a la petrolizadora o al operador).

Riego de liga.- Para carpetas de mezclas asfálticas o de riegos: Las fallas son las mismas que para los del riego de impregnación anexando el siguiente: Asfalto muy frío o que ha perdido su poder de aglutinamiento al momento de tender la carpeta (de mezclas en el lugar) o de cubrirse con los materiales pétreos (carpeta de riego).



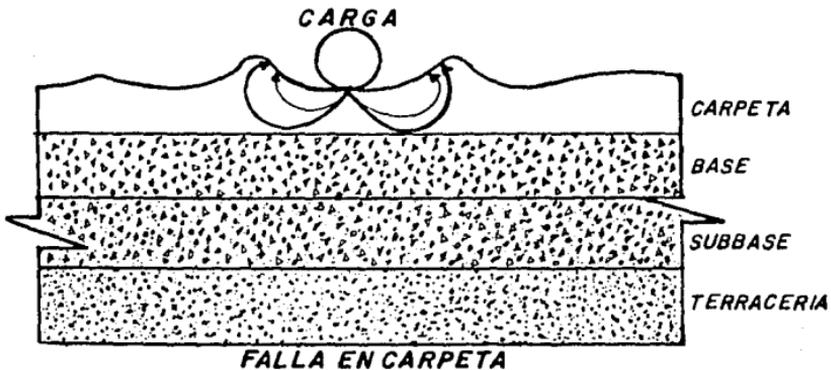
En carpetas dependiente del tipo

Carpetas de riegos.- Por mala calidad de los materiales pétreos, granulometrías incorrectas o polvo en la superficie de las partículas; falta de afinidad de materiales pétreos - húmedos al momento de su aplicación; tránsito sobre el riego de asfalto antes de cubrirla con el pétreo; tránsito demasiado pronto sobre el material pétreo aplicado principalmente - cuando los vehículos circulan a velocidades medias y altas; - defectos de construcción en la carpeta (falta de rastreos, - planchados o barridos, traslapes incorrectos de los riegos - etc.).

Carpeta de mezcla en el lugar.- Mala calidad de los materiales pétreos utilizados o defectos en su granulometría; falta de afinidad del pétreo con el asfalto; exceso de asfalto en

la mezcla; materiales pétreos demasiado húmedos al momento de agregar asfalto; tipo de asfalto inadecuado en la mezcla o mala calidad del producto utilizado; exceso de solventes en el momento del tendido; baja compactación de la mezcla; defectos en el proceso de tendido o en el acabado; baja resistencia de la mezcla; mezcla asfáltica muy permeable.

Carpeta de mezcla en caliente (concreto asfáltico).- Mala calidad de los materiales pétreos utilizados o granulometrías incorrectas; falta de afinidad de pétreo con asfalto; exceso de asfalto en la mezcla; cantidad escasa de asfalto en la mezcla o mala calidad del producto utilizado, tipo de asfalto inadecuado; temperatura excesiva por calentamiento del cemento asfáltico y/o el material pétreo al elaborar la mezcla; defectos de tendido o acabados de la mezcla; mezcla relativamente fría al tender y al compactar; baja compactación de la mezcla; espesor escaso de la capa, baja estabilidad de la mezcla y alta permeabilidad de ella; rigidez relativamente alta de la carpeta.



Otra causa con gran provocación de fallas en los caminos es: el sistema de drenaje que debe contemplarse desde la elección de ruta de una vía terrestre hasta el diseño del pavimento.

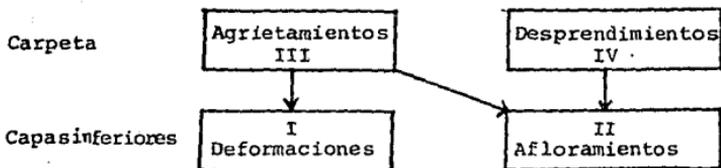
Obras de drenaje. - Las causas pueden ser desde insuficiencias en alcantarillas; puentes, en cuanto se refiere a cantidad (número) capacidad y ubicación incorrecta o inadecuada de éstas obras; también al uso de materiales de mala calidad o inadecuados en la construcción de éstas; defectos de construcción; falta de protección (recubrimiento) en cunetas o contracunetas o carencia de ellas; falta de conservación y limpieza de las obras para remover azolves u otras construcciones; rehacer canalizaciones; etc., falta de subdrenes donde se requieren o mal funcionamiento de los existentes. Lo anterior es cuanto al drenaje superficial como al subterrá-

neo o subdrenaje.

#### CLASIFICACION DE FALLAS

Las fallas pueden clasificarse en cuatro grandes grupos:

- I.- Deformaciones
- II.- Agrietamientos
- III.- Desprendimientos
- IV.- Afloramientos o movimientos del material.



Los desprendimientos y las fisuras (agrietamientos) - - afectan por lo general las capas inferiores por infiltración de agua deformandose, para luego alcanzar la capa superficial.

Dentro de cada grupo se forman subgrupos que se determinan por la forma o la localización de las fallas.

#### 1.- Deformaciones

##### A) Asentamientos

- a) longitudinal por el eje

b) longitudinal por la orilla

c) transversal

B) Corrugación

a) longitudinal

b) transversal

C) Huella de rodada

D) Ondulación

E) Roderas

1) Surco de gran radio

a) Sobre el eje

b) Sobre la orilla

2) Surco de pequeño radio

a) sobre el eje

b) sobre la orilla

F) Rizado

II.- Agrietamientos

A) Fractura

B) Piel de cocodrilo de retícula chica

C) Piel de cocodrilo de retícula grande

D) Agrietamiento en forma de dientes de sierra,

E) Agrietamiento parabólico (corrimiento)

F) Agrietamiento rectilíneo

a) longitudinal por el eje

- b) longitudinal por la orilla
- c) transversal

### III.- Desprendimientos

- A) Escarapelado
- B) Eyección y/o desprendimiento de la junta
- C) Pavimento resbaloso
- D) Descostrado
- E) Bache
- F) Desgranamiento
- G) Rugosidades (superficie rugosa)

### IV.- Afloramientos

- A) Afloramiento de agua
- B) Llorado
- C) Afloramiento de mortero asfáltico.

### FORMACION DE CATALOGOS DE FALLAS.

Estas fallas podrían entonces catalogarse y dibujarse - lo que permitiría conocer en cada momento, con respecto a un tramo de camino los tipos de fallas que pueden tener, su localización más general y la magnitud desde el punto de vista de la superficie de rodamiento.

Aún cuando en la actualidad son imposibles de cuantificar las molestias que ocasionan las fallas en los pavimentos y molestias que dependen de la presión de inflado de las - -

llantas, de la suspensión y tipo de automóvil ..., y del propio usuario al manejarlo.

Se han logrado determinar de siete a ocho tipos de molestias que ocasionan un reflejo imprevisible al conductor: visual, sonoro vibratorio, sacudidas, encarrilado, derrapamiento, deslumbramiento.

En resumen, una falla se caracteriza por su localización, su magnitud superficial, las molestias que pueden ocasionar y el tipo de pavimento del que se trate, a continuación se muestra un formato propuesto para el reporte de fallas, que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) a través de la Dirección General de Conservación de Obras Públicas propone para realizar una buena descripción de la falla que se da en un camino.



**Nota:** Para aclaraciones a conceptos que se puedan interpretar de otra manera a la que se refiere en el reporte:

- 1) Tipo de camino: Se refiere a la categoría 1er. orden, secundario, etc.
- 2) Topografía: Clasificación en plano, lomerío suave, mediano o fuerte montañoso o escarpado.
- 3) Clima: Si es frío, caluroso, templado, húmedo, etc.
- 4) Precipitación pluvial: Deberá considerarse la lámina - - anual.
- 5) Tipo de pavimento: Flexible, semirígido, etc.
- 6) Clasificación (fallas): Deberá hacerse de acuerdo con los grupos y subgrupos que antes se mencionaron y en los que están - - clasificadas las fallas según el - - catálogo de fallas de pavimentos - - que se realiza en la dirección ge - - neral de conservación de obras - - públicas de SCT.
- 7) Antigüedad de la falla: Se refiere a la aproximación en - - fecha de la aparición de la falla, que puede calcularse aproximada - - mente.
- 8) Número de estas fallas en el tramo: Se refiere a si la - -

falla descrita tiene - -  
otras similares en el trau  
mo, o si es única, o ra--  
ra.

- 9) **Fotografía:** Debe ser en la que se aprecie mejor la falla, pudiendo anexarse otras fotografías de conjunuto o de detalle, bien identificadas (se re- -  
quieren los negativos).

#### IV.- METODOS NO DESTRUCTIVOS PARA EVALUAR EL ESTADO DE LOS - CAMINOS CON PAVIMENTOS FLEXIBLES.

En este capítulo se darán a conocer los diferentes tipos de métodos NO DESTRUCTIVOS que se utilizan en la actualidad en muchos países del mundo para obtener la descripción de los daños que existen en un pavimento; estos métodos son sin duda factor importante que debe de intervenir para formular un diagnóstico, que nos indique la necesidad de un refuerzo para dicha estructura como: La conservación adecuada y a su debido tiempo (normal o preventiva), reconstrucciones aisladas (por tramos dañados), o tal vez la rehabilitación o reconstrucción (total o parcial de la obra).

Es aceptable que las características de las fallas que existen o se están dando en una estructura de pavimento, pueden establecerse por medio de mediciones de deformaciones tanto longitudinales como transversales, textura de superficie, porcentaje de fallas funcionales baches, cajetes o calaveras, grietas y porcentajes de áreas reparadas (todas ellas son medidas con aparatos como perfilómetros y rugómetros que no necesitan destruir la superficie para obtener el perfil de la sección que se está analizando), o bien por la medición de deflexiones que algunos aparatos auto provocan para obtener información del estado de esa estructura de pavimento (viga Benckelman, deflectógrafo lacroix, dinaflex, exá-

men de placa de apoyo, medidor de curvatura dehlén etc.), - también se utilizan exámenes de permeabilidad, etc.

#### MEDICION DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DE UN CAMINO CON PAVI-- MENTO FLEXIBLE.

##### Con pruebas no destructivas.

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

En este método, generalmente se mide la respuesta de la estructura del pavimento, las pruebas pueden repetirse va- - rias veces en el mismo sitio.

Las pruebas de este tipo se clasifican en tres catego-- rias:

- 1.- Mediciones de respuesta bajo cargas estáticas o móviles aplicadas a baja velocidad.
- 2.- Mediciones de respuesta a la aplicación de cargas repetidas.
- 3.- Mediciones de respuestas de una masa a una fuente controlada de energía nuclear.

- 1.- La respuesta a la aplicación de una carga sencilla, se obtiene mediante la deflexión producida en la superficie del pavimento.

El dispositivo generalmente usado es la viga Benckelman, que determina deflexiones de milésimas de pulgada. Los resultados de un estudio efectuado, indicarán que cuando las deflexiones de la superficie de un pavimento de camino exceden de un cierto valor, ese pavimento generalmente muestra signos de deterioro.

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

- 2.- La AASHTO realizó mediciones de vibraciones producidas a pavimento flexibles al aplicar en la superficie una fuerza vertical alternamente y midiendo posteriormente las -

deflexiones y la propagación de las ondas. Las deflexiones proporcionan un valor de la rigidez elástica de la estructura total del pavimento, en tanto que la velocidad de propagación puede proporcionar idea de la rigidez de las variadas capas que lo integran. El cuerpo de Ingenieros de los E.U.A. ha empleado un equipo vibratorio para determinar el módulo de elasticidad del suelo bajo el pavimento del camino. A partir del valor del módulo obtenido y aplicando la teoría de la elasticidad puede determinarse la resistencia del pavimento.

- 3.- En la época actual se han empleado pruebas nucleares para medir la densidad de la masa y la humedad de los materiales de pavimentación.

Se ha extendido su uso a la determinación del contenido de asfalto y densidad de mezclas. Se ha iniciado experimentación para adaptar el uso de estos dispositivos a la evaluación de los pavimentos midiendo por ejemplo, las variaciones de la densidad en el transcurso del tiempo.

Entre las diferentes técnicas de pruebas no destructivas que se usan para la evaluación estructural de pavimentos, se encuentran cuatro secciones las cuales pueden ser divididas en categorías variadas y son:

- 1.- Deflexión estática

- 2.- Estado de deflexiones uniforme.
  - 3.- Respuesta a impacto de cargas.
  - 4.- Propagación de ondas.
- 1.- Deflexión estática.

La deflexión estática es causada para obtener respuestas de pavimentos aplicando cargas lentamente, distinguiendo se precisamente con esto de los sistemas dinámicos también utilizados.

En las mediciones del sistema estático las cargas son aplicadas lejos del punto de medición mediante un vehículo cargado o también mediante un marco estacionario cargado. Los problemas más serios que se presentan al hacer este tipo de mediciones es la dificultad de obtener un punto inmóvil para hacer la medida de deflexión.

En el año de 1952 A.C. Benckelman hizo posible medir la deflexión de pavimentos con el desarrollo de su viga Benckelman. Desde entonces se usa este método simple a nivel mundial.

#### LA VIGA BENCKELMAN.

Equipo de prueba.

Este aparato opera siguiendo el principio de una palanca simple. Un brazo de 8 pies de longitud se coloca entre -

las 2 llantas duales del camión cargado con 15,000 lbs. por eje sencillo. Al deformarse el pavimento, el pivote de la viga gira alrededor de un punto de rotación colocado en la viga de referencia, la descansa en el pavimento hacia atrás del área de influencia, de tal manera que el brazo posterior de la viga de 4 pies de longitud, acciona un extensómetro que registra la deflexión máxima con una aproximación de 0.001 pulgadas.

Aún cuando este aparato está limitado a la medición de deflexiones solamente para vehículos de prueba operando a muy baja velocidad, tiene ventajas muy importantes en cuanto a sencillez, versatilidad y rapidez de medición. Con ella se pueden realizar de 300 a 400 mediciones individuales en un día de trabajo en una carretera.

Este equipo se usa para realizar pruebas estáticas y/o ultradinámicas obteniendo sus deflexiones provocadas por rebotes de cargas, ver fig. IV-1).

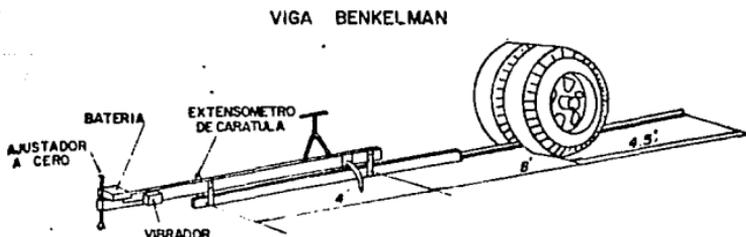


Fig. IV-1

Un ejemplo de operación de la viga Benckelman es el siguiente:

El pie de la sonda, en el extremo de la viga, se hace descansar sobre el pavimento bajo el eje trasero y entre las dos llantas del vehículo. La viga sonda gira en un plano vertical alrededor del eje o pivote de 2.40m. (8 pies) del extremo. El camión avanza muy lentamente y la deflexión total del pavimento se lee en un extensómetro (disco graduado); la deflexión obtenida, es la recuperación vertical que experimenta la superficie cuando se deja de aplicar la carga.

El camión para la prueba debe tener una carga de 18,000 lbs. en el eje trasero, con llantas duales de 10.00 x 20.00 y presión de inflado de 80 lb/pulg<sup>2</sup>.

El procedimiento de prueba es la siguiente:

- a). Se marca en el pavimento el punto escogido para hacer la prueba, se debe localizar a 0.60 m. (2 pies) de la orilla del pavimento, si el ancho del carril es menor de 3.30 m. (11 pies) y a 0.90 m. (3 pies) de la orilla, si el ancho es de 3.30 m. (11 pies) o mayor.
- b). Se centra el sistema de las ruedas dobles del camión sobre el punto marcado, es aceptable una diferencia de hasta de 7.6 cm (3 pulgs.) en esta operación.

- c). Se inserta el brazo probador de la viga Benckelman entre las llantas duales del camión, colocando el pie de la sonda sobre el punto de prueba.
- d). Se retira el perno del seguro y se ajustan los apoyos delanteros de manera que permitan una carrera de 1.27cm. (0.5") de vástago del extensómetro.
- e). Se conecta el sumador de la viga y se registra la lectura inicial en el extensómetro; el objeto del zumbador es advertir que se está haciendo una medición.
- f). Inmediatamente después, se mueve lentamente el camión hacia adelante hasta una distancia de 9 m. (30 pies) o más.
- g). Se registra la lectura final del extensómetro. Cuando deje de moverse la aguja de la carátula, desconectese el zumbador.
- h). Se mide la temperatura superficial del pavimento, a una distancia no, menor de 25 cm (10") de la orilla del mismo, abriendo un agujero de 3 mm (1/8") de diámetro a 3mm (1/8") de profundidad, rellenándolo con un asfalto líquido viscoso a la temperatura ambiente, tal que dejándolo en reposo una hora permita medir con un termómetro la temperatura correspondiente de la capa. También debe determinarse la temperatura ambiente, en ese momento.

- i). Se mide el espesor total de la capa asfáltica del pavimento existente, así como el de cada una de las capas restantes que la constituyen y se determinan las características de los materiales que la forman.

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

El reporte debe incluir lo siguiente:

- 1.- Lugar de prueba.
- 2.- Recuperación total de la deflexión del pavimento.
- 3.- Temperatura ambiente.
- 4.- Espesor de la capa asfáltica del pavimento.
- 5.- Espesor total del pavimento y como se encuentra estructuralmente.
- 6.- Temperatura superficial del pavimento.

Cuando ya se han medido todas las deflexiones en un tramo, los datos registrados se utilizan para calcular la recuperación representativa de la deflexión para el tramo, mediante la expresión:

$$d = (\bar{X} + 2S) \text{ fc.}$$

donde:

d = recuperación representativa de la deflexión.

$\bar{X}$  = media aritmética de los valores de deflexión individuales.

S = desviación estándar de las deflexiones, respecto al promedio.

f = factor de corrección por temperatura.

c = factor de corrección o ajuste por período crítico, el cual esta en función de la estación y la variación de la fuerza del pavimento (c = 1 para pruebas durante el período crítico).

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

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

en donde:

S = desviación estándar

x = valor de la deflexión en cada prueba.

n = número de valores individuales de prueba.

#### DEFLECTOMETRO MOVIL.

Este instrumento es electromecánico en su funcionamiento y mide deflexiones automáticamente en el pavimento y tiene los mismos principios que la viga Benckelman, consiste en

vehículo que pesa 18,000 lbs. individuales por eje cargado - sobre las llantas traseras y mide la deflexión a intervalos de 20 pies de una manera uniforme y continua, mientras el - vehículo se desplaza sobre el camino a 1 Km/hr.

Las deflexiones medidas tienen una aproximación de - - 0.001 de pulgada, la prueba se realiza por medio de un brazo que descansa sobre el pavimento y se registran en forma continua en una gráfica. En un día normal de trabajo, se pueden realizar entre 1500 y 2000 mediciones individuales promedio.

#### CURVIMETRO DEHLEN

Este aparato consiste en una barra de aluminio de 1/2 - pulgada de espesor por 1/2 pulgada de ancho con 13 pulgadas de longitud, con apoyos de soporte a una distancia de 12 pulgadas de centro a centro y un extensómetro (disco graduado con carátula) con aproximaciones de hasta 0.005 pulgadas y con ajuste para 0.05 pulgadas en el centro de la barra ajustadora ver fig. IV-2. Colocando este aparato entre las dos - ruedas "duals" del vehículo de prueba cargada o (15,000 lbs por eje sencillo y llantas de 11.00 por 22.50, con 70 lbs/--pulg<sup>2</sup> de presión), es posible medir la ordenada media de una curva que tiene longitud de cuerda de 12 pulgadas correspondientes a la concavidad de la zona deformada y de la cual se puede calcular el radio de curvatura.

## CURVIMETRO DEHLEN

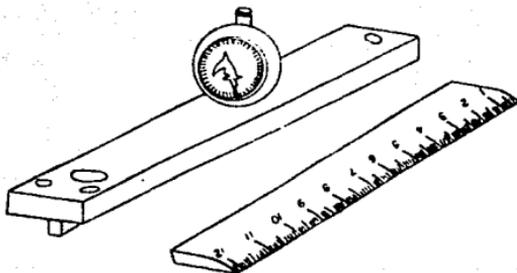


Fig. IV-2

DEFLECTOGRAFO LACROIX.

Este aparato de fabricación Francesa, mide deflexiones de la superficie de rodamiento bajo la acción de un eje cargado.

Las aplicaciones más importantes son las siguientes:

Vigilancia de la capacidad de carga de una red carretera y estudio de su evolución, detección de las zonas defectuosas a reforzar, control de la ejecución y de la eficacia de los refuerzos.

El deflectógrafo está montado sobre un camión, del cual se puede variar la carga del eje posterior entre 6 y 13 toneladas. Durante la medición, el aparato circula a una velocidad constante de unos tres kilómetros por hora. Para

asegurar el conjunto de las operaciones de medición es necesario un técnico y un chofer.

Ejecución de la medición.

La deflexión vertical de la superficie de rodamiento - bajo la carga del eje posterior de un camión es medida entre cada rueda doble con la aguja de un brazo palpador que a su vez esta asociado a una viga de referencia. En este brazo palpador que a su vez esta asociado a una viga de referencia. Este captador transforma la deflexión en una señal que se registra análogicamente (gráficamente) y que puede ser registrada numéricamente (cinta perforada o magnética) simultáneamente.

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

- 1.- La viga de referencia está colocada delante del eje posterior del vehículo, de manera que cada brazo palpador - esté situado sobre la trayectoria de la rueda doble, fuera de la zona de deflexión. Esta viga reposa en el suelo en tres puntos, los que sirven para definir un plano de referencia. Esta posición del sistema de medición es tomada como origen de la deflexión.

- 2.- Las ruedas duales avanzan hacia los palpadores, los cuales entran en la zona deformada de la superficie de rodamiento. La deflexión es registrada hasta que el eje palpador ha pasado la extremidad del brazo palpador. Durante toda esta fase, los tres apoyos han permanecido estacionarios y la deflexión ha pasado por el máximo.
- 3.- La viga de referencia es recogida por un sistema de tracción, solidaria del vehículo. La viga es llevada rápidamente hacia la parte delantera del vehículo, donde se ubica nuevamente en su posición inicial. El paso de la medición es variable (4 a 6m) y el vehículo se desplaza a una velocidad constante de 3 km/hr.

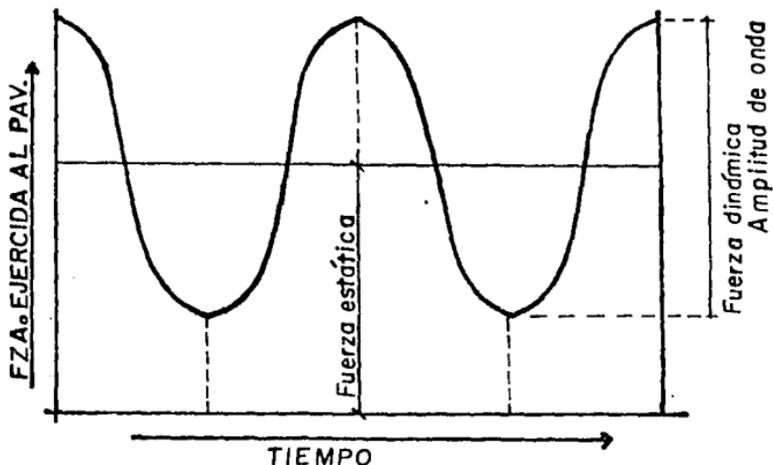
Los resultados repitiendo se pueden obtener gráficamente o por medio de cintas perforadas o magnéticas. Estos dos registros permiten la utilización de equipo de computo, que permite de esta manera visualizar y utilizar todos los elementos de las deformaciones.

## 2.- Estado de deflexiones uniformes.

Cuando las cargas estáticas son aplicadas a la superficie de una estructura de pavimento, el grado de deflexión es aproximadamente proporcional a la fuerza aplicada. Cuando la carga es removida, hay recuperación notable al estado de la forma inicial. Similar comportamiento ocurre también en el pavimento cuando es cargado dinámicamente.

Las especificaciones se obtienen manejando amplitudes - de frecuencias que corresponden a ciertas deflexiones dinámi cas, donde ésta es apróximadamente proporcional a la ampli tud de la fuerza dinámica aplicada.

Es decir ahora por este método de obtención de deflexio nes en pavimentos, se inducirá a la estructura del pavimento a un estado uniforme de vibración en frecuencias senoidales puras, que son provocadas por una fuerza dinámica generadora ver fig. IV-3



La fuerza dinámica es superpuesta sobre la fuerza estática, provocada a su vez por el peso propio de la fuerza ge-

neradora.

La magnitud de la amplitud de la fuerza dinámica generadora representada en una onda (de pico a pico) es de 2 veces menor que la fuerza estática, con el objeto de asegurar un contacto continuo entre el vibrador y el pavimento.

Esencialmente todos los tipos de equipos que se utilizan para evaluar la estructura de un pavimento en el estado uniforme de deflexiones dinámicas, trabajan similarmente provocando un estado uniforme de vibración senoidal como ya se mencionó anteriormente.

Estas deflexiones son medidas por un acelerómetro o un sensor de velocidad, el último de estos equipos es comúnmente llamado geófono y es el más utilizado, mide las deflexiones en un rango de frecuencias altas y suficientes para el rango de respuesta del sensor. El factor de calibración para rendimientos de este tipo de sensores es constante en un rango plano de respuesta, generalmente empieza con un valor para frecuencia de 3 ó 4 tiempos más grandes que la resonancia del sensor, para evitar errores en la interpretación de los resultados. Otro método que se usa para valuar el estado uniforme de deflexión dinámica, es determinar un sistema mecánico de impedancia (es decir la resistencia que tiene un pavimento a la aplicación de fuerzas estáticas y dinámicas) y asociarlo a una función de frecuencia, ambas fuerzas la de entrada y de respuesta de velocidad son determinadas en fa--

ses y amplitudes, estas cantidades de velocidad de fuerza - son representadas complejamente y definidas como: impedancia mecánica. Este método de representación es un camino diferente de obtener la respuesta de un pavimento a este estado de deflexiones.

Las respuestas elásticas de una estructura de pavimento, son los módulos elásticos determinados tanto del pavimento como de las terracerías, suponiendo que la estructura está compuesta por 2 capas que son elásticas; es una técnica gráfica por la cual se obtienen estos 2 módulos elásticos - basada en el ajuste de medidas de deflexión a deflexión y - que son producidas por un punto de carga sobre las 2 capas - del sistema elástico.

#### DYNAFLECT.

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

Consiste en un generador de fuerza dinámica, aparato - móvil de medición, una unidad de calibración y una serie de - cinco geófonos móviles montados sobre un pequeño remolque, - ver fig. IV-4. El remolque estando en posición fija, ejerce en la superficie del pavimento mediante 2 ruedas de acero cubiertas de hule, una carga oscilatoria cuya densidad es de - 1000 libras en los puntos máximos.

La amplitud resultante de la deflexión, es recogida por los geófonos y leída como una medida de la propia deflexión en un aparato colocado dentro de la cabina del vehículo remolcador. A continuación se describen los pasos a seguir para su uso.

#### DYNAFLECT

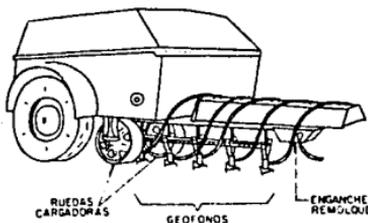


Fig. IV-4

- a). Se instala y prepara la unidad de medición de deflexiones.
- b). Se calibra la unidad.
- c). Se obtiene una medición de deflexión cada 0.01 milla - - (aproximadamente 53 pies) en la rodada que muestra los mayores deterioros. El geófono No. 1 es suficiente para la mayoría de los casos.
- d). Obtener como mínimo veinte mediciones por tramo de prue-

ba, siempre que sea posible.

- e). Se registran las mediciones con el Dynaflect con sus correspondientes factores; se registra también la información relativa a las observaciones a simple vista de las condiciones del pavimento, intersecciones con calles o carreteras, localización de cortes y terraplenes, postes del señalamiento y otros aspectos del control vertical.
- f). Se calcula el promedio del 80 percentil de las deflexiones obtenidas con el Dynaflect y se convierten a deflexiones equivalentes con el deflectómetro móvil (viga - Benkelman)

#### ROAD RATER (Evaluador de Camino)

Este instrumento comprende 4 modelos diferentes de los cuales 2 están diseñados para montarse sobre el frente de camiones ligeros y los modelos restantes pueden ser montados sobre ejes de 2 llantas de coche (remolques), para hacer mediciones con uno u otro tipo unitariamente, el vehículo se estaciona en el sitio de medición, en donde la fuerza generadora y el sensor deflexión son bajados al pavimento hidráulicamente. Los controles de operación y el metro para leer las deflexiones se encuentran en un lado del vehículo para un fácil acceso del operador.

La fuerza generadora para todos los modelos consiste en

una masa de acero y la actuación de un vibrador hidráulico, - este es capaz de producir varias magnitudes de fuerzas dinámicas dentro de un rango de frecuencias de 5 a 100 Hz. Todos los modelos estándar son diseñados para operar en 5 valores fijos de frecuencias que están entre 10 y 40 Hz. un manejo de frecuencias bajas da una máxima amplitud de fuerza dinámica (de pico a pico) que puede ser producida y limitada - por el desplazamiento del empuje hidráulico. Si se consideran altas frecuencias estas pueden ser limitadas por la fuerza estática que se empieza a ejercer sobre el pavimento. - Los límites de la fuerza dinámica para las fuerzas generadoras en modelos usados están mostrados en la fig. IV-5.

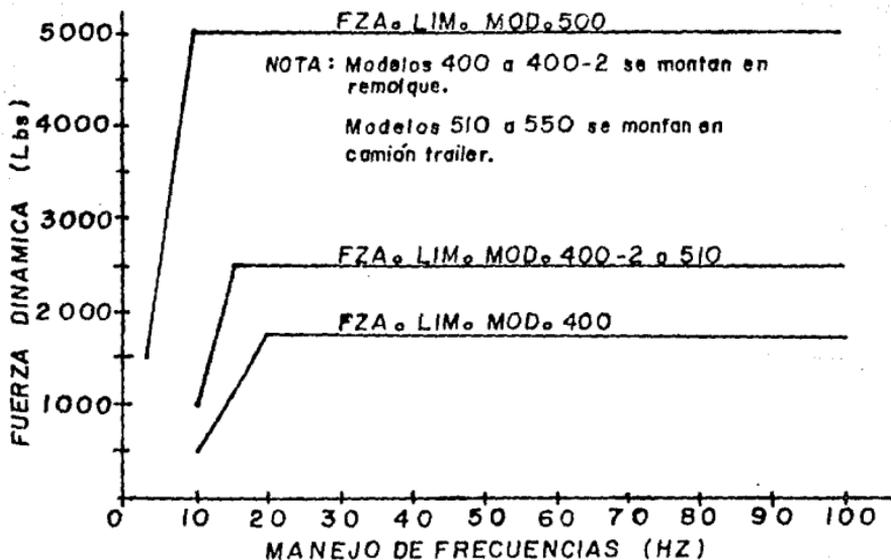


Fig. IV-5 Límites de fza. dinámica del Road Rater.

Aún cuando varias placas están disponibles, la huella de la carga para todos los modelos estándar consiste de únicamente 2 placas rectangulares de acero de área de 4 pulgs. por 7 pulgs. estas se encuentran separadas por 10 1/2 pulgs. de centro a centro. Así el área de contacto total son 56 pulgs<sup>2</sup>.

Las deflexiones son medidas usando los resultados obtenidos de los sensores de velocidad. Normalmente uno o más sensores se emplean para realizar medidas y estos se alojan en ejes simétricos que se apoyan a su vez en 2 placas de carga. La deflexión para cada sensor se lee directamente en un metro.

El Road Rater es muy rápido y sencillo de operar. El tiempo total requerido en un examen de sitio para obtener la medición de la deflexión correspondiente, previamente elegido el rango de frecuencias es menos de 1 min. Este tiempo incluye el bajar y subir la fuerza generadora y el sensor de deflexión.

#### VIBRADOR WES 9-KIP.

Este instrumento es generador de vibración y normalmente se monta sobre un eje tandem de un coche y es remolcado por la parte trasera de un camión. Generalmente se emplea una cuadrilla de 2 hombres, uno de los cuales maneja el camión remolcador. Para hacer las mediciones el camión es -

estacionado en el sitio de exámen, y la fuerza generadora se baja hasta el pavimento a través del chásis del trailer, o - coche.

La fuerza generadora emplea un tablero de rotación de - masas para aplicar una fuerza dinámica, la cual es directa- mente proporcional al cuadrado de las frecuencias manejadas.

Aun cuando el instrumento está diseñado para la opera- ción manejando frecuencias de 5 a 60 Hz. El procedimiento - normal es una variación de 5a 15 Hz. La excentricidad del - tablero de rotación de masas se antepone a la amplitud de on da de fuerza dinámica de aproximadamente 16,000 lbs, para - 15 Hz y la novena parte de 16,000 lbs para 5 Hz. Cuando la \_ fuerza generadora se baja el peso completo total de 9 Kips - descansa sobre el pavimento.

Las fuerzas dinámicas y estáticas son transmitidas al - pavimento a través de colocar 3 celdas de carga que se conec tan y cargan una placa de acero de 19 pulgs. de diámetro. - Por otra parte el sensor de velocidad está montado directa- mente sobre la placa de carga y los resultados del sensor - son usados para medir la deflexión.

El sistema de medición actual consiste de 870 ohms y - 3 Hz en el sensor de velocidad, y se afecta por un factor de  $\pm 0.7$  ó  $0.8$  Hz debido a la humedad que se pueda presentar.

El vibrador 9 kip wes es muy simple de operar y el tiempo requerido para obtener la deflexión correspondiente al dato de la carga variada y por lo consiguiente de la frecuencia, este tiempo es de 10 min. aprox. incluyendo ascensos y descensos de la fuerza generadora.

Existen otros modelos más de vibradores que funcionan y se operan igual como el anteriormente descrito, sólo que tiene como variantes a: La longitud del aparato, el rango de frecuencias utilizadas, el diámetro de la placa de acero que carga, la magnitud de la fuerza dinámica, el tiempo de medición requerido etc. todos ellos son los más importantes. Entre ellos se encuentran:

El vibrador Wes 16 Kip.

Que cuenta con:

Longitud de aparato ..... 30 pies  
 Rango de frecuencias utilizadas ..... 5 a 90 Hz.  
 El diámetro de la placa de acero que carga ..... 12 pulgs.  
 La magnitud de la fuerza dinámica ..... 6750 lbs.  
 Tiempo de requerimiento para una medición ..... 3 min.

El vibrador CERF 6.75 Kip.

Longitud del aparato ..... 30 pies  
 Rango de frecuencias utilizadas ..... 5 a 60 Hz.  
 El diámetro de la placa de acero que carga ..... 12 pulgs.  
 La magnitud de la fuerza dinámica ..... 6750 lbs.  
 (peso del vibrador electromagnético)

Tiempo de requerimiento para una medición ..... 3 min.

El vibrador Shell 4 kip

La longitud del aparato es la de una caja para transportación de carga pesada en un trailer .....

Rango de frecuencias utilizadas ..... 5 a 20Hz y 20 a 80Hz

El diámetro de la placa de acero que carga. 11.8 pulgs.

Variación de la magnitud de la fuerza dinámica . 0 a 8000 lbs.

El tiempo que se requiere para una medición es mayor o sea -  
tardado.

#### RESPUESTA DE UN PAVIMENTO AL IMPACTO DE CARGA.

Esencialmente todos los métodos de prueba de impactos - de carga, liberan tipos de impulso instantáneo de fuerza a - la superficie del pavimento y ésta respuesta de la estructura del pavimento es registrada o medida. Por principio estos métodos de exámenes son muy rápidos, y su duración de medida son escasos segundos.

Los impulsos de fuerza son normalmente generados por pesos que caen de una cierta altura a la placa de impacto, la cual hace contacto con la superficie del pavimento. La placa de impacto está diseñada para resistir la fuerza de impulso que se produce.

Esta respuesta de los pavimentos es normalmente medida con un sensor de movimiento de inercia como los utilizados -

en las pruebas de estado dinámico uniforme de deflexiones.

Equipo de prueba.

El exámen de impacto no tiene mucho uso en los Estados Unidos para la evaluación de pavimentos. Los instrumentos que se han utilizado, fuerón diseñados y construidos por - - - - -agencias involucradas en la investigación de pavimentos como lo son: C.A.L (Laboratorio de Aeronáutica de Cornell), el departamento de investigación de transportación de Buffalo - - - - -N.Y, y la (Universidad estatal de Washington) W.S.U. respectivamente. También es usado un instrumento de impacto llamado: Deflectómetro de caída de peso, disponible comercialmente.

Exámen de impulso C.A.L (Laboratorio de Aeronáutica de Cornell)

Durante los años de 1960 éste Laboratorio, investigó la factibilidad de exámenes de impulso; para detectar la variación estacional en la capacidad que tiene la estructura del pavimento flexible, a la transportación de carga. La instrumentación consiste en un generador de impulsos, que dispone de diferentes sensores, para medir la respuesta del pavimento.

El generador de fuerza se monta sobre un coche; éste equipo levanta y libera 500 lbs, las descarga sobre una - - - - - barra de acero de 1 pulg. de espesor que tiene un disco de -

aluminio de 15 pulgs. de diámetro. El ajuste para bajar y - subir la placa es de 0 a 4 pies de altura, pero en sus experimentos se usó 1 pie de altura; la duración de la fuerza de impulso fué entre 3 a 6 seg, dependiendo del tipo de pavimento examinado. La mejor medida de respuesta de pavimento fué hecha con un movimiento de inercia llamado: Desplazamiento - transductor dinámico, DDT. La DDT fué diseñada y construida por CAL. Es básicamente una masa sísmica con un sensor de - desplazamiento que tiene una frecuencia natural de 1.7 Hz.

La técnica de carga de impulso ofrece un posible medio de estimar la capacidad de carga de transporte. La primera deflexión determinada con el DDT, apareció para ser las más prometedoras medidas de respuestas variables.

Exámen de impulso WSU (Universidad Estatal de Washington).

Recientemente ésta Universidad, investigó también la factibilidad de exámenes de impulso para evaluación de pavimentos con pruebas no-destructivas. Sus exámenes indicaron que los parámetros estructurales de los pavimentos son lineales, o lo suficientemente sobre un rango amplio de fuerzas - utilizadas para la evaluación estructural de un pavimento, y no necesariamente será largo, es decir que el equipo de medición no necesariamente tiene que ser largo y pesado. Debido a que el exámen de impulso de fuerza contiene un espectro -

amplio de frecuencias, presenta ventaja sobre la excitación de frecuencias unitarias.

La excitación de frecuencias unitarias tiene un riesgo difícil, ya que la respuesta es afectada desfavorablemente cuando se manejan frecuencias cercanas a la resonancia aguda.

La instrumentación en éste tipo de pruebas es básicamente un martillo que libera energía en golpes controlados sobre el pavimento; 2 transductores para medir la respuesta del pavimento, y 2 acelerómetros piezoeléctricos.

#### Aplicación

Todos los aparatos utilizados para realizar las pruebas de carga de impacto, pueden proveernos de información razonablemente y correlacionada con medidas de deflexión estática.

Aunque se investigó sin progreso alguno en los procedimientos de evaluación, sin embargo en épocas anteriores tuvo auge. Se dice que para un tiempo futuro será desarrollado en escala más amplia en los E.U. La mejor ventaja de éste exámen que es aprovechada actualmente es: La duración que son escasos segundos para realizar la medición; en este pequeño período la respuesta nos proporciona datos que contienen la misma información, que nos da un exámen de estado uníforme de deflexiones.

Por otra parte la desventaja es el problema en obtener aproximaciones en la información de la respuesta, debido al rango corto de frecuencias, ocasionado por las características de una salida pequeña en el sensor de movimiento inercial, por lo que no se obtiene información de respuesta en rangos de frecuencias significativas y requeridas por el pavimento para fuerzas de impulsos largos los cuales tienen pequeña duración (tan pequeña como un milisegundo), por lo tanto es difícil producir cada impulso. No obstante la característica considerable del pavimento nos da información que se puede obtener con impulsos de fuerza de larga duración para obtener esta información se requiere de análisis de fourier, descritos para entrada y salida. No se ha reportado aun mucha investigación basada en este aprovechamiento.

Esencialmente las técnicas de impacto son del mismo modo algún tipo de exámenes de deflexión, que representan la caracterización completa de la estructura del pavimento. La técnica no obtiene información fácilmente de los efectos en las variadas capas individualmente. Adicionando a los parámetros la causa de la deformación plástica en la estructura que no es fácil de determinar con el examen de impacto.

#### TECNICA DE PROPAGACION DE ONDAS

La técnica de propagación de ondas ofrece métodos para determinar las propiedades estáticas individuales de cada

capa de pavimento y terracerías. Esta información es de particular interés para usarse con la teoría de análisis de capas de un sistema de pavimentos. La medida de la velocidad de propagación de ondas a través del pavimento y de las capas de suelo, comienzan en los años 30's con el trabajo de la Sociedad Germana de Mecánica de Suelos; similarmente los trabajos continuaron por La Investigación en Caminos y Transportación de Sud-Africa, La Ingeniería Civil Fácil Investigando en Nuevo México, La estación de experimentos en Caminos Costeros y otras. Sin embargo pese a los grandes esfuerzos de estas organizaciones; aun permanecen aspectos de la propagación de ondas vibratorias que no son muy claros.

Existen 2 técnicas básicas para la propagación de ondas a través de estructuras de pavimentos:

- 1.- Exámen de estado firme de vibración
- 2.- Exámenes de impulsos sísmicos.

El método de propagación de ondas involucra la medición de la velocidad y longitud de onda, ésto en la superficie de propagación y lejos del lugar de origen de la vibración en la superficie.

Generalmente se transmiten 3 tipos de ondas a la superficie de un pavimento y estan ligados al origen de la vibración que son:

- 1.- de compresión (p)
- 2.- de cizallamiento (corte) (s)
- 3.- de rayo rayleigh (r)

Las ondas "p" y "s" son grandes mientras que las "r" son cortas. La disipación de energía para la entrada de un vibrador es un semi-infinito medio espacio y está establecido para ser distribuido sólo con "p", "s" y ondas "r", según su intensidad:

tipo de onda	% de disipación de energía
p .....	7
s .....	26
r .....	67

Por los datos se puede concluir que la onda "r" es dominante al permanecer transmitida. Mientras que las "p" y "s" se atenúan rápidamente a una distancia radial al origen de la vibración, por éstas razones, la onda "r" es el tipo de medida en la técnica de propagación de ondas.

La onda "s" viaja en velocidad dada por:

$$C_s = \sqrt{G/P}$$

donde:

$C_s$  = velocidad de onda "s"

G = módulo de cizallamiento

P = densidad de masa

Mientras que la velocidad de la onda de compresión es:  $G_p$

$$C_p = \sqrt{\frac{I + 2G}{P}} \quad \text{DONDE} \quad I = \frac{E V}{(1+v)(1-2v)}$$

si E = módulo de elasticidad

V = relación de poisson's

y la velocidad de onda de "r" está dada por:

$C_r = \alpha C_s$  donde  $\alpha$  es una función de la relación de poisson's y varía de 0.875 para  $v$  de 0 a 0.955 y para  $v = 0.5$ . Una relación entre la velocidad de onda "s", "p" y "r" en función de la relación de poisson's.

#### Técnicas de Medición.

Los procedimientos de exámenes de campo para la medida de propagación de ondas involucra 2 tipos de exámenes generalmente. La velocidad de la onda "r" está determinada con un estado uniforme de vibración para la respuesta del pavimento; la velocidad de onda "p" (compresión) se mide con un examen de impulso sísmico.

Un examen de laboratorio fué usado en ocasiones para la corrección por nivel de elasticidad en la capa de terracerías.

Los procedimientos de laboratorio son disponibles para determinar las propiedades elásticas del pavimento y el suelo; esto se realiza con especímenes, aplicando la técnica de

propagación de ondas. Las técnicas de procedimiento de laboratorio, requieren que el material sea obtenido para el examen, y es por eso que no se puede considerar como una técnica no-destructiva.

Los procedimientos de laboratorio son paralelos a los de vibración en campo y se consideran importantes.

Los métodos pueden ser aplicados al diseño de pavimentos, y son 2: El método de la columna de resonancia, y el de pulso.

#### Exámenes de estado uniforme de vibración.

De un experimento de onda que se propaga verticalmente, requerido así por el método, la velocidad y longitud de onda medidas deben ser obtenidas sobre un rango amplio de frecuencias que va de 5 a 50,000 Hz si las propiedades elásticas de todas las capas del pavimento serán determinadas. Para esto varios tipos de vibradores se emplearán.

Por principio se realizaron trabajos de este campo por el laboratorio Real, el laboratorio de investigación en caminos y la estación experimental de carreteras costeras (WES) que utilizaron un vibrador mecánico de frecuencias cortas en rango de 5 a 100 Hz y un pequeño vibrador electromagnético para frecuencias altas de trabajo.

El procedimiento general es: descansar el vibrador en -

la superficie del pavimento y colocar el equipo en operación en frecuencias constantes; una medición con cinta se realiza en dirección donde las medidas están siendo tomadas, el transductor (acelerómetro por c/tipo de velocidad), se encuentra en un lugar en la superficie del pavimento cercano al vibrador; Por medio de un circuito apropiado y un osciloscopio la onda es monitoreada.

Usando la técnica de propagación de ondas cuando se usa la onda "r" Rayleigh su velocidad se determina con:

$Cr = Lf$  donde:  $Cr$  = velocidad de onda Rayleigh

$L$  = longitud de onda

$f$  = frecuencia

y la longitud de onda puede calcularse como:  $L = \frac{360 \cdot d}{\theta}$

$L$  = longitud de onda

$d$  = espacio entre 2 transductores

$\theta$  = fase de mediciones diferidas entre transductores para una distancia  $d$ .

La velocidad de onda es obtenida de:  $Cr = f \cdot \frac{360 \cdot d}{\theta}$

$f$  = frecuencia

#### Exámenes de impulso (exámenes sísmicos).

El examen sísmico puede ser conducido en orden para determinar la velocidad de onda de compresión, el cual puede ser usado también con la onda cortante "s" o la "r" Rayleigh, y la velocidad para calcular la relación de poisson's, ésta -

solamente para un buen suelo donde la velocidad se incrementa en los espesores profundos de los materiales, y no es aplicable por lo tanto sistemas de capas de pavimento, donde la velocidad en las capas superficiales es alta y crece progresivamente con la profundidad. Aun cuando este procedimiento ha sido usado para obtener velocidades de onda de compresión en las capas de pavimento durante su construcción.

Cuando se conocen ambas velocidades de onda, la de compresión y cortante entonces la relación de poisson's puede ser obtenida de la fórmula:

$$V = \frac{1-2 \left(\frac{C_S}{C_C}\right)^2}{2-2 \left(\frac{C_S}{C_C}\right)^2}$$

#### Método de la columna de resonancia.

El procedimiento así como el aparato para realizar este tipo de técnica, obtienen el módulo del espécimen de suelo en el laboratorio, por medio de vibraciones. El aparato da una presión de confinamiento uniforme, que podría ser aplicada a una prueba y aproximarse a las condiciones de esfuerzo como en el sitio.

Cuando el método de la columna de resonancia se usa, la respuesta es captada (monitoreada) para un rango de frecuencias en modos de excitación, longitudinal y torsional que determinará la frecuencia de columna de resonancia del suelo. La frecuencia fundamental de la prueba de resonancia,

es muy baja en relación con la aceleración en la máxima profundidad de la prueba y la fase angular entre el senoide de onda. Las propiedades dinámicas deseables del suelo pueden entonces ser fundamentadas por medio de las siguientes relaciones:  $G = 16f_1^2 L^2 P$ ;  $E = 16f_1^2 L^2 P$ ;  $C_s = 4f_1 L$ ;  $C_1 = 4f_1 L$

$$\nu = \frac{E}{2G} - 1 \quad C_c = V_1 \frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}$$

donde:

$G$  = módulo cortante

$F_t$  = frecuencia fundamental de la resonancia de torsión

$L$  = longitud de la prueba

$P$  = densidad de la masa de la prueba

$E$  = módulo de Young (compresión)

$F_1$  = frecuencia fundamental de resonancia longitudinal.

$G_s$  = velocidad de onda cortante

$\nu$  = relación de Poisson's

Las ecuaciones antes dadas se pueden simplificar para casos elásticos únicamente, aunque el verdadero comportamiento del suelo puede ser viscoelástico y por lo tanto limita el valor del modelo, contando la velocidad para el amortiguamiento del material.

Estos mismos resultados obtenidos con el método se pueden obtener mediante otros exámenes convencionales de labora

torio, y dependen de la calidad representativa de la superficie de la muestra, y de las condiciones del exámen de carga.

Es deseable tener pruebas no alteradas, ya que el contenido de humedad y su densidad varían notablemente, en condiciones de esfuerzo para pruebas alteradas también son diferentes que en el sitio. Las circunstancias más desfavorables para este método generalmente son: La imposibilidad de una buena imprecisión en la estimación de los estados de esfuerzo de cada material en sitio o en especímenes alterados. Por eso los esfuerzos residuales en sitio, generalmente no se reproducen en las muestras alteradas; la presión de confinamiento para los especímenes en laboratorio pueden ser aproximadamente a la que el material está sujeto en el sitio.

Los resultados de estudios de comparación tanto para exámenes de laboratorio como para los de sitio, mostraron rangos de variación en módulos hasta de  $\pm 50\%$ . Sin embargo este grado de aproximación fué considerado bueno, ya que las diferencias se atribuyen a la variación de la densidad del material y de su presión de confinamiento tanto en el laboratorio como en el sitio.

#### Método de pulso.

El método está comprendido dentro de las técnicas de propagación de ondas, pero se le realiza a especímenes por lo cual no deja de ser destructivo. En ésta técnica se gene

rá una secuencia de pulsos mediante aparatos (ondas de presión), entonces se aplican a un extremo del espécimen y la misma señal es recibida en el otro extremo; el tiempo de retardo entre el pulso de entrada y el de salida, se usa para calcular velocidad de onda. Este tiempo de transportación de impulso a través del material del espécimen debe ser pequeño para evitar interferencias y es el espaciamiento entre los pulsos manifestados en el monitor.

Dependiendo de la magnitud y el tipo de pulsos que se introducen al espécimen, las velocidades de onda tanto corriente como longitudinal deben de ser determinadas. Por esto se puede relacionar la velocidad de transporte de pulso y la fuerza de compresión pero los resultados indicaron que hay más relaciones afines entre la velocidad de pulso y la fuerza de compresión, como: La correlación entre el cambio de velocidad del pulso y el cambio de la fuerza. En el laboratorio el método de la velocidad de pulso ha tenido uso en medición de profundidades de grietas inducidas artificialmente.

#### Interpretación de datos.

El aspecto más difícil de la técnica de propagación de ondas como ya se indicó anteriormente es la interpretación y análisis de los resultados obtenidos de los exámenes, por lo tanto el método necesita de habilidades para interpretar di-

chos datos obtenidos en el campo, así como las características de la estructura por debajo de la superficie pavimento - a determinar.

De la teoría de la elasticidad para un aspecto homogéneo; el módulo cortante,  $G$ , y el módulo de compresión,  $E$ , pueden ser obtenidos de la velocidad de onda cortante, de la siguiente relación se tiene que:

donde:

$P$  = densidad de masa

$\gamma^l$  = peso específico del material

$g$  = aceleración de la gravedad

$C_s$  = velocidad de onda cortante.

Se observó que el módulo de elasticidad,  $E$ , calculado en la medición de velocidad de onda, podrá ser correlacionado con un material tipo de una capa de sistema de pavimento, si la profundidad efectiva de propagación fué tomada igual a 1.5 veces la longitud de onda, Fig. IV-6

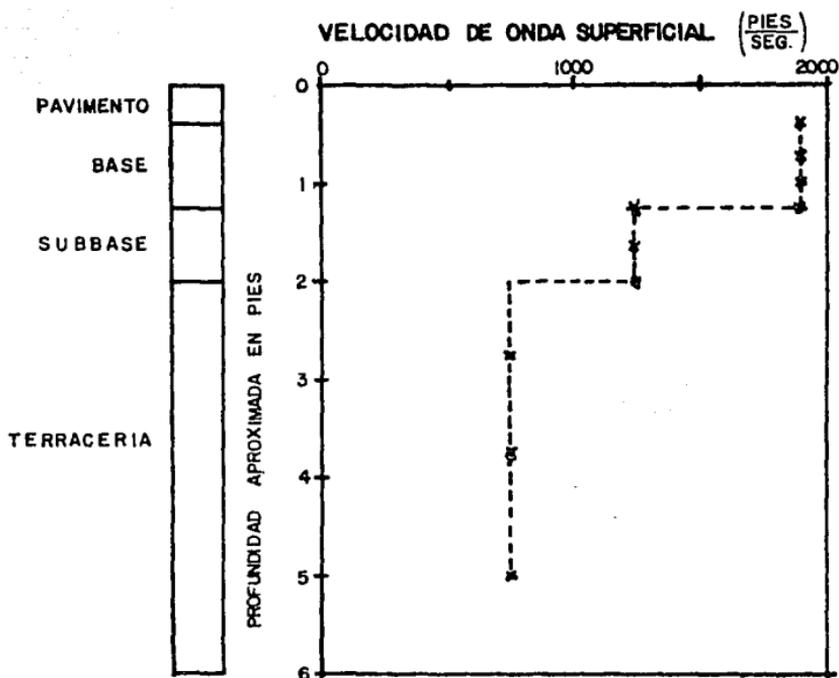


Fig. IV-6 Relación, velocidad-profundidad de AASHTO (Prueba de camino).

Otras correlaciones como la del módulo de compresión,  $E$ , y la relación (CBR) del estado de California.

El proporcionamiento de las cargas y magnitudes de esfuerzos son ambos la respuesta de las capas del pavimento al exámen de propagación de vibración de ondas en el rango elás

tico; esto es una correlación entre la velocidad de onda o módulo de elasticidad, E.

Según exámenes experimentales se demostró que la velocidad de onda medida a una profundidad de la estructura de pavimento, está en función de la rigidez de la capa superficial del material.

Entonces ahora cuando se construyen, el examen se realiza midiendo ésta velocidad de onda en cada capa sucesiva a una profundidad de 0.5 veces la longitud de onda efectiva y los resultados son mostrados en la fig. IV-7

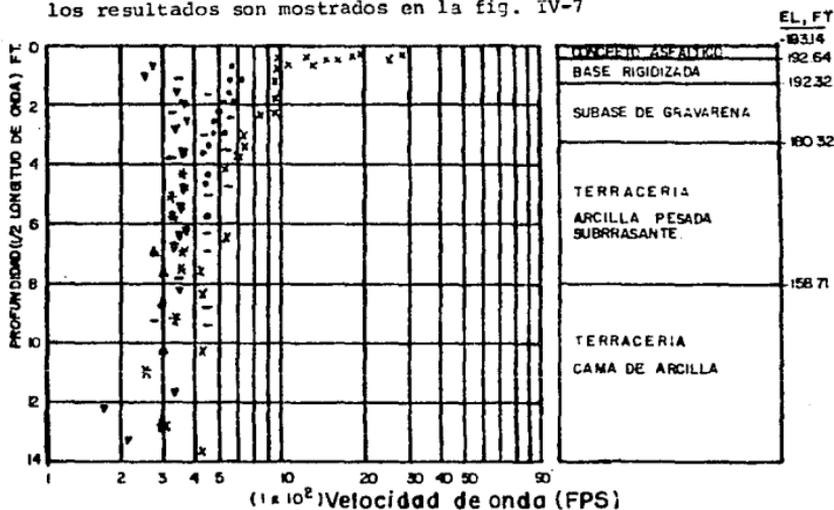


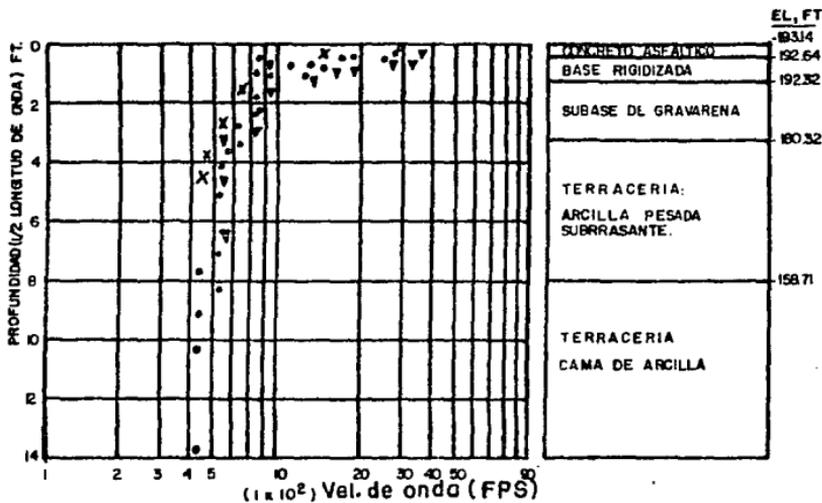
Fig. IV-7 Velocidad de onda de una sección en reconstrucción.

Localización de vibración

Elevación en (Ft)

X Pavimento .....	193.14
● Base.....	192.64
- Subbase.....	192.32
* Subrasante.....	180.32
▼ Terracería.....	158.71

La velocidad de onda en terracerías es diferente a las medidas en otras capas del pavimento, entonces se concluyó - que se esta en función del espesor de la capa. Esta serie - de exámenes también mostró variación por la acción de tráfico, fig. IV-8



tante de cada capa del pavimento, es por eso que la medición en sitio por divisiones y cortes de frecuencias, en la curva de dispersión obtenida por la técnica de fuerza vibratoria - en el pavimento, que es suficiente para determinar el módulo de elasticidad y el espesor de cada capa del pavimento.

#### Aplicaciones.

Los métodos de propagación de ondas, se han limitado a procedimientos de evaluación de pavimentos.

La dificultad es la antes ya expuesta para este tipo de técnicas. En cambio la técnica que maneja la curva de dispersión ha tenido aprovechamiento satisfactorio.

#### NUEVAS TECNICAS DE EVALUACION EN DESARROLLO.

#### Tecnología de la viga ligera.

Esta nueva técnica utiliza rayo laser y mide deflexiones superficiales. Se espera que se desarrolle a todavía - más ampliamente; y que pueda integrarse en un aparato único para después alojarlo a un lado inferior de un camión de carga o avioneta, para medir deflexiones causadas por el movimiento de ruedas cargadas.

El procedimiento con este aparato para realizar mediciones podría ser como sigue:

- 1.- La velocidad de operación para el aparato podría ser de 0 a 97 Km/hr.
- 2.- La deflexión puede ser medida en cualquier intervalo seleccionado, por ejemplo 50 pies (19 m).
- 3.- Situar al aparato en el punto de objetivo a medir, de preferencia inmediato al frente del vehículo.
- 4.- Establecer los lugares de exploración para el laser.
- 5.- Realizar ordenadamente de 5 a 10 mediciones en cada punto, pasando los neumáticos sobre ellos hasta dar a la superficie una deformación considerable, para medir su deflexión máxima.
- 6.- Las mediciones con la viga ligera son hechas desde una plataforma que se desplaza, entonces al perfil longitudinal es observado en la pantalla.
- 7.- Los datos son registrados, analizados y compilados en el tablero, para ser tratados estadísticamente como entradas para el manejo del sistema.

#### Teoría de la tecnología de foto.

Es otra de las técnicas nuevas desarrolladas en los E.U. y se basa fundamentalmente en la fotogrametría; En un vehículo que transporta 2 pares de cámaras, al estar en movimiento analiza técnicas que permiten precisiones de 0.001 pulgadas en deflexión.

En la fotografía se obtienen datos que serán analizados por deflectómetro vertical que tiene variaciones en grados - para puntos de deflexión con dirección y perímetro continuos longitudinales, esto se realiza mediante estereotrazadoras - computarizadas y automatizadas para una localización centrada.

### Energía Transferida.

La técnica se basa en conceptos que están en función de la relación de energía acumulativa como medida de deflexión acumulativa, impartida para dar al sistema de pavimento un movimiento brusco.

De un análisis de regresión se encontró una relación - que predice el nivel de serviciabilidad (PSI) que le queda - a la estructura en función de su perfil longitudinal deformado; que se obtiene midiendo la energía acumulativa repartida al pavimento.

Con la historia de la construcción (bitacora) y el registro del tráfico de la vía; se analizará un pavimento, viejo y deteriorado acumulativamente total en deflexión pico, - en el cual se desarrollaron agrietamientos.

En campo el examen, provee penetraciones dentro de los efectos del espesor de las capas superficiales, debido a la energía impartida al pavimento; se condujo al desarrollo de

procedimiento, para proveer la espesura de una capa superficial, para que el pavimento funcione satisfactoriamente a un volumen anticipado de tráfico.

De este modo entonces se concluye que para un tiempo futuro se tenderán a ejecutar estructuras de pavimentos tanto de aeropistas y carreteras que podrán ser predeterminados - sus espesores, conociendo la deflexión total acumulativa.

#### Teoría de la respuesta dinámica a la deflexión.

La respuesta del pavimento a la deflexión dinámica se usa con la teoría que predice las constantes elásticas de las capas del pavimento. Estas constantes predichas serán usadas con el análisis de capas, limitando la tensión con criterios para predecir cargas permisibles y la operación sobre el pavimento. El análisis teórico incorpora una relación no lineal Carga-Deflexión para la respuesta modelo, con la respuesta del pavimento a las cargas de vibración que producen las constantes elásticas para las capas del pavimento. En ésta forma presenta lo necesario para asignar constantes elásticas a las capas de pavimento, basadas en las propiedades convencionales del suelo. Los procedimientos de prueba se esperan para que contengan técnicas no destructivas para medir todas estas constantes.

## Resumen de capítulo.

Todas las técnicas expuestas para la evaluación no destructiva de pavimentos de carreteras, están siendo cada vez más avanzadas y mejoradas. Estas pueden darnos medidas de deflexión estáticas usando escalas amplias en cargas, o las deflexiones dinámicas usando el estado uniforme de deflexiones: la carga de impacto y el análisis de propagación de ondas se recomiendan para obtener mediciones y determinar las propiedades individuales de cada capa.

Todas estas técnicas ya mencionadas tienen ciertos méritos, aunque algunas tienen más que otras y pueden ser por tal motivo más aceptadas. Desde las propiedades de las capas del pavimento que son influenciadas por factores ambientales variables como: Temperatura y humedad, que afectan significativamente a las mediciones de pruebas no destructivas.

Primeramente debido a su simplicidad y facilidad de examen los aparatos para obtener mediciones de deflexión estática, tienen amplias bases de aplicación, a través del uso de criterios limitantes de deflexión; las deflexiones estáticas son comúnmente usadas para proporcionar capacidades de cargas y predecir requerimiento de capas superficiales.

El método de estado de deflexiones uniformes correlaciona medidas estáticas provocadas por neumáticos frecuentemente ya usados como un medio de mediciones de obtención rápida

de datos, para usarlos en procedimientos estáticos, en adición ellos emplean la correlación directamente con cargas permisibles determinadas por procedimientos de diseño de espesores determinados.

Mucho es todavía lo que falta por aprender acerca de la relación entre la fuerza estática generadora "peso", con la fuerza dinámica y la frecuencia producida por la carga, esto es particularmente verdadero para frecuencias cortas; donde empieza la dificultad es al producir variaciones senoidales largas de fuerza y con movimientos de sensores inerciales que tienen muy poca salida.

El estado uniforme de deflexiones representa medidas de deformación recuperable en estructuras enteras de pavimentos y no dan ninguna información acerca de la respuesta plástica de una estructura de pavimento (no recuperable), ni tampoco ellos proveen de mediciones directas en capas individuales de pavimentos.

Aunque las técnicas de exámenes de impacto no tienen todavía bases amplias de aceptación, éste método de examen ofrece una técnica extremadamente rápida para determinar la respuesta a la carga dinámica que es característica en las estructuras de pavimento.

Exámenes de impacto como el estático y el estado unifor

me de deflexiones, caracterizan a la estructura entera del pavimento y no provoca directamente evaluación individual para capas de pavimento.

Se le han dedicado grandes esfuerzos al desarrollo de la técnica de propagación de ondas para lograr obtener también módulos elásticos para cada capa individual del pavimento; la técnica ha encontrado solamente sucesos limitados, algunos procedimientos recientes están encontrando aplicación en la evaluación de pavimentos por medio de los datos deducidos de la técnica de propagación de onda, como lo son: el módulo elástico para la superficie y las capas de la terracería, estimando las propiedades de las capas intermedias también. La dificultad mayor continúa siendo para estas técnicas la interpretación de las medidas de la velocidad de onda y generalmente aplicable al esquema de interpretación que tiene todavía que ser ideado para estructuras de capas múltiples.

El avance en esta área continúa y se encuentra en desarrollo de investigaciones sobre nuevas técnicas a base de aparatos que manejan rayo laser, que emiten luz por medio de diodos y técnicas fotográficas que ofrecen gran rapidez para medir deflexión, usando escalas amplias de carga en movimiento. La deflexión resultante podría en el curso sufrir limitaciones, como las que se hacen a las mediciones de la deflexión estática.

La gran variedad de aparatos de exámen y técnicas usadas en pruebas no destructivas a pavimentos, y la gran cantidad de literatura reportada sobre ello, indican ambos el tremendo interés para evaluar las estructuras de pavimentos, pero aun permanece mucho por aprender acerca de varios aspectos, tanto en aparatos como en sus guías de manejo, y en la interpretación de datos y aplicación de resultados para el uso de información aplicada al pavimento.

CAPITULO V METODOS DESTRUCTIVOS PARA EVALUAR LA ESTRUCTURA  
DE LOS CAMINOS CON PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Es en ocasiones necesario aplicar pruebas destructivas a pavimentos y terracerías, con el objeto de averiguar su situación de servicio y el daño que provocó la falla generalizada avanzada.

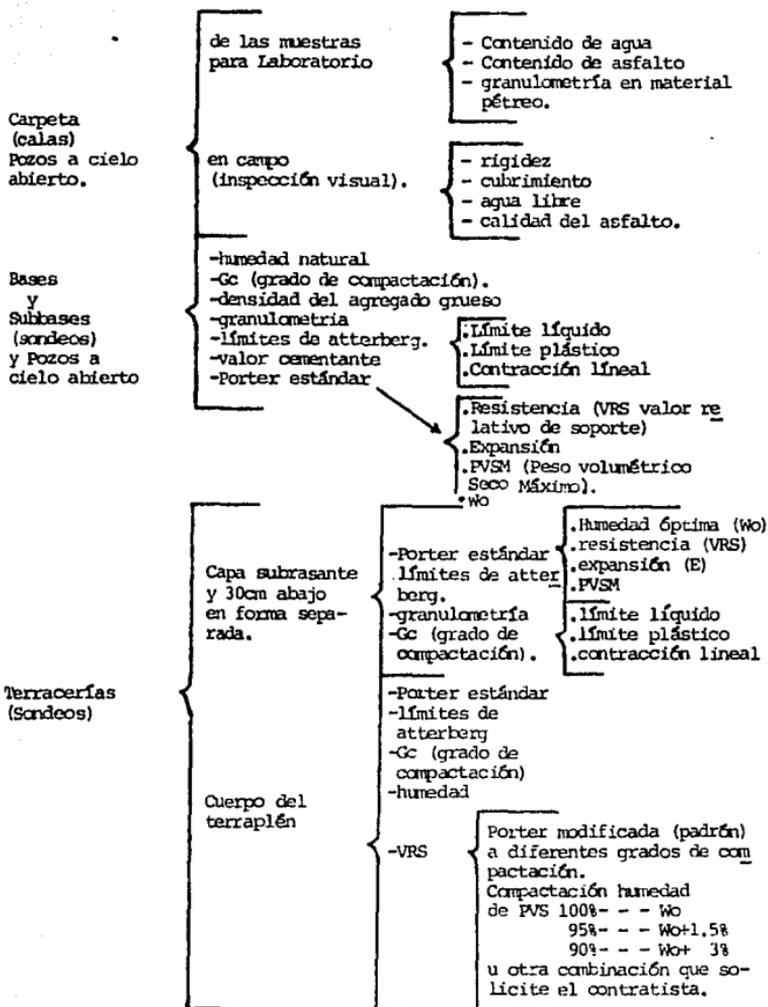
Las pruebas destructivas están representadas por sondeos, calas o extracción de corazones, que obtienen muestras inalteradas de las diferentes capas de la estructura del pavimento dependiendo del tipo de información que se requiera para una falla determinada, es obvio que éste tipo de pruebas como su nombre lo indica nos destruirá parcialmente la estructura del pavimento. Cuando se realiza alguna de estas operaciones es necesario que las capas destruidas sean reparadas con material de calidad adecuado, dándoles una buena compactación.

Llevar a cabo cualquiera de las operaciones anteriores sirve para medir los aspectos de la estructura actual, los grados de compactación de cada una de las capas, y con la ayuda de las pruebas de laboratorio poder determinar el estado de interés fundamental de los materiales de las capas de pavimento y terracerías, que de una manera esquematizada serán descritos posteriormente para cada capa.

En caso de que el pavimento muestre marcas de roderas -

provocadas por las llantas de los vehículos en forma de acanaladuras, pero sin que se tengan fuertes deformaciones, lo más probable es que la falla sea de las capas de carpeta, base y/o subbase. En este caso, dependiendo de la profundidad de las rodaduras se deben de efectuar sondeos cada/500 ó 700 metros, pero no menos de tres en el subtramo.

En el caso en que se tienen deformaciones fuertes en situación irregular, la falla es de tipo estructural. Entonces los sondeos deben de obtenerse desde las terracerías, dichos sondeos tendrán una separación entre 250 a 500m., pero también no menor de tres en subtramo. En los casos anteriores se realizarán las pruebas por capa que se esquematizarán a continuación en forma resumida.



Nota: Con los datos obtenidos de estas pruebas, para cada capa según el caso de estudio, se determinará la aceptabilidad o no de estos materiales, para el nivel en que se encuentren en obra. En caso contrario, se harán las pruebas requeridas, para ver la posibilidad de mejorar sus características de comportamiento.

PRUEBAS PARA LOS MATERIALES QUE FORMAN LA ESTRUCTURA DE UNA VIA TERRESTRE.

Para conocer las características de los materiales, se realizan pruebas que son mediciones de diferentes clases, - que se hacen a especímenes elaborados siguiendo procedimientos estandarizados.

A los materiales extraídos por métodos destructivos se les realizan pruebas de clasificación y control para obtener información del estado en que se encuentran en su respectiva capa, por tal motivo se definirán dichos tipos de pruebas.

Las pruebas de clasificación son aquellas que nos permiten identificar a los materiales y decidir si se pueden utilizar o no en algunas de las capas estructurales.

Las pruebas de control son las que permiten verificar - si la obra cumple con los requisitos de proyecto. Las pruebas de control son las mismas que las que se utilizan en clasificación, además de otras como las de compactación, contenido de asfalto, permeabilidad, etc.

Existen también las pruebas de proyecto que ya se mencionaron el capítulo I que sirven para el cálculo de los espesores de las diferentes capas que forman a una estructura transversalmente de camino con pavimento flexible.

En México, estas pruebas se indican con todo detalle en las normas de algunas Secretarías, como son: La Secretaría - de Comunicaciones y Transportes, las de la antigua Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas o las de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

Sólo se harán descripciones generales de las pruebas - más importantes y se explicarán sus procedimientos fundamentales.

#### PRUEBAS DE CLASIFICACION PARA MATERIALES PETREOS Y SUELOS.

Las principales pruebas de clasificación que se realizan a los materiales pétreos y suelos que se utilizan en una vía terrestre son: granulometría, plasticidad, resistencia, expansión, valor cementante, densidad, adherencia con el asfalto, dureza y forma de la partícula.

#### GRANULOMETRIA

La prueba de granulometría de un material sirve para determinar el porcentaje en peso, de las partículas de diferentes tamaños que lo forman. Para realizar esta prueba, se hace uso de tamices o mallas por las que se hace pasar el material, se pesan las partículas que se retienen en cada una de ellas y se encuentra el porcentaje respectivo con relación al peso seco total; después se calcula el porcentaje que pasa por las diferentes mallas.

La denominación de las mallas se hace de dos maneras; - la primera de ellas indica la separación interior que hay - entre los alambres y se usa para las mallas de 7.5cm (3 plg) a 6.4cm (1/4 plg); la segunda forma de denominar las mallas es asignándoles un número, que indica la cantidad de alambres o hilos que se tienen en una pulgada y se usa para las mallas de la Núm. 4 a la Núm. 200 que son las más utilizadas en suelos.

Generalmente el resultado de esta prueba se presenta en gráfica como se presenta en la (fig. V-1); cuando la curva no tiene cambios bruscos de pendiente, se dice que la granulometría es continua como la 1-1; cuando sí se tiene cambios bruscos, se dice que la granulometría es discontinua como la 2-2, en cuyo caso hay escasez de partículas de los tamaños - en donde la pendiente de la curva es menor; cuando la curva granulométrica se localiza dentro de un tramo estrecho de - tamaños, como la 3-3, se dice que se tiene un material de - granulometría uniforme; en ciertas ocasiones, se requieren - granulometrías continuas, en otras se requieren granulometrías uniformes tal es el caso de las carpetas asfálticas - por riegos; por otro lado, las especificaciones respecto a - esta característica de los materiales son más o menos rígidas, de acuerdo a la capa que se trate de construir.

## GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA

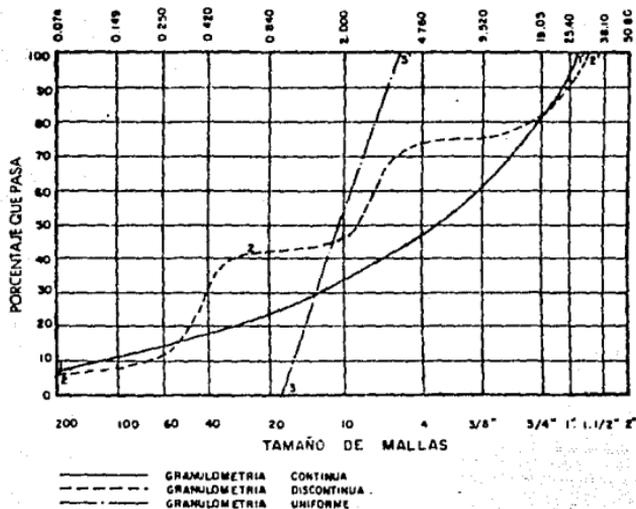


Fig. V-1 Curvas granulométricas: 1-1' continua; 2-2' discontinua y 3-3' uniforme.

PLASTICIDAD

La plasticidad de un material se puede definir como la facilidad que presenta a remoldearse sin cambio de volumen y teniendo un mínimo de resistencia al corte. Por tanto, en la plasticidad de un material pueden intervenir sus características de humedad, peso volumétrico, sensibilidad de sus partículas, principalmente las finas, con respecto al agua y al porcentaje de éstas dentro del total.

Para conocer la sensibilidad de los finos a cambiar sus características de consistencia en presencia de agua, se realizan pruebas de plasticidad, entre las que se encuentran los límites de Atterberg y la de contracción lineal; estas pruebas se realizan sobre la porción de los materiales que pasan la malla Núm. 40.

#### Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg corresponden a la humedad, o sea al porcentaje de agua con respecto al peso de los sólidos, en que los finos de los materiales pasan de una consistencia a otra; así, el límite líquido (Wl) es la humedad necesaria para que el material pase del estado semilíquido al plástico, en esta condición el material tiene una resistencia mínima al esfuerzo cortante de  $25 \text{ gr/cm}^2$ .

El límite plástico (Wp) es la humedad correspondiente al límite entre el estado plástico y el semisólido; a la diferencia entre el límite líquido y plástico se le denomina índice plástico ( $I_p = W_l - W_p$ ).

Para situar el material en el límite líquido, se utiliza la copa de Casagrande en la cual, la porción del material que pasa la malla Núm. 40 con ese contenido de humedad debe cerrar íntimamente, a lo largo de 1cm, una abertura realizada con una pequeña herramienta especial denominada ranurador, al proporcionar 25 golpes sobre la base del apar--

to.

Para que el material llegue al límite plástico, se elaboran rollitos de material, inicialmente en el límite líquido, que se rolan por medio de un vidrio pequeño, levantado - 3 mm por medio de alambre, sobre otro vidrio base de mayores dimensiones; se dice que el material está en el límite - plástico cuando los rollitos empiezan a agrietarse, este punto queda a juicio del laboratorista, por lo cual tiene una - amplia variabilidad que influye en la obtención del índice - plástico.

#### Prueba de contracción lineal.

La prueba de contracción lineal, es también una medida de la Plasticidad de la porción de los materiales que pasan la malla Núm. 40. En este caso, no se obtiene una humedad - sino una relación de longitudes. El material con humedad - correspondiente al límite líquido, se coloca en un molde de - dimensiones de 2X2X10 cm y se introduce en un horno hasta - peso constante, período durante el cual sufre una disminu- - ción de longitud, de acuerdo a sus características. El porcentaje de acortamiento sufrido con respecto a la longitud - inicial, es la contracción lineal que se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ Contracción lineal} = \frac{\text{Long. Inicial} - \text{Long. Final}}{\text{Longitud Inicial}} \times 100$$

Esta prueba tiene ventajas si es comparada con la de los límites de Atterberg como son:

- I.- Se necesita un sólo parámetro.
- II.- La variabilidad es menor que la del límite plástico y, por lo tanto, que la del índice plástico.
- III.- Constituye una medida más exacta de la plasticidad y puede pensarse que es un vernier para los límites de consistencia.

Al utilizarse la contracción lineal en materiales de buena calidad, se pueden rechazar o aceptar con mayor precisión.

Se ha encontrado una correlación del índice plástico y la contracción lineal en la cual, aquélla es del doble al triple que ésta; dicha ambigüedad hace que al utilizar sólo los límites de Atterberg en materiales de baja plasticidad, se pueden aceptar materiales de mala calidad o rechazar los utilizables.

#### RESISTENCIA (VRS) Y EXPANSION.

Para medir los parámetros de resistencia y expansión, se puede utilizar variadas pruebas como las triaxiales y las realizadas en consolidómetros; sin embargo, una prueba muy usada para estos fines es la prueba de Porter del Estado de California de EUA, elaborada en 1925. Esta prueba es conoci

da como de Porter estándar, para diferenciarla de otras pruebas que se han derivado de ella y se denominan como Porter - modificada. Con la prueba de Porter estándar se obtienen - cuatro parámetros o características de los materiales que - son: Peso Volumétrico Seco Máximo (PVSM), humedad óptima - (Wo), Expansión (E) y Valor Relativo de Soporte (VRS). Es - conveniente que al manejar estos datos se aclare que se obtu - vieron precisamente de la prueba Porter estándar.

#### Prueba de Porter estándar

- Peso Volumétrico Seco Máximo y humedad óptima.

Para realizar esta prueba, en un molde de 15 cm de diámetro se colocan 4 Kg de material húmedo y se les da una presión estática (o sea, con una placa que cubre toda la sección del molde) de  $140.6 \text{ Kg/cm}^2$ ; si al terminar de dar la presión la base metálica se humedece ligeramente, se dice que el peso volumétrico seco obtenido es el máximo (PVSM), - y la humedad correspondiente es la óptima (Wo) de esta prueba; para su cálculo se hacen las mediciones necesarias. Si no se humedece la base, se repetirá la prueba con mayor humedad; pero si la expulsión es grande, la cantidad de agua que se use será menor.

-Expansión.

El espécimen, en la condición de PVSM y Wo confinado en

el molde, se introduce en un tanque de saturación y se le coloca un extensómetro en el se hace una lectura inicial (Li); por efecto del agua, mientras más plástico es el material, - éste aumenta de volumen es decir, se expande; se conserva - así hasta que la expansión sea imperceptible, con un mínimo de 72 Hrs. Cuando las lecturas del extensómetro de un día - para otro sean casi iguales, se hace en el la lectura final (Lf), y se calcula el porcentaje de expansión de la siguien-té manera:

$$\% \text{ Expansión (E)} = \frac{\text{Li-Lf}}{\text{Espesor del espécimen sin saturar}} \times 100$$

#### VALOR RELATIVO DE SOPORTE (VRS).

Se saca el espécimen del tanque de saturación y se procede a realizar la prueba de valor relativo de soporte. El valor relativo de soporte (VRS) se define como la relación - de las resistencias en porcentaje, del material en estudio - y de un material estándar, a ser penetrados por un cilindro meta-lica de 19.35 cm<sup>2</sup> de sección. Este término es el corres-pondiente al California Bearing Ratio (CBR) de la prueba Por-ter del Estado de California, EUA. El material estándar es una caliza triturada, para la cual ya se tienen las resisten-cias constantes para cualquier penetración de las que se in-dicarán más adelante.

Para obtener este valor, se coloca el espécimen en una prensa, haciendo lecturas de las cargas en Kg, correspondientes a las penetraciones de: 1.27, 2.54, 3.81, 5.08, 7.62, - 10.16 y 12.70 mm. Con estos datos se dibuja una gráfica, en la que en las abscisas se coloca la penetración y en las ordenadas las cargas correspondientes fig. V-2; si la curva no tiene cambios bruscos, el valor relativo de soporte se calcula con la carga (A) correspondiente a la penetración de 2.54 mm o sea:

$$VRS = \frac{A}{1360} \times 100$$

donde: 1360 es la resistencia en kilogramos correspondiente al material estándar, a la misma penetración de - - 2.54 mm.

En ocasiones, por errores al realizar la prueba se obtiene curvas que no son continuas, en cuyo caso se deben realizar algunas correcciones; cuando la curva es del tipo que se muestra en la fig. V-3, se hace una corrección pasando - una tangente por la zona de cambio de curvatura, colocando - el nuevo origen en donde esta la línea y corta a las abscisas; se encuentra la nueva posición de la penetración de - - 2.54 mm y la carga correspondiente (A') que se usa para el cálculo del VRS, así:

$$VRS_2 = \frac{A'}{1360} \times 100$$

A menudo, con los materiales granulares redondeados, se obtienen curvas como las mostradas en la fig. V-4, en este caso, si el VRS se calcula en forma directa con el valor de 2.54 mm, se corre el riesgo de obtener una resistencia mayor a la que presentará el material en la realidad. Para evitar lo anterior, se puede encontrar el VRS corregido, calculando los correspondientes a cada penetración y luego obtener el promedio así:

$$VRS_3 = \frac{VRS_{1.27} + VRS_{2.54} + VRS_{3.81} + \dots + VRS_{12.7}}{7}$$

Otra manera de obtener el VRS en este caso, es por medio de un procedimiento gráfico fig. V-4, en donde se traza una línea, como la discontinua, de tal forma que el área 1 sea aproximadamente el área 2 y con la carga A", correspondiente a la línea punteada se obtiene el VRS así:

$$VRS_3 = \frac{A''}{1360} \times 100$$

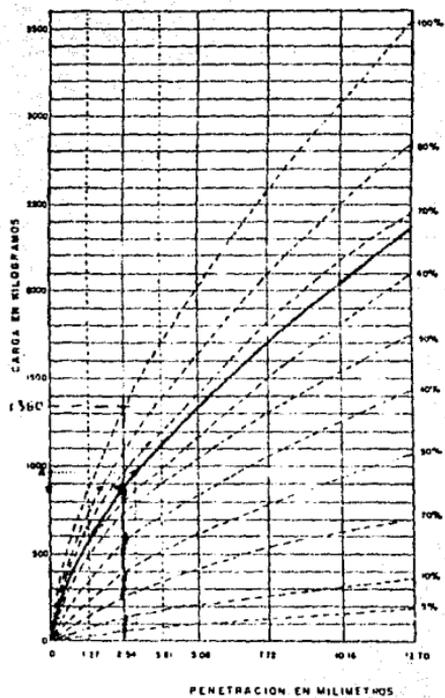


Fig.V-2 Gráfica penetración-carga sin cambios bruscos

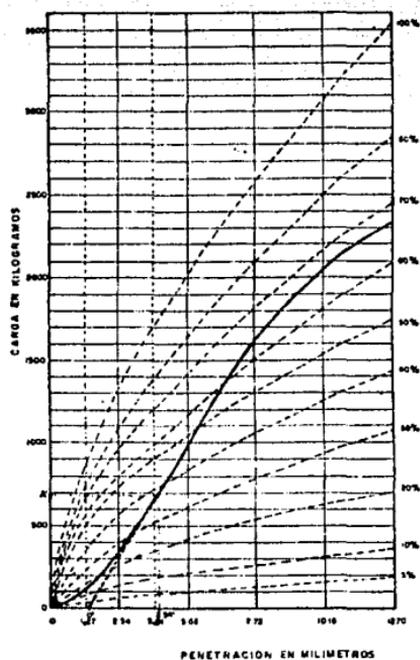


Fig.V-3 Gráfica penetración-carga que requiere la corrección que se muestra para el cálculo de VRS debido a un error al inicio de la prueba.

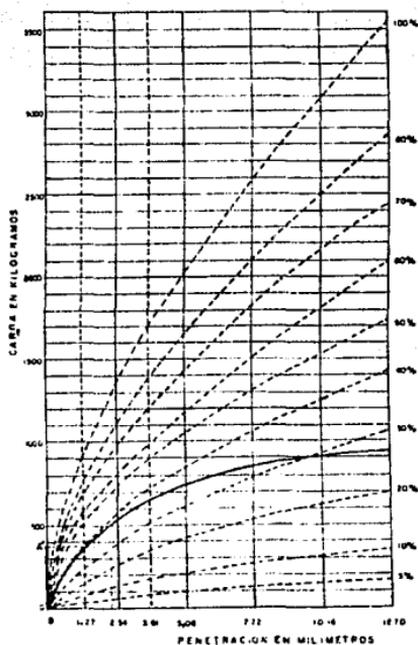
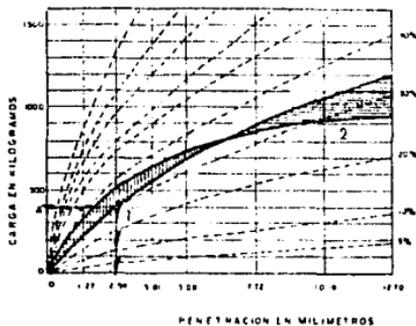


Fig.V-4 Gráfica penetración-carga que se obtiene de materiales con superficies lisas como los de playones de arroyo y ríos. La corrección para el cálculo de VRS puede hacerse en forma analítica o gráfica



Corrección gráfica a la curva penetración-carga de materiales que fallan al ser penetrados y presentan una curva discontinua

### PRUEBA DE VALOR CEMENTANTE

Es muy común en el país, que las carpetas asfálticas - que se colocan en caminos rurales y en las ciudades tengan - espesores menores a 10 cm (muy a menudo este espesor puede - ser tan delgado como 2 ó 3 cm, en carpetas de un riego), que no es suficiente para dar un confinamiento adecuado a mate- riales inertes de base y subbase, para que puedan resistir - sin deformaciones los esfuerzos, principalmente los tangen- ciales, producidos por el tránsito. Por tanto, es necesario que estos materiales tengan un cierto aglutinamiento, y así - pueden proporcionar una sustentación adecuada a estas carpe- tas delgadas. Cuando el tránsito es mayor a 3,000 vehículos diarios, o que la superficie de rodamiento sea de concreto - asfáltico, se deberá de rigidizar la base por medio de cal o cemento Portland.

Cuando el tránsito es menor a 3,000 vehículos diarios y la carpeta se construye con rebajados asfálticos o emulsión, este aglutinamiento puede producirse incorporando al mate- rial inerte algún otro material natural de baja plasticidad, como pueden ser limos, materiales calichosos, silicosos o - arenas arcillosas cuyos límites plásticos sean menores al - 18%, o sea, contracciones lineales menores a 6.5%, en canti- dades tales que a la vez que se tengan suficiente aglutina- miento, también cumplan con los requisitos de resistencia y

plasticidad, para materiales de base o subbase.

Para conocer si un material tiene suficiente aglutinamiento, se realiza la prueba de valor cementante que se ejecuta con la porción de material que pasa la malla Núm. 4, de la siguiente manera:

En un molde cúbico de lámina de 7.5 cm de lado, se colocan tres capas de material con tal cantidad de agua, que al apretarse una porción cerrando el puño de la mano, ésta se humedezca ligeramente. A cada capa, por medio de una placa con vástago, se le dan 15 golpes con una varilla de 900 grs de peso, y desde una altura de 50 cm aproximadamente, por medio de una guía; los especímenes con todo y molde se introducen en un horno en donde se secan hasta peso constante; se sacan del horno y cuando adquieren la temperatura ambiente, se descimbran y se llevan a la ruptura por medio de compresión sin confinar.

El Valor Cementante se calcula dividiendo la carga de ruptura entre el área de la placa de contacto con la muestra y se reporta la resistencia promedio en  $\text{Kg/cm}^2$ , cuando menos de tres especímenes.

#### PRUEBAS DE ADHERENCIA DE MATERIALES PETREOS CON EL ASFALTO.

Los materiales que van a estar en contacto con el asfalto como los que se utilizan en carpetas asfálticas, bases ne-

gras o bases naturales, deben tener buena adherencia con el asfalto.

Esta característica se ve muy afectada, en forma negati  
va, cuando se tiene agua, de tal manera que aquellos material  
es que son afines al agua (hidrófilos), en general tienen -  
mala adherencia con el asfalto; es por ello que las pruebas  
que se realizan con este fin, se hacen en presencia de ese -  
elemento y las más usuales en el país son:

- a.- Pruebas de desprendimiento por fricción.
- b.- Prueba de pérdida de estabilidad por inmersión en agua.
- c.- Prueba inglesa.

a.- PRUEBA DE DESPRENDIMIENTO POR FRICCIÓN

En la prueba de desprendimiento por fricción se colocan  
50 gr de mezcla asfáltica en un frasco y se deja reposando -  
por 24 Hrs, al término de las cuales se sujeta a 3 períodos\_  
de agitado de 5 min. cada uno, al finalizar el agitado se sa  
ca la mezcla del frasco y se observa el porcentaje de des- -  
prendimiento de asfalto que sufrió el material pétreo. El -  
agitado puede ser manual o mecánico; en el primero el tiempo  
total de agitación es de 15 min, en el segundo caso es de -  
tres horas (3 períodos de una hora). Si el porcentaje de -  
desprendimiento es de 25% o menos, se considera que el mate-  
rial tiene adherencia aceptable.

b.- PRUEBA DE PERDIDA DE ESTABILIDAD POR INMERSION EN AGUA.

Esta prueba se realiza colocando una porción de mezcla asfáltica en un molde metálico de 10 cm de diámetro y se le da una compactación de tipo estático bajo una presión de 40 Kg/cm<sup>2</sup>; se elabora con la misma muestra asfáltica otro espécimen de la manera ya indicada; la altura de los especímenes será de 12 cm ± 0.5 cm. Uno de los especímenes se deja reposando en la mesa de laboratorio y el otro se sumerge en agua por tres días, al cabo de ese tiempo, ambos se llevan a la ruptura por medio de compresión sin confinar; la pérdida de estabilidad se calcula de la siguiente forma:

$$\%Pe = \frac{R_{ss} - R_{sat}}{R_{ss}} \times 100$$

%Pe = pérdida de estabilidad por inmersión en agua en porcentaje.

R<sub>ss</sub> = resistencia del espécimen sin saturar en Kg/cm<sup>2</sup>

R<sub>sat</sub> = resistencia del espécimen saturado en Kg/cm<sup>2</sup>.

Se considera que un material tiene adherencia aceptable si el valor calculado en la expresión anterior es menor a 25%.

c.- PRUEBA INGLESIA

Para realizar esta prueba en el fondo de una charola se espansa producto asfáltico, de tal manera que se tenga una

película de 1.5 mm, la cual se cubre con un tirante de agua de 2.5 cm a la temperatura de aplicación del asfalto, y la charola se coloca sobre un recipiente mayor que contenga agua a la misma temperatura. Se toman 6 partículas de material con dimensiones entre 1/2 plg y 3/4 de plg, se sumergen en la charola y se mantienen presionadas en el asfalto durante 10 min al cabo de los cuales se sacan y se observa en cada una de ellas el porcentaje de cubrimiento que tienen; se reporta el promedio de cubrimiento de las 6 partículas, si este valor es mayor al 90%, se dice que la adherencia es aceptable.

En caso de que por el resultado de las pruebas se considera que el material pétreo no tiene buena adherencia, se puede hacer uso de aditivos, escogiendo el de mayor efectividad y menor costo y se repetirán las pruebas. De estos aditivos hay gran variedad, y en la actualidad es difícil desechar algún material por mala adherencia.

#### DUREZA

Para conocer la dureza de los materiales pétreos y suelos que se utilizan en la construcción de las vías terrestres, se pueden utilizar diferentes pruebas como son: de desgaste por medio de la máquina de "Los Angeles" o de la "Deval" o la de durabilidad; también se pueden utilizar las pruebas de intemperismo acelerado, de densidad y de forma de

partícula.

#### Desgaste

Las pruebas de desgaste consisten en colocar al material con una granulometría determinada, dentro de un cilindro de acero hueco junto con bolas de acero. Se hace girar el cilindro un número determinado de veces y al final se ve la cantidad de partículas finas que se produjeron, con las cuales se calcula la cantidad en porcentaje de desgaste. Cuando los materiales son de poca densidad (pómez, tezontle, jal) esta prueba no es muy indicativa, pues la acción de las bolas de acero no es la misma que con materiales densos, para estos casos es recomendable utilizar una prueba del tipo de la durabilidad, pero con mayor rigidez, pues ésta, es más bien del tipo de agitado.

#### FORMA DE LA PARTICULA.

Las pruebas de la forma de la partícula se llevan a cabo a fin de conocer el porcentaje de partículas en forma de aguja (asciculares), o de laja que se tienen en el material, pues éstas al recibir las cargas tienden a romperse con facilidad y hacen que los materiales tengan menor resistencia.

#### DENSIDAD

Es muy importante hacer notar que los materiales que -

tienen densidades relativas menores a 1.8 ó peso volumétrico suelto (PVS) no menor a  $1500 \text{ Kg/m}^3$  en general presentan problemas al ser usados en alguna capa de la sección transversal de las vías terrestres, pues son deleznable de baja resistencia y presentan rebote, lo cual se traduce en deformaciones o agrietamientos de la superficie de rodamiento, no siempre fáciles de corregir.

En seguida, se hará una descripción rápida de las pruebas que se les realizan a los materiales asfálticos.

Las pruebas más usuales que se les realizan a los productos asfálticos son: destilación, penetración, viscosidad, punto de encendido, asentamiento en cinco días, demulsibilidad con cemento Portland, carga de la partícula y acidez.

#### PRUEBAS DE CLASIFICACION PARA LOS PRODUCTOS ASFALTICOS.

##### PRUEBA DE DESTILACION.

Esta prueba se realiza en rebajados asfálticos y emulsiones, se coloca el material en un recipiente que se conecta a un refrigerante. El recipiente con el producto asfáltico se calienta, empezandose a evaporar los productos más volátiles, los cuales al pasar por el refrigerante se condensan y se reciben en una probeta, en el extremo de aquél. En la parte superior del recipiente se coloca un termómetro en el que se ve la temperatura a la cual cae la primera gota en

la probeta, y posteriormente los volúmenes obtenidos a diferentes temperaturas marcadas en los procedimientos de la prueba; con este último dato y la temperatura de la primera gota, se pueden conocer el tipo de rebajado que se trata, para el caso de emulsiones, el procedimiento es semejante, sólo que en este caso el elemento que se evapora es el agua. Al terminarse la prueba, antes que se enfríe el residuo que quedó en el recipiente, se vacía en una cápsula de aluminio, ya que se utilizará para la prueba de penetración.

#### PRUEBA DE PENETRACION.

La prueba de penetraciones realiza en cementos asfálticos y en los residuos de la destilación de rebajados y emulsiones asfálticas. Esta prueba se realiza por medio del penetrómetro que consta de un vástago lastrado que pesa 200 grs. y en el extremo inferior tiene una aguja. El material asfáltico contenido en una cápsula a temperatura de 25°C se pone en contacto con la aguja, se deja al vástago libre durante 5 seg. al cabo de los cuales se ven en la carátula los décimos de milímetro que penetra la aguja, los cuales indican los grados de penetración.

#### PRUEBA DE VISCOSIDAD.

Con la prueba de viscosidad, se trata de conocer la dificultad de un producto asfáltico, a pasar por un orificio -

de características especificadas.

Para realizar esta prueba se hace uso del aparato llamado viscosímetro, con el cual se ve el tiempo que tarda el producto asfáltico en llenar un matraz aforado de  $60 \text{ cm}^3$ , después de pasar a la temperatura de prueba por el orificio "Furol". Este tiempo en segundos se denomina grados de viscosidad y la prueba se realiza a emulsiones, rebajados y cementos asfálticos.

#### PUNTO DE ENCENDIDO.

Esta prueba se efectúa a cementos y rebajados asfálticos; es muy importante, pues a partir del resultado se puede deducir el tipo de solventes que contiene el producto en estudio. Se pueden utilizar para esta prueba, según el tipo de productos asfálticos, la copa de Tag o la copa de Cleveland y se calienta en ellas el producto hasta que se inflama al pasarles por la superficie descubierta un pequeño mechero encendido. Se reportan la temperatura de la primera flama y la de inflamación.

#### PRUEBA DE ASENTAMIENTO EN 5 DIAS.

Para esta prueba se colocan 500 gr de emulsión en una probeta que se tapaná herméticamente y se dejan reposar por 5 días, al final de los cuales se extraen con cuidado con una pipeta los 50 gr, de la parte superior y por evaporación

se calcula el porcentaje de cemento asfáltico; en seguida se extraen y se desechan los 400 gr que siguen y, por último se obtiene también por evaporación el contenido de cemento asfáltico de los 50 gr últimos; el asentamiento en 5 días es la diferencia de los contenidos de asfalto que se obtuvieron de la parte inferior y la superior.

Con esta prueba y otras como la de demulsibilidad y la de demiscibilidad se puede conocer si las emulsiones son suficientemente estables.

#### PRUEBA DE MISCIBILIDAD CON CEMENTO PORTLAND.

Se agregan 100 gr de emulsión asfáltica a temperatura de 25°C a 50 gr, de cemento Portland a la misma temperatura y se mezclan con una varilla durante un minuto para tener una mezcla uniforme, agregando en seguida 150 gr de agua destilada, se continúa mezclando durante 3 minutos; en seguida se enjuaga la mezcla con agua limpia. El porcentaje de asfalto agumado con respecto al peso inicial de la emulsión es el resultado de esta prueba.

#### PRUEBA DE DEMULSIBILIDAD.

En esta prueba se obtiene el porcentaje de asfalto agumado al utilizar cloruro de calcio, dos centésimos normal como coagulante.

PRUEBAS DE ACIDEZ Y CARGA DE LA PARTICULA.

Con estas pruebas, se decide si las emulsiones son ani<sup>o</sup>nicas o cati<sup>o</sup>nicas. La primera de estas pruebas se efect<sup>o</sup>a utilizando papel tornasol y la segunda haciendo pasar una corriente el<sup>o</sup>ctrica por la emulsi<sup>o</sup>n por medio de un potenci<sup>o</sup>metro.

## CAPITULO VI RECOMENDACIONES PARA LA RECONSTRUCCION DE CAMI-- NOS CON PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Debido a las razones expuestas anteriormente en la in--  
troducción de éste trabajo referidos principalmente a la vul--  
nerabilidad a que esta sometido el sistema carretero en nues--  
tro país, la única forma de encarar el problema es programan--  
do detalladamente la conservación, la rehabilitación y la -  
reconstrucción o modernización de los caminos desde los pun--  
tos de vista inflacionarios (económicos-administrativos) e -  
ingenieriles (técnicos) por el incremento de carga por eje y  
el constante aumento de tráfico en la actualidad por las ca--  
rreteras del país.

Esto se puede solucionar mediante una sistematización -  
en la conservación de caminos, ya que el estado aceptable de  
un camino requiere de conservación normal, rehabilitación y\_  
reconstrucción o modernización o así como recursos (humanos,  
económicos, materiales y equipo), de que se puede disponer,-  
además de la preocupación del gobierno por fortalecer los -  
planes a largo plazo eliminando obstáculos administrativos.

### OBJETIVO DE LA CONSERVACION.

La conservación de una carretera se integra por una se--  
rie de operaciones que tienen por objeto mantener un buen es--  
tado de la estructura que la compone en beneficio del usua--

rio, para que al transitarla se sienta cómoda, segura, y que el viaje sea placentero, sin riesgos que sean propios de la carretera; así mismo para evitar que sea destruida por el uso y los agentes climatológicos.

La conservación de los caminos se divide en tres tipos:

- 1.- Conservación normal.
- 2.- Rehabilitación.
- 3.- Reconstrucción o modernización.

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

Las actividades de conservación normal son las siguientes:

- a) Trabajos que se le realizan a la superficie de rodamiento.- Bacheo, renivelaciones, tramos cortos fallados, re-

lleno de grietas, riego asfáltico de protección, riego de se  
llo sobre bacheo y renivelaciones, remoción de derrumbes, -  
relleno de deslabes.

b) Trabajo de limpieza y obras diversas.- Limpieza de dere--  
cho de vía, de cunetas y contracunetas, limpieza de alcanta  
tarillas, limpieza de canales de entrada y salida, retiro  
de obstáculos laterales, reparación de obras de drenaje,-  
afinamiento y recarga de taludes.

c) Trabajos de señalamiento.- Sustitución y colocación de -  
señales, reposición de fantasmas, de postes de kilometra-  
je, pintura de puentes, de elementos de sección transver-  
sal y de ralla central.

2.- REHABILITACION.- Cuando el camino ha estado en servicio\_  
durante varios años después de construido, años en los -  
que se han registrado incrementos en el número de vehicul  
os y cargas cada vez más pesadas, los deterioros que sufr  
e el camino por esas causas impiden que los trabajos -  
de conservación normal sean insuficientes para mantener-  
lo en buenas condiciones, ya que los desperfectos aumen-  
tan considerablemente, Ver fig. VI-1.

Quando esto sucede hay que decidir por una rehabilitación\_  
ya sea parcial o total de aquellos tramos que lo ameriten se  
pueden planear diferentes rehabilitaciones, de tal forma que  
aumenten su vida útil, claro que después de varios trabajos\_

de este tipo, llegará un momento en que esté tan dañada la estructura que lo necesario sea una reconstrucción de la obra. Lo anterior se muestra en la (fig. VI-2) en la que después de puesta en servicio una obra, se va deteriorando hasta que en "n" años llega a su falla estructural; sin embargo, si cuando se tiene una calificación de 2.5 se rehabilita, se aumenta la vida útil en "n" años más; éste ciclo se puede repetir en varias ocasiones, sin embargo, después de 4 ó 5 rehabilitaciones, el daño que se ha causado a la obra es tal que lo más conveniente es una reconstrucción, pues como se ve en la gráfica, la eficiencia de la rehabilitación es cada vez menor.

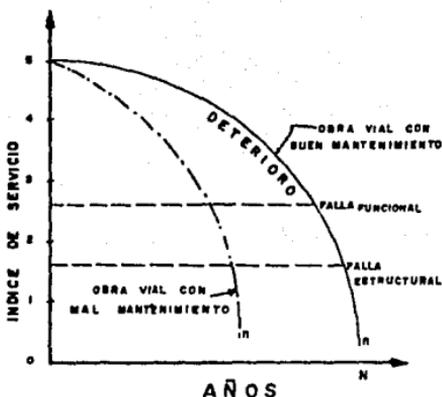


Fig. VI-1 Esquema que muestra el deterioro que se va teniendo en las obras viales a través del tiempo y el efecto de una conservación buena y otra deficiente.

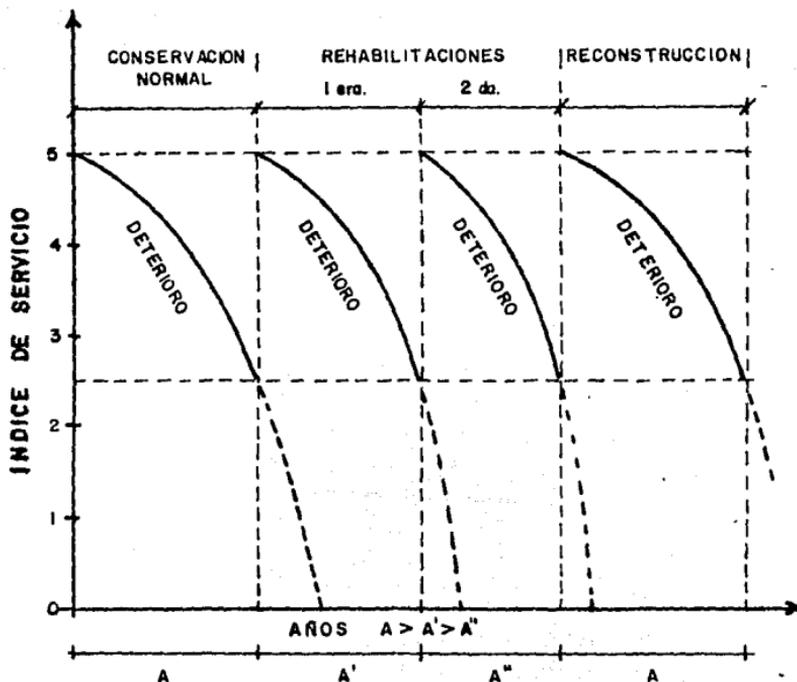


Fig. VI-2 Esquema que muestra el efecto que tienen la conservación, rehabilitación y reconstrucción en la vida de una obra.

Con los datos de espesores requeridos y existentes del pavimento y con los resultados de todas las pruebas del laboratorio y campo y el conocimiento del tipo de fallas que presenta el pavimento flexible, se estará en posibilidades de -

precisar los procedimientos de rehabilitación o reconstrucción que pueden presentarse desde el levantamiento del pavimento, dar tratamiento o sustituir el material de la capa subrasante y rehacer la estructura del pavimento hasta colocar un refuerzo a base de una sobre carpeta de mezcla asfáltica en planta (en caliente) o de mezcla elaborada en el lugar, esto último dependerá de la importancia de la obra.

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

Pero es preciso insistir que es por todos los motivos - preferible tratar siempre de solucionar definitivamente el problema de un camino deteriorado, que darle continuos paliativos o arreglos provisionales que a la larga resultan costosos, más molestos para los usuarios y que sólo conducen a - aplazar la solución básica y quizás a agravarla.

Existen los procedimientos no destructivos, (mencionados en el capítulo IV) para evaluar las condiciones estructurales y determinar el esfuerzo que requiere, pero son aplicables sólo cuando las condiciones del camino no son muy adversas y además, siempre es aconsejable complementar estos procedimientos con algunos sondeos a cielo abierto también men-

cionados en el capítulo V, métodos de evaluación destructivos para evaluar pavimentos flexibles.

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

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

La finalidad de la rehabilitación es:

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

Siendo los tratamientos más generales: tratamientos superficiales, sobre carpetas asfálticas, ampliaciones y obras de drenaje.

La función de la Rehabilitación:

- a) Proporcionar una adecuada calidad de rodamiento.
- b) Proporcionar la resistencia al derrapamiento necesario.
- c) Proporcionar la capacidad estructural adecuada para sopor

tar el tránsito futuro.

- d) Mejorar las condiciones geométricas del camino (pendientes, grados de curvatura y sobre elevaciones, etc.)

Existen métodos de rehabilitación sistematizados, que usan mediciones de deflexión para determinar los espesores requeridos de refuerzo en pavimentos flexibles de caminos, los cuales son bastante conocidos en México y se han aplicado en algunas ocasiones en combinación con el procedimiento de muestreo a base de sondeos a cielo abierto; estos métodos son el del instituto del asfalto de los Estados Unidos y el del Departamento de Obras Públicas de la Dirección en la División de Carreteras del Estado de California, E.U., siendo oportuno señalar que el instituto del asfalto emplea también el procedimiento de rehabilitación de pavimentos que llama de "Análisis de los componentes", que no se basa en deflexiones, sino que se realiza mediante muestreos con sondeos a cielo abierto exclusivamente, tal como se ha descrito en párrafos anteriores.

Se enfatizará como lo hemos venido tratando en este trabajo al método de la prueba de Porter Modificada (Padrón), por ser el de uso en nuestro país por la SCT.

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

El método de cálculo de espesores para pavimentos flexibles más empleados en México es el de la Prueba Porter Modificada (Padrón).

El método que se describirá, se utiliza para rehabilitación de pavimentos, sólo que para esto se requiere hacer -- pruebas destructivas y pruebas de laboratorio las cuales se mencionaron en el capítulo V; esto con el fin de conocer las propiedades y la calidad de los materiales. Con los resultados obtenidos se tiene una clara idea de los materiales que se pueden utilizar y en que porcentaje, o si se deben desechar por no cumplir con las especificaciones.

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

- a).- Hacer un recorrido minucioso del tramo o del área afectada, para detectar situaciones ajenas al propio pavimento, que están coadyuvando o propiciando su deterioro como son problemas o deficiencias en el terreno de cimentación, en las terracerías o en las obras de drena--

je. Si el caso lo amerita, será necesario hacer pruebas de laboratorio y campo para prevenir mejor estos problemas y darles las soluciones adecuadas.

- b).- Practicar en el pavimento sondeos a cielo abierto con espaciamientos apropiados de acuerdo con la longitud del tramo afectado o la magnitud de la zona fallada para conocer calidad y compactación de los materiales de terracerías, incluyendo de manera importante las que constituyen la capa subrasante, calidad y compactación de los materiales de subbase, base y carpeta y sus espesores, condiciones de humedad de los materiales, etc. Estos datos permitirán definir si el espesor del pavimento flexible, es o no suficiente para las condiciones en que se encuentran trabajando los materiales de terracerías, así como para los requerimientos del tránsito que soporta el pavimento y las condiciones climatológicas de la región, es decir, se rediseña el pavimento como si fuese a construirse de nuevo (reconstrucción) y se determina si se requiere o no mejorar el espesor, calculándose, en su caso, el espesor de refuerzo.

El resultado de las pruebas a los materiales extraídos de los sondeos revelará también si los que forman la capa subrasante y los distintos del pavimento, reúnen los requisitos de calidad fijados por las especificaciones correspondientes, si se les proporcionaron los tratamientos adecuados

y si fueron trabajados correctamente, con lo que podrá determinarse si es factible aprovecharlos o no en la reconstrucción del pavimento y bajo que condiciones.

También se debe de contar con estudios de tránsito tratados en el capítulo I en cuanto a su cantidad, composición y tasa de crecimiento.

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

EJEMPLO DE REHABILITACION PARA EL MISMO DE DISEÑO DEL CAPITULO I POR EL METODO DE PORTER MODIFICADA (PADRON). CONSIDERANDO DAÑADO Y CON MAYOR TRANSITO.

Se tiene un tránsito diario promedio anual (TDPA) de 9,368 vehículos en los 2 sentidos, considerando un camino de 4 carriles, con una distribución de vehículos como sigue:

Vehículos hasta de 5 ton. - - - - -	35%
Vehículos hasta de 5 a 15 ton. - - - - -	15%
Autobuses - - - - -	8%
Cargueros	
De 20 ton. - - - - -	25%
De 40 ton. - - - - -	12%
De 65 ton. - - - - -	5%

El período de diseño es  $n = 20$  años y una tasa de crecimiento anual de  $r = 8\%$

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

$$VRS_{CT} = 5\%$$

$$VRS_{CSR} = 10.85\%$$

TDPA = 9,368 vehículos

$TD_{CD}$  = Tránsito Diario en carril de diseño =  $9,368 \times 50\% = 4,684$

Período de diseño  $n = 20$  años

Tasa de crecimiento  $r = 8\%$

El factor de proyección al futuro.

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

$TD_{CD}$  = Tránsito Diario en carril de diseño.

Sustituyendo valores:

$$C = 365 \frac{(1 + 0.08)^{20} - 1}{0.08} = 16,703$$

Se llena la forma siguiente y los cálculos se realizan de la misma manera que en el ejemplo del capítulo I.

Cálculo de espesores para pavimentos flexibles  
método de portar modificado (padrón)

Obra \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_  
 Tramo \_\_\_\_\_ Subtramo \_\_\_\_\_  
 Datos para proyecto:  
 Tránsito diario promedio anual en dos sentidos (PDPA) 9,368 veh.  
 Tránsito en el carril de diseño (50%) 4,684 Período de diseño (n) 20 años  
 Tasa anual de crecimiento (r) 8 % factor de proyección a futuro (c) 16,703

Tipo de vehículos	Dst. del tránsito (%) (2)	Dst. del tránsito (%) (3)	Coefficiente de equivalencia (4)	Ejes sencillos equivalentes de 8.2 T (5)
Vehículos hasta 16 ton	35+15=50	2,342	.06	141.0
Autobuses	8	375	2.1	788.0
Camiones (15 a 23 ton)	25	1,171	2.1	2,459.0
Tractor c/semiremolque (25 a 33 ton)			4.1	
Camión c/ remolque (35 a 55 ton)	12	562	6.4	3,597.0
Tractor c/ semi y remolque (65 a 85 ton)	5	234	8.4	1,966.0
		Suma		8,951.0

Tránsito equivalente acumulado

Al final de la vida útil = factor de proy. (C) X suma =  $16,703 \times 8,951 = 149,508 \times 10^6$

veh. estándar en ejes de 8.2 ton.

Cálculo de espesores

VR<sub>1</sub> de diseño del cuerpo del terraplén 5 %  
 D<sub>1</sub> = Espesor de capa subrasante + pavimento 82.50 cm de grava  
 VR<sub>2</sub> de diseño de la capa subrasante 10.85 %  
 D<sub>2</sub> = Espesor de pavimento 61.50 cm de grava

Estructuración del pavimento

Capa	Tipo	Esp. Real	Fact. de Conv.	Esp. de gravas (cm)		
				por capa	de pav.	Total
Carpeta de		8cm	2.0	16.00	67.00	97.00
Base de		20cm	1.5	30.00		
Subbase		21cm	1.0	21.00	67	
Subrasante		30cm	1.0	30.00		97

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

Fig. I-24 Hoja para el cálculo de tránsito equivalente (8.2 ton) acumulado durante la vida útil de una carretera.

Condiciones actuales de la superficie de rodamiento:

Aceptable	<u>X</u> Regular	Malo
-----------	---------------------	------

Características de las capas de: Carpeta, base y subbase, antes de la rehabilitación.

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

ESPESOR: 10cm Utilidad 70%, 7cm

BASE:

ESPESOR: 15cm, Gc95%, VRS83%, CL4.5%, VC5.1Kg/cm<sup>2</sup> Utilidad 70%, 10cm

SUBBASE:

ESPESOR: 14cm, Gc93%, VRS58%, CL5.2%, VC6.3Kg/cm<sup>2</sup> Utilidad 70%, 10cm

Espesor actual útil = 27cm

$VRS_{CT} = 7\%$  (del cuerpo del terraplén)

$VRS_{CSR} = 14\%$  (de la capa subrasante).

Gc.- Grado de compactación de un material en (%) del Peso Volumétrico.

VRS.- Valor Relativo de Soporte.

CL.- Contracción lineal.

VC.- Valor cementante.

Espesor de pavimento requerido (67cm) - Espesor actual útil - (27cm) = 40cm

Espesor de base negra de refuerzo = 10 cm de base X 1.3 = 13cm

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

El tránsito equivalente acumulado que se obtuvo es:

El factor de conversión al futuro (c) y se multiplica - por el valor obtenido de la suma de la columna (5) de la Tabla anterior: (I-24)

$16,703 \times 8,951 = 149.508 \times 10^6$  ejes estándar de 8.2 ton.

El resultado anterior son los ejes estándar en la vida útil del pavimento, tomando los valores de  $VRS_{CT}$  y  $VRS_{CSR}$  5% y 11% respectivamente, se utiliza la tabla fig. I-30 del capítulo I.

Se entra con  $VRS_{CT} = 5\%$  y  $149.508 \times 10^6$  de ejes estándar, de esta manera se obtiene el espesor sobre la capa considerada en centímetros, que en este caso nos da un valor de 82.50 cm de grava.

Después utilizamos la misma tabla pero ahora con  $VRS_{CSR} = 11\%$  y  $149.508 \times 10^6$  de ejes estándar y se obtiene el espesor sobre la capa considerada en centímetros, que en este caso nos da un valor de 61.5cm de grava sobre la capa subrasante.

Entonces se tiene:

Espesor = capa subrasante + pavimento.

82.5 cm = capa subrasante + 61.5 cm  
 capa subrasante = 82.5-61.5= 21 cm.

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

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

De esta manera conociendo el espesor requerido y el espesor actual útil se conoce el refuerzo necesario (de pavimento)

Para nuestro caso:

Espesor requerido = 61.50 cm.

Espesor actual útil = 27 cm

Refuerzo requerido = 34.50 cm

Se propone una base con mezcla asfáltica (base negra) de 10 cm. de espesor y una carpeta de concreto asfáltico de 9 cm. de espesor afectando estos valores por sus factores de equivalencia vistos en el capítulo I, y se tiene.

$$D = a_1d_1 + a_2d_2 \quad D = 2.0(9) + 1.7(10) = 18 + 17 = 35 \text{ cm.}$$

Entonces el refuerzo será de 35 cm.

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

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

Cuando esas especificaciones resulten absoletas, se requiere modificar los trazos verticales y horizontales y aumentar los espesores del pavimento. En ocasiones es indispensable aumentar el número de carriles de circulación en ambos sentidos del antiguo camino, o bien construir otro camino paralelo.

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

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

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

1.- Inventario del camino.- Para ello se debe contar con un plano del o de los caminos a su cargo, donde se indiquen todos los poblados y puntos de interés por donde pasa, así como los datos de longitud del camino, número de curvas, longitud de tangentes y, por diferencia, la longitud de curvas; - inventario de todas las obras de drenaje especificando tipo y dimensiones; inventario de puentes especificando tipo, dimensiones y nombre; longitud del terraplén, de cortes, de tramos en balcón, de cunetas y contracunetas; descripción topográfica por donde pasa el camino (montaña, lomerío fuerte, suave o plano), así como tener conocimiento de la ubicación, descripción, capacidad y procesamiento de bancos de materiales, ubicación y capacidad de fosas de asfalto, especificando productos asfálticos, ubicación y nombre de campamentos - de sobrestantes y cuadrillas.

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

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

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

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

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

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

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

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

Las ventajas que presenta esta sistematización son las siguientes:

- a). Contar con un inventario completo y detallado del o los caminos que se tengan a cargo. De ésta manera se conocen los problemas del camino en su totalidad y con ello permiten atacar con toda oportunidad los problemas que se presenten y definir los trabajos necesarios para prevenir mayores daños.
- b). Se conocen oportunamente los recursos disponibles para cubrir los necesarios.

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

Para que la sistematización que se propone en este trabajo tenga efectividad, se requiere de la implantación de - acciones técnico-administrativas de los responsables de dife

rentes niveles de mando.

A continuación se muestran tablas con todas las fallas más comunes en pavimentos flexibles, describiéndolas y nombrando algunas probables causas que las provocan, así como las recomendaciones para la reparación del camino que la presenta, ya sea en conservación normal o rehabilitación.

Catálogo de fallas comunes que se presentan en pavimentos flexibles

Falla	Descripción	Probables Causas	Recomendaciones para su reparación
<p>Grupo I</p> <p>Deformaciones</p> <p>A S E N T A M I E N T O S</p>	<p>Es una variación del nivel de la sección. y puede ser:</p> <p>a) Longitudinal Por el eje.</p> <p>b) Longitudinal por la orilla.</p> <p>c) Transversal.</p>	<p>-Diseño escaso de las capas inferiores.</p> <p>-Pavimento mal compactado en las orillas, o en algunas zonas.</p> <p>-Asentamientos en capas inferiores.</p> <p>-Movimientos o deslizamientos locales de los terraplenes.</p> <p>-Nivel demasiado elevado del manto freático.</p> <p>-Falta de drenaje y subdrenaje.</p> <p>-Contaminación del cuerpo del pavimento por la penetración de material de terracerías.</p>	<p>Renivelar con mezcla asfáltica; limpiando previamente la superficie y dando un riego de liga. Reparar debidamente la zona del asentamiento reconstruyendo por capas la sección original.</p> <p>Es necesario revisar y corregir deficiencias en el anclaje de los terraplenes (falta de escalones de liga), o en el drenaje del área afectada.</p>
<p>Deformaciones</p> <p>C O R R U G A C I O N</p>	<p>Es la prominencia que aparece en la superficie del pavimento. Y puede aparecer:</p> <p>a) Longitudinal y/o</p> <p>b) Transversal.</p>	<p>-Alto valor de flujo de la mezcla asfáltica en las proximidades de un bache.</p> <p>-Zona de desaceleración brusca del tránsito.</p> <p>-Tráfico pesado sobre la carpeta antes de compactarla debidamente.</p> <p>-Elevada Temperatura en la mezcla asfáltica al colocarla.</p> <p>-Mezcla asfáltica de baja estabilidad exceso de solventes o residuo asfáltico.</p>	<p>Eliminar la carpeta desplazada, cajeando rectangularmente la zona afectada.</p> <p>Reponer la carpeta en forma adecuada y sellar la nueva capa.</p>

Falla	Descripción	Probables Causas	Recomendaciones para su reparación
Deformaciones  HUELLA DE RODADA	Es una impresión en relieve localizada en la superficie de rodamiento.	-Estacionamiento prolongado de algún vehículo pesado en zona subdiseñada o durante la colocación de la carpeta antes de compactarla. -Mezcla mal curada (con exceso de solventes) o con gran cantidad de asfalto (bituminosos).	Renivelar con mezcla asfáltica de características adecuadas, previamente delimitar el área, limpiarla y dar un riego de liga.
Deformaciones  O N D U L A C I O N	Es la depresión de forma redondeada en onda más o menos pronunciada, transversalmente al sentido de la circulación del tránsito.	-Por la acción mecánica de arranque y frenaje ocasionando exceso de esfuerzos en esa zona. -Carpeta con baja estabilidad por el alto contenido de asfalto y solventes. -Disgregación de la base por exceso de finos, provocando hundimientos de la carpeta.	En el caso cuando la carpeta es la provocadora de la falla se recomienda escarificar eliminarla y recompactar la base: construir una nueva carpeta de espesor y resistencia adecuada. Para el caso en que la carpeta tenga alto contenido de solventes, se recomienda levantarla y corregir la mezcla si es posible para aprovecharla nuevamente, la corrección puede consistir en agregarle un material pétreo adicional de mejores características.

Falla	Descripción	Probables Causas	Recomendaciones para su reparación
Deformaciones  R O D E R A S	Es una deformación longitudinal permanente que se origina bajo el paso de las ruedas. Y puede ser: 1) Surco de gran radio. a) Sobre el eje central. b) sobre la orilla. 2) Surco de pequeño radio. a) Sobre el eje central. b) Sobre la orilla.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Insuficiente compactación de las capas del pavimento.</li> <li>-Contaminación del pavimento por penetración de material fino de terracería.</li> <li>-Excesiva concentración de cargas bajo la acción de un tránsito pesado y canalizado en zonas subdiseñadas o con mal control de calidad.</li> <li>-Sobre dosificación en la carpeta de asfalto y filler.</li> <li>-Subdiseño de capas inferiores del pavimento.</li> <li>-Asfalto demasiado blando para la región, o temperatura elevada dentro del material asfáltico.</li> <li>-Inestabilidad de la carpeta o base asfáltica por deficiencias en la mezcla asfáltica.</li> <li>-Granulometría incorrecta del pétreo.</li> <li>-Nivel del manto freático demasiado elevado.</li> </ul>	<p style="text-align: center;">Renivelar con mezcla asfáltica de características adecuadas; previamente delimitar el área, limpiarla de materia extraña y dar un riego de li- ga.</p>

Falla	Descripción	Probables Causas	Recomendaciones para su reparación
<p>Deformaciones</p> <p>R I Z A D O</p>	<p>Son las deformaciones perpendiculares al eje de pavimento en forma de onda regularmente, de concavidad variable.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Insuficiente compacidad de la superficie de rodamiento en una zona y/o de la capa de base.</li> <li>-Cavidad dentro de la capa de base compactada y rellenada por el material de la carpeta.</li> <li>-Contaminación del cuerpo del pavimento por penetración de finos de las terracerías.</li> <li>-Falta de drenaje y/o subdrenaje.</li> <li>-Disgregación de una zona de la capa de base compactada.</li> </ul>	<p>Si en la carpeta se encuentra la falla, se recomienda escarificarla, y eliminarla, recompactar la base; construir una nueva carpeta, con espesor y resistencia adecuada por un rediseño, corregir probables daños en el drenaje y/o subdrenaje, revisar además capas y su estado según el diseño y la construcción de éste.</p>
<p>Grupo II</p> <p>Agrietamientos</p> <p>F R A C T U R A</p>	<p>Se define como una línea de ruptura.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Por deslizamiento del terreno (falla de talud).</li> <li>-Falta de bermas o de taludes bien tendidos.</li> <li>-Falta de los escalones de liga (para secciones en corte o balcón) por mala construcción en ellos o por ausencia de los mismos.</li> </ul>	<p>Corregir el talud dándole su pendiente adecuada, luego si se requiere construir bermas y posteriormente nivelar adecuadamente compactando correctamente la porción faltante, aplicar riego de liga y luego la mezcla asfáltica.</p>

Falla	Descripción	Probables Causas	Recomendaciones para su reparación
<p>Agrietamientos</p> <p>P I E L D E C O C O D R I L O</p>	<p>Es el agrietamiento en forma reticular que se produce en las capas superficiales. Y se puede presentar en:</p> <p>a) Reticular chica</p> <p>b) Reticular grande</p>	<p>-Fallas de las capas inferiores, por disgregación provocada por penetración de agua.</p> <p>-Falta de adherencia de la carpeta con la capa de la base.</p> <p>-Carpeta demasiado rígida.</p> <p>-Subdiseño de la capa superficial.</p> <p>-Deslizamiento de la carpeta sobre la base de pavimento debido a una mala impregnación de base y/o riego de liga.</p> <p>-Permeabilidad de la capa de base.</p> <p>-Subdiseño de las capas inferiores para las cargas que soporta.</p> <p>-Vejez del pavimento u oxidación del asfalto.</p> <p>-Insuficiente espesor de la carpeta asfáltica.</p> <p>-Fatiga en las capas del pavimento, por la acción de tránsito pesado.</p>	<p>Es necesario cajear, eliminar la carpeta afectada y los materiales de mala calidad o con exceso de humedad de las capas inferiores y luego reponer los materiales extraídos por otros y colocarlos en forma similar a lo descrito en el caso de arreglo de baches.</p> <p>Si la falla es generalizada en una área más o menos grande, es necesario analizar el diseño y la construcción del pavimento y del drenaje.</p>

Falla	Descripción	Probables Causas	Recomendaciones para su reparación
<p>Agrietamientos</p> <p>G R I E T A S</p> <p>PARABOLICAS</p>	<p>Es una línea de ruptura de forma (Asemejando), una parábola.</p>	<p>-Corrimiento de la carpeta, por zonas de desaceleración o por escasez de riego de liga.</p> <p>-Falta de adherencia entre la capa superficial y la capa de base por mal riego de liga.</p>	<p>Si el agrietamiento se ha detenido y no se presentan desplazamientos notables o corrugaciones en la carpeta, el calafateo es suficiente para tratar las grietas; si además de agrietada está desplazada la carpeta o corrida y deformada, tendrá que levantarse y reponerse.</p>
<p>Agrietamientos</p> <p>G R I E T A</p> <p>R</p> <p>E</p> <p>C</p> <p>T</p> <p>I</p> <p>L</p> <p>I</p> <p>N</p> <p>E</p> <p>A</p>	<p>Se presenta como una línea de ruptura casi vertical.</p> <p>Y se puede formar:</p> <p>a) Longitudinal o a lo largo del eje central.</p> <p>b) Longitud a lo largo de la orilla.</p> <p>c) Transversal.</p>	<p>-Mala construcción de juntas o ligas con secciones anti-guas.</p> <p>-Baja temperatura durante la colocación de la carpeta.</p> <p>-Reflexión de grietas en sobrecarpetas.</p> <p>-Mala ejecución en la ampliación lateral del pavimento.</p> <p>-Poco espesor del cuerpo del pavimento por un subdiseño.</p> <p>-Contracciones de la subbase o base estabilizadas con cemento Portland.</p>	<p>Si las grietas son muy finas (aberturas pequeñas), es bastante difícil rellenarlas y solamente hay que tenerlas bajo observación para ver la forma como progresan. Cuando es factible se sellan con emulsión asfáltica o con asfaltos rebajados.</p> <p>Si las grietas son de abertura del orden de 3mm o más, se pueden calafatear con un mortero asfáltico, con una mezcla asfáltica (con rebajado y arena o bien con un cemento asfáltico).</p> <p>Si la carpeta está muy agrietada se recomienda levantarla y dar una compactación a la base o subbase para obtener mejor sustentación a la carpeta y colocar nuevamente la carpeta.</p>

Falla	Descripción	Probables Causas	Recomendaciones para su reparación
<p>Desprendimientos</p> <p>E S C A R A P E L A D O</p>	<p>Es la separación de la película de asfalto que en - vuelve al material pétreo.</p>	<p>-Acción del agua por falla en el subdrenaje. -Acción de la arcilla en la superficie. -Diversas acciones mecánicas. -Escasa cantidad de asfalto, en la mezcla o en el riego de sello. -Mala adherencia del pétreo con el asfalto por falta de afinidad.</p>	<p>Dar un riego en proporción adecuada con un producto asfáltico que tenga buena afinidad con el material pétreo. Puede ser necesaria la aplicación de un riego de sello.</p>
<p>Desprendimientos</p> <p>PAVIMENTO</p> <p>L I S O</p> <p>RESBALOSO</p>	<p>Es el desgaste del pavimento que lo vuelve liso y resbaloso.</p>	<p>-Pulido demasiado rápido de los agregados. -Desgaste excesivo del pavimento (derrapante). -Agregados blandos como calizas.</p>	<p>Dar un riego de sello con materiales adecuados, previa limpieza y escarificación leve para una mejor adherencia.</p>

Falla	Descripción	Probables Causas	Recomendaciones para su reparación
Desprendimientos B A C H E	Es una cavidad de forma redondeada, de bordes francos, creada en la superficie del pavimento por levantamiento del material.	-Ruptura del asfalto bajo efecto mecánico del tráfico. -Falla en el drenaje, penetración de agua. -Contaminación del cuerpo del pavimento por la penetración de finos provenientes de las terracerías. -Subdiseño del pavimento para las cargas que por el tránsito.	Cajear rectangularmente el área fallada, eliminando los materiales de mala calidad o que presenten humedades excesivas. Rellenar con materiales de características adecuadas, reponiendo la estructura del pavimento mediante capas debidamente compactadas. Si los baches se manifiestan en zonas de cortes, es conveniente revisar y corregir previamente las deficiencias de drenaje.
Desprendimientos D E S C O S T R A D O	Es una zona más o menos localizada en la que la capa de rodamiento se ha desprendido totalmente del resto del pavimento.	-Insuficiente espesor de la capa de rodamiento. -Insuficiente compactación de la capa de rodamiento. -Falta de adherencia de la carpeta y la capa de base, esfuerzos elevados entre la junta de ellos. -Movimiento de la carpeta respecto a la base de pavimento. -Riego de Liga insuficiente para realizar un buen contacto.	Cajear rectangularmente los límites de la zona en que se ha desprendido la carpeta y reponer ésta con una mezcla asfáltica adecuada, previa aplicación del riego de liga.

Falla	Descripción	Probables Causas	Recomendaciones para su reparación
<p>Desprendimientos</p> <p style="text-align: center;">D E S G R A N A M I E N T O</p>	<p>Es el desprendimiento de la grava de la carpeta asfáltica constituida con emulsión.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ruptura del aglutinante bajo acción mecánica.</li> <li>-Material pétreo suave.</li> <li>-Disgregación de los agregados bajo acción química.</li> <li>-Segregación de los agregados durante su colocación.</li> <li>-Exudación que propicia el desprendimiento de la grava.</li> <li>-Pétreos de mala calidad (baja adherencia).</li> <li>-Apertura del tramo a la circulación prematuramente.</li> </ul>	<p>Aplicar un riego ligero bien distribuido y correctamente dosificado de asfalto rebajado o de emulsión asfáltica, para evitar que el material se continúe desprendiendo.</p> <p>Si el desprendimiento del material es muy pronunciado, puede corregirse la aplicación con un nuevo riego de sello o una sobrecarpeta y riego de sello, de características adecuadas.</p>
<p>Desprendimientos</p> <p>RUGOSIDADES</p>	<p>Son las piedras que aparecen en la superficie del pavimento por el desgaste de ésta.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Desgaste del pavimento.</li> <li>-Granulometría incorrecta de la capa de rodamiento.</li> <li>-Escasez de asfalto en la mezcla.</li> </ul>	<p>Dar un riego de sello con materiales adecuados previa limpieza de la superficie a tratar.</p>

Falla	Descripción	Probables Causas	Recomendaciones para su reparación
<p>Grupo IV Afloramientos</p> <p>AFLORAMIENTO DE A G U A</p>	<p>Es la aparición de una zona húmeda en la superficie del pavimento.</p>	<p>-Veneros debajo del cuerpo del pavimento. -Insuficiente drenaje y subdrenaje. -Intensa evaporación. -Encauzamiento de agua entre la carpeta nueva y el antiguo pavimento. -Salidas de agua en los puntos de mas baja compactación en la carpeta por afloramiento del nivel freático.</p>	<p>Colocar sobre la capa subrasante capas rompedoras de capilaridad formadas por materiales inertes (grava-arena), para evitar que el agua ascienda a las capas del pavimento por capilaridad.</p>
<p>Afloramientos</p> <p>L L O R A D O</p> <p>(Exudación)</p>	<p>Se manifiesta en zonas más o menos localizadas en las que aparecen excesos de asfalto en la superficie.</p>	<p>-Por temperatura elevada dentro de la capa de carpeta asfáltica. -Asfalto demasiado blando. -Mezcla con exceso de rebajados o emulsión. -Asfalto "arrastrado". Por la evaporación excesiva de agua proveniente del cuerpo del pavimento. -Mezcla asfáltica con exceso de solventes (mal curada). -Afloramiento de asfalto proveniente del riego de liga por un exceso de este.</p>	<p>Calentar con quemadores (sopletes) la superficie y regar una cantidad adecuada de material pétreo de sello fijándolo rápidamente con planchado.</p>

Falla	Descripción	Probables Causas	Recomendaciones para su reparación
<p>Afloramientos DE MORTERO</p> <p>A S F A L T I C O</p>	<p>Se provoca por la separación del mortero y de los agregados que descienden hacia la parte baja de la capa, y quedando el mortero superficialmente.</p>	<p>-Exceso de asfalto y de finos. -Elevada temperatura durante la colocación de la carpeta o en el mezclado de ésta.</p>	<p>Si la carpeta no presenta inestabilidad, puede ser suficiente el calentar superficialmente con quemadores y regar una cantidad adecuada de material pétreo de sello, fijándolo inmediatamente con planchado.</p>

### Resumen de Capítulo:

Reafirmando que la compactación para cada capa no debe ser menor del 90% de PVSM, de otra manera sino se cumple con esta especificación se tendrán que descubrir los materiales para darles la compactación adecuada, este error puede existir desde la carpeta (disgregación); se recomienda escarificarla y desperdiciarla o incluirla en la capa inferior; es muy importante tener las densidades especificadas para cada material de capa y evitar así deformaciones progresivas.

Lo mismo se puede hacer para carpetas agrietadas o rigidezadas.

Cuando una capa no cumple con las características de (VRS), plasticidad, o valor cementante; se deberá estudiar si estas capas pueden quedar incluidas dentro del nuevo proyecto de estructuración dandoles un cierto porcentaje de rescate (como en el ejemplo de rehabilitación dado en este mismo capítulo) de acuerdo al criterio del proyectista. Pero si los materiales están muy fuera de las especificaciones requeridas, no se deberán tomar en cuenta para la nueva estructuración, claro está que la mala calidad de materiales y/o compactación se podrá ver en la superficie de rodamiento.

Por lo tanto en las conclusiones se dan diferentes reco

mendaciones como son:

- a) En la superficie de rodamiento actual construir una nueva base negra y/o una carpeta asfáltica tomando las precauciones necesarias para que las grietas de la carpeta anterior no se reflejen en la nueva.
- b) Levantar y desperdiciar o disgregar la carpeta asfáltica antigua que puede ser incluida en alguna de las capas inferiores.
- c) Escarificar la capa de base agregando la carpeta disgregada, acamellonandola para poder compactar la capa de subbase si es necesario, para luego volver a colocar la capa de base que probablemente pueda necesitar la inclusión de asfalto (base negra), cal o cemento Portland, para asegurar proporcionar los riegos de impregnación y de liga necesarios sobre los cuales se construirá adecuadamente la carpeta asfáltica.

Es necesario hacer notar que para realizar una rehabilitación como la mencionada en el inciso c) se requerirá de desviaciones laterales del tránsito para que se pueda realizar la reconstrucción en forma adecuada, si no es posible lo anterior se deberá de idear la posibilidad de hacer la rehabilitación necesaria colocando espesores de base negra del orden de 15 a 25 cm.

## CAPITULO VII CONCLUSIONES DEL TEMA TRATADO

Después del desarrollo de este trabajo, puedo expresar que aún cuando la situación de nuestro país es la de un subdesarrollo, no se ha detenido el avance en nuestra ya valorada y reconocida Ingeniería Civil a nivel mundial, en la especialidad tratada en este trabajo es de gran importancia la aportación que los técnicos mexicanos desarrolladores de la prueba "Porter Modificada (Padrón)" hicieron a la ingeniería caminera mundial, así como la utilización de la capa subrasante en la estructura de un camino y que por mencionar - - otras especialidades la ya muy renombrada mecánica de suelos, en la cimentación de grandes estructuras o construcción de túneles, las estructuras en edificios y puentes y la gran experiencia en la construcción de presas hidroléctricas.

Por tal motivo y adentrandonos nuevamente en el tema, - podemos seguir obteniendo buenos resultados técnicos, aunque las políticas gubernamentales se desvían de sus objetivos, - haciendo mal uso de los recursos financieros que la población del país aporta en forma de impuestos por medio de sus habitantes para el desarrollo de infraestructura al país, y que esto nos limita en la obtención de nuevas tecnologías - propias, ya que conservamos las más sencillas y no muy sofisticadas, pero no siempre estas últimas son las más convenientes para una buena realización del trabajo en evaluación no

destruictiva de caminos, como ya se dijo nuestro sistema - - carretero esta siendo severamente víctima de un desequilibrio existente en los sistemas de transporte de carga terrestre, y que por tal motivo merece más atención en cuanto a - conservación, rehabilitación, y reconstrucción, creo que este es el momento histórico adecuado para desarrollar más experiencia en caminos antes que nuestro sistema ferroviario - empiece a tener el apoyo y la importancia que necesita y se merece en nuestro país.

Es necesario pues que los técnicos mexicanos camineros realicen intercambios de información de las diferentes zonas por medio de sus residentes y que tengan el objetivo de enriquecer esta área con la comunicación de los más variados problemas y experiencias que se dan en las diferentes zonas del país, así como en el manejo de sus informaciones sobre las redes camineras que tiene a su cargo, las técnicas empleadas para la evaluación y reparación, sus ventajas, rapidez, precisión y la forma de registrar sus datos; lograr que los archivos sean de fácil manejo y se interconecten por medio de un banco general, en el cual se tendrán todas las evaluaciones y reparaciones que se le han realizado a un camino determinado de tal región y perteneciente a tal red, formando un orden correcto de su historia, para que posteriormente con todo ello formar una estrategia y formular prioridades con personal de amplio criterio y experiencia en la área, y po-

der optar por una conservación normal, rehabilitación o la -  
reconstrucción y modernización si esta última es necesaria y  
tratar de esquivar siempre el gran defecto de corrupción, -  
dando las obras a contratistas que realmente hayan ganado el  
concurso y que los cuerpos técnicos encargados de supervi- -  
sión especializada cumplan con ética sus funciones y no se -  
dejen sobornar.

## BIBLIOGRAFIA

ESTRUCTURACION DE VIAS TERRESTRES

AUTOR: M. EN I., I. C. FERNANDO OLIVERA BUSTAMANTE

EDITORIAL: CECSA Primera edición noviembre de 1986.

AN INTRODUCTION TO NONDESTRUCTIVE STRUCTURAL EVALUATION OF  
PAVEMENTS BY TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, NATIONAL ACADEMY  
OF SCIENCES TRANSPORTATION RESEARCH "CIRCULAR"

NUMERO 189, ENERO DE 1976.

CATALOGO DE FALLAS DE PAVIMENTOS

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

DIRECCION GENERAL DE CONSERVACION DE OBRAS PUBLICAS

MEXICO 1984.

NORMAS PARA CONSTRUCCION E INSTALACIONES DE PAVIMENTOS LI--  
BRO 3

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

MEXICO 1983.

NORMAS PARA CONSTRUCCIONES E INSTALACIONES DE PAVIMENTOS

LIBRO 2

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

MEXICO 1983.

INSTRUCTIVO PARA REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y  
RIGIDOS DE CARRETERAS.

SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS (SOP).

MEXICO 1974.