

20  
2 eje.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ACATLAN"

"REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES"  
METODO DE LA VIGA BENKELMAN

TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A:  
LEONARDO PEREZ TRUJANO

DIRECTOR DE TESIS:

ING. CELSO BARRERA CHAVEZ

MEXICO, D. F.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



1994



## **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.

D E D I C A T O R I A S

DEDICO EL PRESENTE TRABAJO A MIS PADRES  
Y HERMANOS COMO UN TESTIMONIO INFINITO  
DE MI APRECIO Y ETERNO AGRADECIMIENTO

LORENA:

TE DEDICO MI CARRERA Y AGRADEZCO INFINITAMENTE LA AYUDA,  
TIEMPO, PACIENCIA Y FACILIDADES PRESTADAS PARA LA REALI-  
ZACION DE ESTA TESIS.

A MI UNIVERSIDAD QUE LE ESTARE ETERNAMENTE AGRADECIDO.

AL INGENIERO CELSO BARRERA CHAVEZ POR HABER ACEPTADO SER  
MI ASESOR.

Y A TODAS LAS PERSONAS QUE COLABORARON CON SU AYUDA PARA  
LA REALIZACION DE LA MISMA.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

CON CARINO  
LEONARDO PEREZ TRUJANO

# I N D I C E

Introducción.....	3
I. Determinación de las condiciones superficiales.....	5
I.1. Evaluación subjetiva de las condiciones de transitabilidad.....	5
I.2. Medición de las deficiencias superficiales.....	10
I.3. Descripción de las fallas en carpeta.....	13
II. Evaluación de las condiciones estructurales.....	21
II.1. Muestreo aleatorio.....	22
II.2. Determinación de la calidad de materiales.....	31
II.3. Análisis de los componentes de las distintas capas del pavimento y de la capa subrasante.....	41
III. Determinación del espesor efectivo.....	56
III.1. Método del Instituto Norteamericano del Asfalto.....	56
III.2. Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM.....	68
IV. Análisis del Tránsito.....	78
IV.1. Clasificación de vehículos.....	79
IV.2. Volúmen de Tránsito.....	82
IV.3. Distribución de esfuerzos en el pavimento.....	84
IV.4. Factores ambientales.....	88
IV.5. Determinación del (IT) Método California.....	90

V. Procedimiento de prueba y procedimiento de diseño.....	94
V.1. Método del Instituto del Asfalto.....	94
V.2. Método California.....	108
VI. Aplicación al tramo de prueba.....	129
VI.1. Av. Central.....	129
VI.2. Tramo Villahermosa-Teapa.....	140
Conclusiones.....	154
Bibliografía.....	156

## INTRODUCCION

La rehabilitación de un pavimento resulta muy costosa, razón por la que, la evaluación de un pavimento debe proporcionar un conocimiento completo y actualizado del estado que guardan la estructura y la superficie de rodamiento a fin de poder aplicar las medidas necesarias para prolongar su vida útil y fijar prioridades de obra.

Los estudios de evaluación no sólo son aplicables a tramos carreteros con pavimentos en mal estado. Evaluaciones periódicas en tramos en condiciones aceptables, permitirán determinar cuando resulta conveniente realizar trabajos de conservación rutinarios en previsión de daños mayores, lográndose con esto una mejor aplicación de los recursos disponibles.

En la actualidad la mayoría de las mediciones o pruebas no destructivas se realizan con la Viga Benkelman en casi toda la República o con equipos de otros tipos tales como Perfilógrafos Transversales, Equipos de prueba de placa, Dynaflect, Curvimetros Dehlen, Mu-meter, Texturómetros, Perfilógrafo Longitudinal y algunos otros. Debido a esto, no es posible llevar a cabo un estudio de ensayos no destructivos lo más completo posible.

Aunque en este trabajo se mencionan diferentes aparatos para la medición de deflexiones se estima que la Viga Benkelman sería suficiente para el fin propuesto, por su versatilidad facilidad de manejo y su costo reducido.

A continuación se describe el contenido del presente trabajo:

Capítulo I.- Se presenta la determinación de las condiciones superficiales de pavimentos flexibles, mediante una zonificación previa del tramo en base a recopilación y análisis de la historia de la carretera y en los resultados de un recorrido general, así como la obtención de la calificación de servicio actual.

Se mencionan algunos métodos de medición de las deficiencias superficiales con equipos mecánicos y descripción de fallas de tipo funcional o estructural considerando posibles causas que originan el proceso de falla en las diferentes capas del pavimento.

Capítulo II.- Se menciona una manera de muestreo aleatorio con el fin de reducir los ensayos destructivos necesarios para determinar la calidad de los materiales en laboratorio y analizar los componentes de las distintas capas del pavimento así como el terreno natural para lograr con todo esto una evaluación de las condiciones estructurales lo más cercano posible a la realidad.

Capítulo III.- Se refiere a la determinación del espesor efectivo mediante los métodos del Instituto Norteamericano del Asfalto y del Instituto de Ingeniería de la UNAM para lo cual describimos el procedimiento de cada método.

Capítulo IV.- Se trata el análisis del tránsito en cuanto a la transmisión de cargas al pavimento y su distribución de esfuerzos de acuerdo a la teoría de Boussinesq. Se hace referencia a la clasificación de vehículos de acuerdo al número de ejes y se presenta un ejemplo para determinar el Índice de Tránsito [IT] para obtener el espesor del refuerzo del pavimento.

Capítulo V.- Se presenta el procedimiento de prueba y procedimiento de diseño para obtener la deflexión característica del tramo mediante los métodos del Instituto Norteamericano del Asfalto y el Método California.

Capítulo VI.- Se determina el espesor necesario de refuerzo, considerando factores de equivalencia para obtener el espesor de las capas o capa por construir. Los tramos de aplicación son la Av. Central y el Tramo Villahermosa Teapa, utilizando el Método California mediante el uso de deflexiones y el Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Finalmente se presenta la conclusión y bibliografía.

## I. DETERMINACION DE LAS CONDICIONES SUPERFICIALES

La determinación de las condiciones superficiales del pavimento, sirven para juzgar si es adecuado para el servicio presente. Una determinación de la condición superficial debe incluir uno o más de los siguientes datos:

### I.1 Evaluación subjetiva de las condiciones de transitabilidad.

#### I.1.1 Recopilación de datos históricos.

Se deberá recurrir a la Dependencia encargada de la conservación del camino en estudio con el objeto de recabar la siguiente información:

- Período de la Construcción original del camino.
- Dependencia y residencia encargada de la construcción.
- Características estructurales de proyecto.
- Características geométricas del camino.
- Bancos de materiales utilizados.
- Tipo de carpeta asfáltica construida.
- Características del drenaje y subdrenaje.
- Volúmen de tránsito inicial registrado y evolución del mismo.
- Datos relevantes de control de calidad durante la construcción.
- Calificación inicial del camino y antecedentes de evaluación.

#### I.1.2 Historia de conservación del camino.

Se recabará con la dependencia encargada de la conservación del camino, la siguiente información:

- Descripción de tramos en cuanto a requerimientos de conservación.
- Tipos de fallas más comunes y época en que se presentó.
- Indicar si el drenaje o subdrenaje tiene influencia en las fallas.
- Tipo de conservación aplicada: Bacheo, Calafateo, Renivelaciones, Sobrecarpetas, Reconstrucciones, Riegos de Sello, etc.



Indicar si los trabajos de conservación son de magnitud creciente o decreciente conforme aumenta la edad en el camino.

Recabar información del costo de los trabajos de conservación.

#### I.1.3 Comportamiento del camino.

Conjuntamente con la dependencia encargada de la conservación del camino se deberá efectuar una evaluación preliminar que contenga la siguiente información:

Frecuencia con que el camino alcanza el nivel de rechazo y de ser posible formular una gráfica tiempo-nivel de rechazo.

Evaluar en forma preliminar si las fallas del camino son de tipo funcional o estructural.

Hacer comentarios preliminares respecto, a si el comportamiento del camino a sido bueno, regular o muy malo indicando los factores que contribuyen a un comportamiento inadecuado.

#### I.1.4 Recorrido General.

A fin de realizar una zonificación preliminar del camino en estudio, se debe llevar a cabo un recorrido general tomando en cuenta lo siguiente:

Topografía. Observando y anotando, si se trata de terreno montañoso, lomerío fuerte o suave, o bien terreno plano.

Geología. Señalando cambios notables en las formaciones rocosas de los suelos.

Drenaje y Subdrenaje del camino y de la región que se considera que afecta al camino.

Sección. Se deberá tomar nota de las diferentes características geométricas de la sección incluyendo el ancho de corona, ancho de carpeta, ancho del acotamiento, altura máxima de cortes y terraplenes así como el número de carriles.

Ubicación de entronques, poblados y cualquier otro rasgo que pueda

definir subtramos.

Se sugiere efectuar el recorrido entre las 7:00 y 11:00 hrs. y entre las 16:00 y 19:00 hrs. ya que a esas horas los efectos del sol son menores.

La longitud de recorrido en la forma descrita, en un día no será mayor de 100 km.

Equipo requerido.

Conviene llevar al campo la información pertinente como se indicó en el capítulo I.1.1. además del siguiente equipo:

Vehículo equipado con torreta.

Cámara fotográfica.

Cinta métrica.

Cuaderno de notas.

#### I.1.5. Obtención de la Calificación del Servicio Actual (CSA).

El sistema para calificar las condiciones superficiales del pavimento, se basa en lo que se denomina Calificación de Servicio Actual (CSA).

Esto es un valor subjetivo que se obtiene utilizando un grupo de personas que recorren el tramo del pavimento para calificarlo, observando las condiciones del mismo, por lo que se refiere al servicio que pueda prestar al tránsito que lo está usando en ese momento, registrando además sus opiniones al respecto.

La CSA informa si la superficie del pavimento necesita mejorarse, no debiendo usarse por sí sola para el diseño de sobrecarpetas u otras mejoras.

Sin embargo es un medio útil para determinar si el camino es adecuado.

Un grupo de cinco personas, previamente instruidas sobre el

procedimiento para calificar y la finalidad de los datos que se obtengan, emiten y registran su opinión en formas como la mostrada en la figura 1.

La forma anterior contiene una escala numérica de 0 a 5 que representa las condiciones del pavimento desde muy malo hasta muy bueno. La experiencia nos dice que una CSA de 2.0 a 2.5 sea fijada como el valor que indica la necesidad de llevar a cabo un mejoramiento del camino.

Inmediatamente después de transitar sobre el tramo cada calificador deberá marcar en la escala su apreciación personal, sin cambiar impresiones con los demás y sin darle demasiada importancia por el momento al número exacto que quiera fijar en la escala, sino tomando en cuenta las divisiones mayores establecidas en ella y las palabras descriptivas que contiene, pudiendo después afinar la calificación. Posteriormente se deberá preguntar: ¿El pavimento es de calidad aceptable? Contestándose con un "sí", "no" o "indeciso", no debiendo estar influida esta contestación por la calificación que haya anotado finalmente.

Todas las calificaciones deberán registrarse una sola vez, sobre cada tramo del pavimento, transitándolo aproximadamente a la velocidad límite fijada para el mismo.

Los resultados obtenidos para cada tramo del pavimento deberán reportarse por separado, como sigue:

$$CSA = X/n$$

En donde CSA = Calificación de Servicio Actual.

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

n = Número de integrantes del grupo.

Aún cuando las calificaciones individuales varían ampliamente, el promedio de los cinco observadores es consistente y permitirá una estimación adecuada de la capacidad de servicio o condición superficial del pavimento en el momento de la evaluación.

Figura 1. CALIFICACION ACTUAL DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO

Estado \_\_\_\_\_ Hoja No. \_\_\_\_\_

CARRERA No. _____		NOMBRE _____																					
ORIGEN _____		FECHA _____		OBSERVADOR _____																			
ANTECEDENTES	CALIFICACION INICIAL																						
	SUPERFICIE DE RODAMIENTO	BH y CARPETA DE RIEGOS CONCRETO ASFALTICO																					
	AÑOS DE SERVICIO																						
KILOMETRAJE																							
SECCION No. _____																							
CALIFICACION ACTUAL DEL PAVIMENTO	EXCELENTE	5																					
	MUY BUENO	4																					
	BUENO	3																					
	REGULAR	2																					
	HALO	1																					
	MUY MALO INTRANSITABLE	0																					
PAVIMENTO ACCEPTABLE	SI																						
	NO																						
	DUDOSO																						
DESCRIPCION DAÑOS	NINGUNO. L = Ligero, F = Fuerte	N	L	F	N	L	F	N	L	F	N	L	F	N	L	F	N	L	F	N	L	F	
	DEFORMACION Longitudinal																						
	DEFORMACION Transversal																						
	GRIETAS																						
	BACHES Abiertas																						
BACHES Tapadas																							
ZONAS LLORADAS																							
DESPRENDIMIENTO SELLO																							
OBSERVACIONES: _____																							

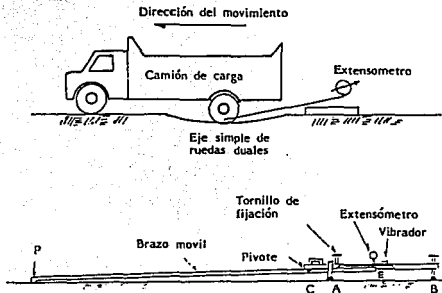
## I.2. Medición de las deficiencias superficiales.

Las deficiencias superficiales del pavimento pueden medirse por los siguientes medios:

### I.2.1. Viga Benkelman.

Este instrumento opera basado en el principio sencillo de un brazo de palanca. Una pieza larga de 2.44 mts. se inserta entre las ruedas Dual de un camión (11 x 22.5, 12 placas y presión de inflado de 70 psi). Este camión debe estar cargado con 8.2 ton. de carga de eje sencillo. Como el pavimento es presionado, una parte de la viga pivotea alrededor de un punto de rotación que se encuentra en la otra parte de la viga y que sirve de referencia; esta segunda parte de la viga descansa en el pavimento atrás de el área de influencia, es de 1.22 mts. de largo y cuenta con un extensómetro del tipo Ames, el cual registra deflexiones con aproximaciones de 0.001 pulg (0.0254 mm).

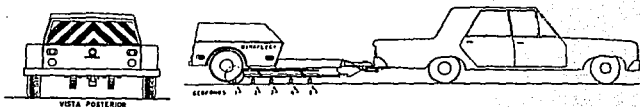
Este aparato tiene ventajas muy importantes, como simplicidad en la prueba, y rapidez de mediciones ya que se puede efectuar entre 300 y 400 en un día de trabajo, pero también tiene limitaciones, como por ejemplo nos da el valor de la deflexión total, solamente para los vehículos de prueba operando a velocidades pequeñas.



### 1.2.2. Dynaflect.

Este aparato es un sistema electromecánico que mide las deflexiones dinámicas que se producen en la superficie de un camino, por la aplicación de una fuerza oscilatoria.

El sistema consiste de un generador de la fuerza oscilatoria, junto con un instrumento móvil de medición, una unidad de calibración y una serie de cinco geófonos sensibles montados en un trailer pequeño. El trailer, en la posición de reposo ejerce una fuerza oscilatoria de 453.6 k (1000 lb) sobre la superficie del pavimento, mediante dos ruedas de prueba las cuales son de acero y están cubiertas de hule macizo. Las deflexiones así producidas son registradas por los geófonos y pueden leerse en el medidor que se encuentra en el vehículo remolcador.

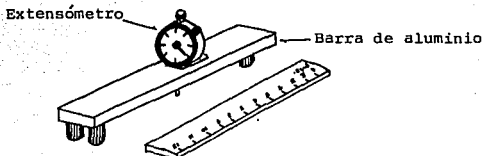


### 1.2.3. Curvímetro Dehlien.

Este instrumento consiste de una barra de aluminio de 13 mm de espesor, 38.1 mm de ancho y 33 cm de largo con soporte de 30.5 cm (1 pie) en las doce pulgadas centrales y un medidor de 0.0005 plg de aproximación y 0.05 plg de carrera, el cual está en el centro de la placa.

El aparato se coloca entre las ruedas Dual de un vehículo de prueba (cargado de la misma manera que el vehículo de prueba de la Viga Benkeiman y con las mismas características de las llantas del citado vehículo), pudiéndose efectuar la medición de la ordenada media de una curva, la que

tiene 12 plg de cuerda y con esto, también será posible el cálculo del radio de curvatura, estimándose una medida de la deflexión.



#### I.2.4. Análisis de los datos y selección de la sobrecarpeta.

Se compara el 80 percentil con el nivel de deflexión permisible determinado este último ( de acuerdo al procedimiento del capítulo V ) para el espesor del pavimento actual y el índice de tránsito de diseño (IT). Se debe de tener en cuenta que el límite máximo de deflexión permisible es de 0.040 pulg.

a) Si el 80 percentil calculado es menor que la deflexión permisible, no necesita ningún tratamiento o sobrecarpeta y será suficiente con un riego de sello o una capa delgada de concreto asfáltico, los cuales únicamente mejorarán la apariencia o sellarán las grietas del camino.

b) Si el 80 percentil es mayor que la deflexión permisible siganse los siguientes pasos:

b.1) Con los datos de la deflexión permisible y el 80 percentil de la deflexión encontrada en el camino se determina el porcentaje requerido de reducción de la deflexión empleando la siguiente fórmula:

$$PRD = \frac{80 \text{ percentil} - \text{deflexión permisible}}{80 \text{ percentil}} \times 100$$

PRD = Porcentaje de Reducción de la Deflexión.

b.2) Con el porcentaje de reducción requerido, se encuentra el espesor necesario de grava equivalente (GE); dicho espesor se puede estructurar de la manera más adecuada, utilizando los factores de conversión.

### I.3. Descripción de las fallas en carpeta.

Uno de los aspectos más importantes en la evaluación de un pavimento es la descripción del tipo de fallas presentes en la superficie de rodamiento, entendiéndose como falla, toda aquella condición que se presenta en el pavimento, que signifique una pérdida de las características de servicio para las que fue diseñado, pudiendo ser ella tanto de tipo estructural como funcional. Las fallas pueden tener su origen en el empleo de una mala calidad de materiales o bien en inadecuados procedimientos de construcción, cargas excesivas, ya sea en el número de repeticiones o en su intensidad, o ambas, presencia del agua en condiciones desfavorables, etc.... todos estos factores se ven más acentuados por una mala o insuficiente labor de mantenimiento.

La descripción precisa de los daños que existen en un pavimento es sin duda, uno de los factores que deben intervenir en la formulación de un diagnóstico, basado en la necesidad de un refuerzo, y en el proyecto y la selección de la técnica para dicho refuerzo.

Si bien es cierto que las fallas se pueden establecer por medio de ensayos y mediciones, no deja de ser cierto también que la inspección visual de un observador experimentado, sigue siendo indispensable.

Así mismo los resultados de dicha inspección visual deben transcribirse de una manera entendible en cuanto a subjetividad y la apreciación de magnitud del daño.



I.3.1. Función de las diferentes capas y descripción del proceso de las fallas.

Cada una de las capas de un pavimento desempeña un papel importante en la distribución de cargas ejercidas principalmente por el tránsito pesado.

Las capas superiores deben resistir el esfuerzo cortante y absorber los esfuerzos horizontales. La capa de base debe distribuir los esfuerzos verticales.

En el caso de pavimentos tradicionales con capas tratadas de poco espesor y en ocasiones mínimo ( riegos superficiales ) los materiales sin liga soportan la acción de cargas repetidas. El pavimento llega al final de su vida, ya sea cuando las deformaciones permanentes se vuelven excesivas ( por ejemplo volúmenes considerables de tránsito), o bien cuando hay variación brusca de las características físicas de las terracerías.

Por lo que se refiere a pavimentos con gruesas capas asfálticas, éstas desempeñan un papel distribuidor de esfuerzos. Están sometidas a esfuerzos de flexión, tanto más elevados cuanto que las cargas sean mayores y que las capas inferiores sean rígidas. Fallan esencialmente por deformación, sin fisuración de las carpetas o por fisuración cuando las capas inferiores están tan agrietadas que ya no pueden desempeñar su papel distribuidor o bien cuando se combinan estos dos fenómenos.

Al tratar de asociar las fallas a tal o cual tipo de estructura, resulta conveniente definir los pavimentos flexibles.

Pavimentos tradicionales son los pavimentos con capa de base hidráulica sin tratamiento. Están constituidos por una capa superficial (superficie de rodamiento) llamada carpeta asfáltica construida por el sistema de riegos o con mezcla asfáltica elaborada en el lugar o en la planta estacionaria sobre una capa de base y otra sub-base naturales, o sea sin tratamiento especial.

Pavimentos de gruesas capas asfálticas son los pavimentos cuya capa de

base a sido tratada con asfalto. El espesor total de las capas de base y carpeta es del orden de 20 cm.

Pavimentos semirígidos estos pavimentos tienen capa de base (y en ocasiones capas de base y sub-base) tratadas por medio de aglutinantes hidráulicos (cemento hidráulico). La capa superficial es una carpeta asfáltica que en ocasiones descansa, por interposición de una capa de liga también asfáltica, sobre la capa de base tratada hidráulicamente cuyo espesor estrictamente mínimo debe ser de 10 cm.

### I.3.2. Definición de las fallas (pavimentos flexibles).

Asentamiento.- Variación del nivel de sección.

Corrugación.- Prominencias que aparecen en la superficie del pavimento.

Escarapelado.- Separación de la película de asfalto que envuelve el material pétreo.

Huella de rodada.- Impresión en relieve localizada en la superficie de rodamiento.

Piel de cocodrilo.- Agrietamiento en forma reticular que se produce en las capas superficiales.

Fisuras o grietas.- Líneas de ruptura.

Ondulación.- Depresión de forma redondeada.

Pavimento liso.- Desgaste del pavimento, que lo vuelve liso y resvaloso.

Bache.- Cavidad de forma redondeada de bordes francos, creada en la superficie del pavimento por levantamiento del material.

Rodera.- Deformación longitudinal permanente que se origina bajo el paso de las ruedas.

Descostrado.- Desprendimiento total del resto del pavimento de la capa asfáltica.

Desgranamiento.- Desprendimiento de la gravilla de la carpeta.

Afloración de agua.- Aparición de una zona húmeda en la superficie del pavimento.

Llorado.- Zona más o menos localizada en la que aparece un exceso de

asfalto en la superficie.

### I.3.3. Probables causas de las fallas.

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

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

Cada factor, tiene un efecto preponderante pero temporal y aleatorio, conviene ser muy prudente en cuanto al valor de esta influencia. Al realizar un balance de estos factores en función de los diferentes tipos de falla no tenemos más que una aproximación del problema.

Causas de fallas de acuerdo a cuatro criterios:

#### I.3.3.1. Tránsito.

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

### 1.3.3.2. Condiciones climáticas y el medio ambiente.

Los parámetros que más influyen en el cuerpo del pavimento son la presencia de agua en mayor cantidad que la normal y los ciclos de hielo y deshielo en zonas frías.

La presencia de agua.

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

Por la superficie pavimentada: Basta entonces con proteger la superficie con un riego de sello.

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 cantidad de agua por unidad de tiempo, es el más frecuente y 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 en este caso el problema de la evacuación del agua es complejo y requiere casi siempre un estudio especial.

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 hielo), el agua que existe dentro del pavimento se transforma en cristales de hielo, hay una demanda de agua de las zonas no congeladas hacia las zonas congeladas. Durante el deshielo el contenido de agua del suelo es muy elevado dentro de un espesor muy variable. El tránsito pesado provoca entonces asentamientos más o menos importantes, produciendo deformaciones y grietas que hacen que el cuerpo del pavimento envejezca prematuramente.

#### I.3.3.3. La estructuración.

Se pueden producir fallas por insuficiencia en los espesores de las capas del pavimento. Otra razón puede ser por defectos constructivos aunque los materiales sean de buena calidad. Y una razón más es por fatiga que se produce por la continua repetición de las cargas del tránsito provocando degradación y pérdida de resistencia, así como deformación acumulada.

#### I.3.3.4. La calidad de los materiales y su colocación.

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

##### Materiales Inadecuados.

- Granulometría incorrecta.
- Porcentaje elevado de elementos redondeados.
- Insuficiente dureza de los agregados.
- Agregados Contaminados.

##### Fabricación Deficiente.

- Porcentaje incorrecto de asfalto o de finos.
- Mezcla deficiente.

##### Colocación que no satisface las condiciones requeridas.

- Insuficiente compactación.
- Excesiva compactación.
- Insuficiente temperatura de colocación.
- Segregación durante la colocación.

Es posible establecer una relación de algunas de las causas probables de fallas.

**Asentamientos.** - Diseño escaso de las capas inferiores.

Pavimento mal compactado en la orilla.

Asentamiento de capas inferiores.

Nivel demasiado elevado del manto freático.

Falta de drenaje y subdrenaje.

**Corrugación.** - Alto valor de flujo de la mezcla asfáltica.

Zona de desaceleración brusca.

Mezcla asfáltica con rebajados, excedida de residuo asfáltico (exceso de solventes).

**Escarapelado.** - Acción del agua.

Acción de la arcilla.

Falta de adherencia del material pétreo.

**Piel de cocodrilo.** - Fallas de las carpetas inferiores; disgregación.

Falta de adherencia de la carpeta con la base.

Fatiga en la estructura del pavimento.

**Agrietamientos o Fisuras.** - Junta de dos bandas de expansión.

Reinicio del trabajo con la terminadora.

Congelación del cuerpo del pavimento.

Pavimento no compactado en las orillas.

**Deformación.** - Insuficiente compacidad de la superficie de rodamiento.

Insuficiente compacidad de la base.

Falta de drenaje o subdrenaje.

**Pavimento liso.** - Pulido demasiado rápido de los agregados.

Agregados blandos como las calizas.

**Bache.** - Ruptura del asfalto bajo efecto mecánico.

Falta de drenaje.

Rodas.- Excesiva concentración de cargas bajo la acción de un tránsito pesado. Sobredosificación en la carpeta de asfalto y filler. Subdiseño de las capas inferiores del pavimento. Asfalto demasiado blando para la región o temperatura elevada dentro del material asfáltico.

## II. EVALUACION DE LAS CONDICIONES ESTRUCTURALES

Con la evaluación de la estructura del pavimento se pretende determinar si es adecuado en la actualidad y predecir su vida útil, con respecto al tránsito que lo utiliza. Cuando se encuentra que el pavimento es inadecuado, la evaluación sirve para diseñar las mejoras necesarias para que dé servicio durante un determinado período.

Las técnicas de evaluación caen dentro de dos categorías generales:

La primera.- Análisis de los componentes, utiliza la relación entre soporte de la capa subrasante, estructura del pavimento y cargas debidas al tránsito. Este procedimiento es semejante al empleado en el diseño de pavimentos nuevos excepto que deben estimarse la estructura y el espesor del pavimento existente, convirtiéndolos en espesores de concreto asfáltico ó grava equivalente.

La segunda.- Análisis por deflexiones, implica efectuar medidas de deflexión en el pavimento y hacer un estudio de esas deflexiones en función del tránsito. En algunos casos es conveniente utilizar los datos de los dos antes de tomar una decisión final.

### II.1. Forma de muestreo.

Si la inspección realizada indica la necesidad de hacer investigaciones a fondo y se toma la decisión de obtener muestras de la capa subrasante y del pavimento, o medir sus deflexiones, los lugares de prueba deben escogerse adecuadamente. Para hacer una evaluación correcta, el camino deberá dividirse en tramos de condiciones iguales ó semejantes, determinándose después en cada uno de ellos, los lugares donde es necesario tomar las muestras de la estructura del pavimento (ensayos destructivos).



### II.1.1. Muestreo Aleatorio.

Con esta técnica, los sitios de muestreo se seleccionan de tal modo que todos los lugares posibles dentro del tramo que se investiga, tienen las mismas probabilidades de ser escogidas. Los lugares así escogidos son al azar usando las tablas de números aleatorios.

Esta técnica nos puede reducir la cantidad de trabajo y el costo.

La tabla No. 1, contiene los números aleatorios para el procedimiento general de muestreo. Para usar esta tabla son necesarios los siguientes pasos:

1.- Se divide el camino en tramos cuyos límites queden definidos por cambios en las condiciones del pavimento.

2.- Se determina el número de lugares en cada tramo para tomar muestras, fijando la distancia longitudinal media máxima que debe haber entre muestras ( $\rho$  medidas de deflexión) y dividiendo la longitud del tramo entre esta distancia media.

3.- Escogeremos una columna de números aleatorios de la tabla No. 1, para la cual se colocan 28 pedazos de cartón numerados del 1 al 28 dentro de un recipiente, una vez dentro se revuelven los cartones numerados, se saca uno al azar el cual nos indicará la columna a utilizar.

4.- En la columna cuyo número se obtuvo en el paso 3, subcolumna A, localizar todos los números aleatorios iguales o menores que el correspondiente a la cantidad de lugares de muestreo (paso 2), para el tramo.

5.- Se multiplica la longitud total del tramo por los valores decimales de la subcolumna B, que se encuentran enfrente de los números localizados de la subcolumna A (paso 4). Sumar estos resultados o longitudes a la estación del principio del tramo y se obtendrán las estaciones de los lugares de muestreo.

6.- Se multiplica el ancho total del pavimento, en el tramo en estudio, por los valores decimales de la subcolumna C que se encuentran en el renglón de los números localizados de la subcolumna A (paso 4), para

Tabla No. 1. Números aleatorios para muestreo general.

Col. No. 1			Col. No. 2			Col. No. 3			Col. No. 4.			Col. No. 5			Col. No. 6			Col. No. 7		
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
15	.033	.576	05	.048	.879	21	.013	.220	18	.089	.716	17	.024	.863	30	.030	.901	12	.022	.386
21	.101	.300	17	.074	.156	30	.036	.853	10	.102	.330	24	.060	.032	21	.075	.198	18	.112	.234
23	.129	.916	18	.102	.191	10	.052	.746	14	.111	.925	26	.074	.639	10	.100	.161	20	.114	.843
30	.158	.434	06	.105	.257	25	.061	.954	28	.127	.840	07	.167	.512	29	.133	.383	03	.121	.658
24	.177	.397	28	.179	.447	29	.062	.507	24	.132	.271	23	.194	.776	24	.138	.062	13	.178	.640
11	.202	.271	26	.187	.844	18	.087	.887	19	.205	.899	03	.219	.166	20	.168	.564	22	.209	.421
16	.204	.012	04	.188	.482	24	.105	.849	01	.326	.037	29	.264	.284	22	.232	.953	16	.221	.314
08	.208	.418	02	.208	.577	07	.139	.159	30	.334	.938	11	.282	.262	14	.259	.217	29	.235	.356
19	.211	.798	03	.214	.402	01	.175	.641	22	.405	.295	14	.379	.994	01	.275	.195	28	.264	.941
29	.233	.070	07	.245	.080	23	.196	.873	05	.421	.282	13	.394	.405	06	.277	.475	11	.237	.190
07	.260	.073	15	.248	.831	26	.240	.981	13	.451	.212	06	.410	.157	02	.296	.497	02	.336	.922
17	.262	.308	29	.261	.087	14	.255	.374	02	.461	.023	15	.438	.700	26	.311	.144	15	.393	.488
25	.271	.180	30	.302	.883	06	.310	.043	06	.487	.539	22	.453	.635	05	.351	.141	19	.437	.615
06	.302	.672	21	.318	.088	11	.316	.653	08	.497	.396	21	.472	.824	17	.370	.811	24	.466	.773
01	.409	.406	11	.376	.936	13	.324	.585	25	.503	.893	05	.488	.118	09	.388	.484	14	.531	.014
13	.507	.693	14	.430	.814	12	.351	.275	15	.594	.603	04	.525	.222	04	.410	.073	09	.562	.673
02	.575	.654	27	.438	.676	20	.371	.535	27	.620	.894	12	.561	.980	25	.471	.530	06	.601	.675
18	.591	.318	08	.467	.205	08	.409	.495	21	.629	.841	08	.652	.508	18	.486	.779	10	.612	.859
20	.610	.821	09	.474	.138	16	.445	.740	17	.691	.583	18	.668	.271	15	.515	.867	26	.675	.112
12	.631	.597	10	.492	.474	03	.494	.919	09	.708	.689	30	.736	.634	23	.567	.798	23	.738	.770
27	.651	.281	13	.499	.892	27	.543	.387	07	.709	.012	02	.760	.253	11	.618	.502	21	.753	.614
04	.661	.953	19	.511	.520	17	.625	.171	11	.714	.049	23	.804	.140	28	.636	.148	30	.758	.851
22	.692	.089	23	.591	.770	02	.699	.073	23	.720	.695	25	.828	.425	27	.650	.741	27	.765	.563
05	.779	.346	20	.604	.730	19	.702	.934	03	.748	.413	10	.843	.627	16	.711	.508	07	.780	.534
09	.787	.173	24	.654	.330	22	.816	.602	20	.781	.603	16	.858	.849	19	.778	.812	04	.818	.187
10	.816	.837	12	.728	.523	04	.838	.166	26	.830	.304	04	.903	.327	07	.304	.675	17	.837	.353
14	.895	.631	16	.758	.344	15	.904	.116	04	.843	.002	09	.912	.382	08	.806	.852	05	.854	.813
26	.912	.376	01	.806	.134	28	.969	.742	12	.894	.582	27	.935	.182	18	.841	.414	01	.807	.100
28	.920	.163	22	.878	.854	09	.974	.046	29	.926	.700	20	.970	.582	12	.918	.114	08	.915	.508
03	.945	.140	25	.939	.162	05	.977	.494	16	.951	.601	19	.975	.327	03	.992	.399	25	.975	.584

(Continuación) Tabla No. 1. Números aleatorios para muestreo general.

Col. No. 8			Col. No. 9			Col. No. 10			Col. No. 11			Col. No. 12			Col. No. 13			Col. No. 14		
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
09	.042	.071	14	.061	.935	26	.038	.023	27	.074	.779	16	.073	.987	03	.033	.091	26	.035	.175
17	.141	.411	02	.065	.097	30	.066	.371	06	.084	.396	23	.078	.056	07	.047	.391	17	.089	.363
02	.143	.221	03	.094	.228	27	.073	.876	24	.090	.524	17	.096	.076	28	.064	.113	10	.149	.681
05	.162	.899	16	.122	.945	09	.095	.568	10	.133	.919	04	.153	.163	12	.066	.360	28	.238	.075
03	.285	.016	18	.158	.430	05	.180	.741	15	.187	.079	10	.254	.834	26	.076	.552	13	.244	.767
28	.291	.034	25	.194	.469	12	.200	.651	17	.227	.767	06	.284	.628	30	.087	.101	24	.262	.366
08	.369	.557	24	.224	.572	13	.259	.327	20	.236	.571	12	.305	.616	02	.127	.187	08	.264	.651
01	.436	.386	10	.225	.223	21	.264	.691	01	.245	.988	25	.319	.901	06	.144	.068	18	.285	.311
20	.450	.289	09	.233	.838	17	.283	.645	04	.317	.291	01	.320	.212	25	.202	.674	02	.340	.131
18	.455	.789	20	.290	.120	23	.363	.063	29	.350	.911	08	.416	.372	01	.247	.025	29	.353	.478
23	.488	.715	01	.297	.242	20	.364	.366	26	.380	.104	13	.432	.556	23	.253	.323	06	.359	.270
14	.496	.276	11	.337	.760	16	.395	.363	28	.425	.864	02	.489	.827	24	.320	.651	20	.367	.248
15	.503	.342	19	.389	.064	02	.423	.540	22	.487	.526	29	.503	.787	10	.328	.365	14	.392	.694
04	.515	.693	13	.411	.474	08	.432	.736	05	.532	.511	15	.518	.717	27	.338	.412	03	.408	.077
16	.532	.112	20	.447	.893	10	.476	.468	14	.564	.057	28	.574	.998	13	.356	.991	27	.440	.280
22	.557	.357	22	.478	.321	03	.508	.774	11	.572	.306	03	.542	.352	16	.401	.792	22	.461	.830
11	.559	.620	29	.481	.993	01	.601	.417	21	.584	.197	19	.585	.462	17	.423	.117	16	.527	.003
12	.650	.216	27	.562	.403	22	.687	.917	09	.607	.524	05	.695	.111	21	.481	.838	30	.531	.486
21	.672	.320	04	.566	.179	29	.697	.862	19	.650	.572	07	.733	.838	08	.560	.401	25	.678	.360
13	.709	.273	08	.603	.758	11	.701	.605	18	.664	.101	11	.744	.948	19	.564	.190	21	.725	.014
07	.745	.687	15	.632	.927	07	.728	.498	25	.674	.428	18	.793	.748	05	.571	.054	05	.797	.595
30	.780	.285	06	.707	.107	14	.745	.679	02	.697	.674	27	.802	.967	18	.587	.584	15	.801	.927
19	.845	.097	28	.737	.161	24	.819	.444	03	.767	.920	21	.826	.487	15	.604	.145	12	.836	.294
26	.846	.366	17	.846	.130	15	.840	.823	16	.809	.529	24	.835	.832	11	.641	.298	04	.854	.982
39	.861	.307	07	.874	.491	25	.863	.568	30	.838	.294	26	.855	.142	22	.672	.156	11	.884	.928
25	.906	.874	05	.880	.828	06	.878	.215	13	.845	.470	14	.861	.462	20	.674	.867	19	.886	.832
24	.919	.809	23	.931	.639	10	.930	.601	08	.855	.524	20	.874	.625	14	.762	.881	07	.929	.932
10	.932	.555	26	.960	.365	04	.954	.827	07	.867	.718	30	.929	.056	09	.774	.560	09	.932	.206
06	.961	.604	21	.978	.194	28	.963	.004	12	.881	.722	09	.935	.582	29	.921	.752	01	.970	.692
27	.869	.011	12	.982	.182	19	.783	.020	23	.927	.872	22	.947	.797	04	.959	.099	23	.973	.082

(Continuación) Tabla No. 1. Números aleatorios para muestreo general.

Col. No. 15			Col. No. 16			Col. No. 17			Col. No. 18			Col. No. 19			Col. No. 20			Col. No. 21		
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
16	.023	.979	19	.062	.588	13	.045	.004	25	.027	.290	12	.052	.075	20	.030	.881	01	.010	.946
14	.118	.485	25	.030	.218	18	.086	.878	06	.057	.571	30	.075	.493	12	.034	.221	10	.014	.939
32	.134	.172	09	.131	.295	26	.128	.990	26	.059	.026	28	.120	.341	22	.043	.870	09	.032	.346
21	.139	.230	18	.136	.351	12	.126	.661	07	.105	.176	27	.145	.689	28	.143	.073	06	.093	.180
16	.145	.122	05	.147	.864	30	.146	.337	18	.107	.358	02	.209	.957	03	.150	.937	15	.151	.012
10	.165	.520	12	.158	.305	05	.169	.470	22	.128	.827	26	.272	.818	04	.154	.867	16	.185	.455
06	.135	.401	28	.214	.184	21	.244	.433	23	.156	.440	22	.299	.317	19	.158	.359	07	.227	.277
09	.211	.316	14	.215	.757	23	.270	.849	15	.171	.157	18	.306	.475	29	.304	.615	02	.304	.400
14	.248	.343	13	.224	.846	25	.274	.407	08	.220	.097	20	.311	.653	06	.369	.633	30	.316	.074
25	.249	.890	15	.227	.809	10	.290	.925	20	.252	.066	15	.348	.156	18	.390	.536	18	.528	.799
13	.252	.577	11	.200	.898	01	.323	.490	04	.268	.576	16	.381	.710	17	.403	.392	20	.352	.288
30	.273	.088	01	.331	.925	24	.352	.291	14	.275	.302	01	.411	.607	23	.404	.182	26	.371	.216
16	.277	.689	10	.399	.992	15	.361	.155	11	.297	.589	13	.417	.715	01	.415	.457	19	.443	.754
22	.372	.958	30	.417	.787	29	.374	.882	01	.358	.305	21	.472	.484	07	.437	.696	13	.487	.598
10	.461	.075	08	.439	.921	08	.432	.139	09	.412	.089	04	.478	.885	24	.446	.546	12	.546	.640
28	.519	.536	20	.472	.484	04	.476	.266	16	.429	.834	25	.479	.080	26	.485	.768	24	.550	.038
17	.320	.090	24	.498	.712	22	.508	.880	10	.491	.203	11	.566	.104	15	.511	.313	03	.604	.730
03	.523	.519	04	.516	.396	27	.632	.191	28	.542	.306	10	.576	.659	10	.517	.290	22	.621	.930
26	.573	.502	03	.548	.688	16	.661	.836	12	.563	.091	29	.665	.397	30	.556	.853	21	.629	.154
19	.634	.206	23	.597	.508	19	.675	.629	02	.593	.321	19	.739	.298	25	.561	.837	11	.634	.908
24	.635	.810	21	.681	.114	14	.680	.890	30	.692	.198	14	.749	.759	09	.574	.599	05	.695	.459
21	.679	.841	02	.739	.298	20	.714	.508	19	.705	.445	08	.756	.919	13	.618	.762	23	.710	.073
27	.712	.366	29	.792	.038	06	.719	.441	24	.709	.717	07	.798	.183	11	.698	.783	29	.726	.535
05	.780	.497	22	.829	.324	09	.735	.040	13	.820	.739	23	.834	.647	14	.715	.179	17	.749	.916
23	.861	.106	17	.834	.647	17	.741	.906	05	.848	.866	06	.637	.978	16	.770	.128	04	.802	.186
12	.865	.377	16	.909	.608	11	.747	.205	27	.867	.633	03	.849	.964	08	.815	.365	14	.835	.319
29	.862	.635	06	.914	.420	20	.850	.047	03	.883	.333	24	.851	.109	05	.872	.490	08	.870	.546
08	.902	.020	27	.958	.856	02	.859	.356	17	.900	.443	05	.859	.935	21	.885	.999	28	.871	.539
04	.951	.482	26	.981	.976	07	.870	.612	21	.914	.483	17	.863	.220	02	.958	.177	25	.971	.369
02	.977	.172	07	.983	.624	03	.916	.463	29	.950	.753	09	.863	.147	27	.961	.980	27	.984	.252

(Continuación) Tabla No. 1. Números aleatorios para muestreo general.

Col. No. 22			Col. No. 23			Col. No. 24			Col. No. 25			Col. No. 26			Col. No. 27			Col. No. 28		
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
12	.051	.032	25	.051	.187	08	.015	.521	02	.039	.005	16	.026	.102	21	.050	.952	29	.042	.039
11	.068	.980	03	.053	.256	16	.068	.994	16	.061	.599	01	.033	.886	17	.085	.403	07	.105	.293
17	.089	.309	29	.100	.159	11	.118	.400	26	.068	.054	04	.088	.686	10	.141	.624	25	.115	.420
01	.091	.371	13	.102	.465	21	.124	.565	11	.073	.812	22	.090	.602	05	.154	.157	09	.126	.612
10	.100	.709	24	.110	.316	18	.153	.158	07	.123	.649	13	.114	.614	05	.164	.841	10	.205	.144
30	.121	.744	18	.114	.300	17	.190	.159	05	.126	.658	20	.136	.576	07	.197	.013	03	.210	.054
02	.166	.056	11	.123	.208	26	.192	.676	14	.161	.189	05	.138	.228	16	.215	.363	23	.234	.533
23	.179	.529	09	.138	.182	01	.237	.030	18	.166	.040	10	.216	.565	08	.222	.520	18	.266	.799
21	.187	.051	06	.194	.115	12	.283	.077	28	.248	.171	02	.233	.610	13	.269	.477	20	.305	.803
22	.205	.543	22	.234	.480	03	.286	.318	06	.255	.117	07	.278	.357	02	.288	.012	05	.372	.223
26	.230	.688	20	.274	.107	10	.317	.734	15	.261	.928	30	.405	.273	25	.333	.633	26	.285	.111
19	.243	.001	21	.331	.292	05	.337	.844	10	.301	.811	06	.421	.807	28	.348	.710	30	.422	.315
27	.267	.990	08	.346	.085	25	.441	.336	24	.363	.025	12	.426	.583	20	.362	.961	17	.453	.783
15	.283	.440	27	.382	.979	27	.469	.786	22	.378	.792	08	.471	.708	14	.511	.989	02	.460	.916
16	.352	.089	07	.387	.865	24	.473	.237	27	.379	.959	18	.473	.738	26	.540	.903	27	.461	.341
03	.377	.648	28	.411	.776	20	.475	.761	19	.420	.557	19	.510	.207	27	.587	.643	14	.483	.095
06	.397	.769	16	.444	.999	06	.557	.001	21	.467	.943	05	.512	.329	12	.603	.745	12	.507	.375
09	.409	.426	04	.515	.993	07	.610	.238	17	.494	.225	15	.640	.329	29	.619	.895	28	.509	.748
14	.465	.406	17	.518	.877	09	.617	.041	09	.620	.081	09	.665	.354	23	.623	.333	21	.583	.804
13	.499	.651	05	.339	.620	13	.641	.648	30	.623	.106	14	.680	.884	22	.624	.076	22	.587	.933
04	.539	.972	02	.623	.271	22	.664	.291	03	.625	.777	26	.703	.622	18	.670	.904	16	.639	.339
18	.560	.747	30	.637	.374	04	.668	.856	08	.651	.790	29	.739	.394	11	.711	.253	06	.727	.298
26	.575	.892	14	.714	.364	19	.717	.232	12	.715	.599	25	.759	.386	01	.790	.392	04	.731	.614
29	.756	.712	15	.730	.107	02	.776	.504	23	.782	.093	24	.803	.602	04	.813	.611	08	.807	.933
20	.760	.920	19	.771	.532	29	.777	.548	20	.810	.371	27	.842	.491	19	.843	.732	15	.833	.757
05	.847	.925	23	.780	.682	14	.823	.223	01	.841	.726	21	.870	.435	03	.844	.511	19	.396	.484
25	.872	.891	10	.924	.888	23	.848	.264	29	.862	.009	28	.906	.367	30	.858	.299	18	.916	.331
24	.874	.135	12	.929	.204	30	.892	.817	25	.891	.873	23	.948	.367	09	.929	.199	01	.948	.610
08	.911	.215	01	.937	.714	28	.943	.190	04	.917	.264	11	.956	.142	24	.931	.263	11	.978	.799
07	.946	.065	23	.974	.390	18	.975	.962	13	.958	.990	17	.993	.939	15	.939	.947	24	.970	.943

obtener la distancia transversal a partir de la orilla izquierda del pavimento donde deben tomarse las muestras correspondientes a cada estación de muestreo.

EJEMPLO.- Se tiene un pavimento asfáltico antiguo de 6.10 m de ancho y 5032.5 m de largo, de la estación 100+000 a estación 105+032.5 km. Una inspección de las condiciones estructurales muestra que un tramo de 1372.5m empezando en la estación 101+891 tiene agrietamiento generalizado del tipo "piel de cocodrilo". Los tramos de los extremos, presentan solamente pequeñas grietas superficiales.

1.- Para efectos de muestreo y tomando en cuenta las condiciones existentes, la longitud del pavimento puede dividirse en tres tramos, cuyos límites serán:

Tramo 1.- Est. 100 + 000 a Est. 101 + 891

Tramo 2.- Est. 101 + 891 a Est. 103 + 263.5

Tramo 3.- Est. 103 + 263.5 a Est. 105 + 032.5

2.- Se desea obtener muestras del suelo de la capa a intervalos de 450 m en promedio, con mínimo de tres muestras por tramo, en el caso de los tramos que están en mejores condiciones y a una distancia promedio de 300 m con un mínimo de 5 muestras en el caso del tramo malo.

El número de lugares de muestreo, en cada tramo será:

Tramo 1.-  $\frac{1891}{450} = 4.2 = 4$  lugares

Tramo 2.-  $\frac{1372.5}{300} = 4.6 = 5$  lugares

Tramo 3.-  $\frac{1769}{450} = 3.9 = 4$  lugares

3.- Los números sorteados para cada tramo, fueron 23, 16 y 15 respectivamente e identifican las columnas de números aleatorios de la tabla No. 1 que deben utilizarse en cada caso.

4.- Para el tramo 1, los números seleccionados de la columna 23 son:

COL. A	COL. B	COL. C
4	0.515	0.993
3	0.053	0.256
2	0.623	0.271
1	0.937	0.714

Para el tramo 2, los números seleccionados de la columna 16 son:

COL. A	COL. B	COL. C
5	0.147	0.864
4	0.516	0.396
3	0.548	0.688
2	0.739	0.298
1	0.331	0.925

Para el tramo 3, los números seleccionados de la columna 15 son:

COL. A	COL. B	COL. C
4	0.951	0.482
3	0.523	0.519
2	0.977	0.172
1	0.139	0.230

5.- Tramo 1: Longitud del tramo = 1891 m.

Longitud Tramo	x Col. B	= Distancia al origen del tramo	+ Estación origen	= Estación de muestreo
1891	0.515	973.86	100+000	100+973.86
1891	0.053	100.34	100+000	100+100.34
1891	0.623	1178.21	100+000	101+178.21
1891	0.937	1771.74	100+000	101+771.74

Tramo 2: Longitud del tramo = 1372.5 m

Longitud Tramo	x Col. B	= Distancia al origen del tramo	+ Estación origen	= Estación de muestreo
1372.5	0.147	201.91	101+891	102+091.91
1372.5	0.516	708.21	101+891	102+599.21
1372.5	0.548	752.13	101+891	102+643.13
1372.5	0.739	1014.43	101+891	102+905.43
1372.5	0.331	454.45	101+891	102+345.45

Tramo 3: Longitud del tramo = 1769 m.

Longitud Tramo	x Col. B	= Distancia al origen del tramo	+ Estación origen	= Estación de muestreo
1769	0.951	1682.38	103+263.5	104+945.88
1769	0.523	925.19	103+263.5	104+188.69
1769	0.977	1728.31	103+263.5	104+991.81
1769	0.139	245.89	103+263.5	103+509.39



6.- Tramo 1: Ancho total del pavimento = 6.10 m.

Ancho del pavimento x Col. C = Distancia transversal desde la  
orilla izquierda del pavimento (m)

6.10	0.993	6.05
6.10	0.256	1.56
6.10	0.271	1.65
6.10	0.714	4.35

Tramo 2: Ancho total del pavimento = 6.10 m.

Ancho del pavimento x Col. C = Distancia transversal desde la  
orilla izquierda del pavimento (m)

6.10	0.864	5.27
6.10	0.396	2.41
6.10	0.688	4.19
6.10	0.298	1.81
6.10	0.925	5.64

Tramo 3: Ancho total del pavimento = 6.10 m.

Ancho del pavimento x Col. C = Distancia transversal desde la  
orilla izquierda del pavimento (m)

6.10	0.482	2.94
6.10	0.519	3.16
6.10	0.172	1.05
6.10	0.230	1.40

### 7.- Lugares de muestreo:

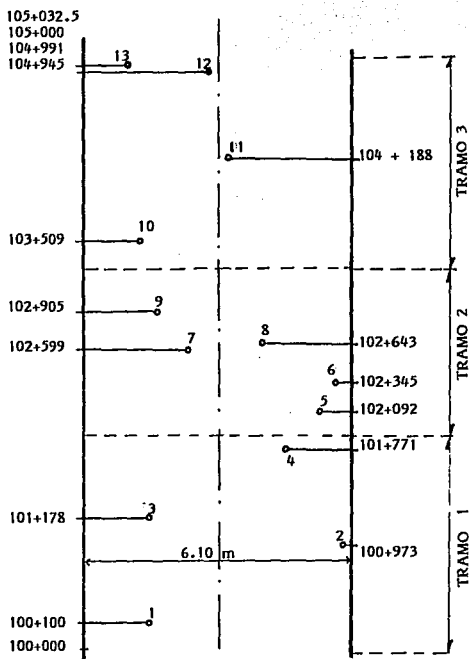
Tramo	Estación	Distancia transversal desde la orilla izquierda del pavimento (m)
1	100+100	1.56
	100+973	6.05
	101+178	1.65
	101+771	4.35
2	102+092	5.27
	102+345	5.64
	102+599	2.41
	102+643	4.19
	102+905	1.81
3	103+509	1.40
	104+188	3.16
	104+945	2.94
	104+991	1.05

En la figura 2.- Se ilustran esquemáticamente la ubicación de los lugares para la obtención de muestras y ejecución de las pruebas correspondientes.

### II.2. Determinación de la calidad de materiales.

Para diseñar correctamente el espesor de refuerzo que puede requerir el pavimento en servicio, es necesario conocer las condiciones de calidad y resistencia del material que forma la capa subrasante, así como también, las condiciones de calidad y espesores de las capas que forman el citado pavimento (sub-base, base y carpeta); esto último con el fin de determinar la forma como esas capas pueden ser tomadas en cuenta en el espesor del pavimento que en definitiva quedará proyectado.

Figura 2. Localización de sondeos y lugares de prueba.



Si se conocen los datos originales del diseño, de todas maneras es conveniente efectuar, aunque sea en menor proporción las muestras y las pruebas de laboratorio necesarias para que el proyectista este seguro de que no ha habido cambios en las condiciones de la capa subrasante durante la vida del camino. Esto le permitirá a la vez confirmar si los datos originales fueron correctos.

#### II.2.1. Estudios de campo.

Se realizaran pruebas de campo a fin de obtener los espesores y la calidad de los materiales de la estructura del pavimento y dependiendo de la información que se requiera se podrán realizar las siguientes exploraciones:

Calas.- Son pequeñas excavaciones que nos permiten conocer los espesores y el tipo de material que integran la carpeta, base y tal vez la capa subrasante, también podrá determinarse el contenido de agua y el peso volumétrico.

Pozos a cielo abierto.- Permite llegar hasta el terreno natural y determinar en cada una de las capas del pavimento el valor relativo de soporte en el lugar o bien ejecutar una prueba de placa; además, se puede determinar el peso volumétrico y contenido de agua en el lugar, así como obtener muestras representativas, para ensayos en el laboratorio. Pueden realizarse uno por cada tramo homogéneo. En los tramos problemáticos, deben hacerse como mínimo dos sondeos.

Trincheras.- Se realizan en casos especiales y consisten en excavaciones transversales al eje del camino que se utilizan para efectuar observaciones directas, hacer pruebas en el lugar y tomar muestras alteradas o inalteradas.

Tanto las pruebas de campo como las de laboratorio que se aplican para conocer las características de los materiales que integran la estructura

del pavimento, deberán cumplir con las normas de construcción de la SCT.

Fundamentalmente el VRS deberá determinarse en la terracería y en la capa subrasante de no ser posible se podrán obtener muestras "inalteradas" ó reproduciendo las condiciones de campo empleando muestras alteradas.

Finalmente con resultados estadísticos el resultado se elegirá en base al criterio del Ingeniero.

Análisis de Resultados.- Una vez obtenidos los resultados de espesores y calidades de los materiales que forman el pavimento se podrá concluir con las causas probables de fallas y detectar deficiencias estructurales.

II.2.2. A continuación mencionaremos algunas de las pruebas usuales en el diseño de pavimentos.

a) Prueba de placa.- Es una prueba de campo que mide la capacidad de carga de la subrasante, la capa de base y en ocasiones el pavimento completo.

La prueba consiste en cargar una placa circular, en contacto con el suelo por probar, midiendo las deformaciones finales correspondientes a los distintos incrementos de carga utilizados. La carga es aplicada con un gato hidráulico; las deflexiones son medidas, en 4 puntos (en forma de cruz), con extensómetros apoyados en dicha placa.

La presión normal que la placa transmite, para una deflexión dada corresponde a la siguiente ecuación:

$$\Gamma = n + m P/A$$

Donde:

$\Gamma$  = Es la presión normal transmitida por la placa.

n y m = Son coeficientes empíricos

obtenidos experimentalmente  
(se obtienen haciendo 2  
pruebas mínimo con la misma  
deflexión y presión):

$P/A$  = Relación entre perímetro y  
área de la placa.

Con esta prueba puede calcularse el módulo de reacción, que se define como la presión que ha de transmitirse a la placa para producirle al suelo una deflexión prefijada.

Este módulo depende de la humedad del suelo y se expresa:

$$K = P/A \text{ (presión/deformación).}$$

b) Prueba de VRS (valor relativo de soporte) ó CBR.

Esta prueba fue desarrollada por el departamento de carreteras del Estado de California.

El VRS se obtiene de una prueba de penetración, en la que un vástago de 19.4 cm<sup>2</sup> de área se hace penetrar en un espécimen de suelo a razón de 0.127 cm/min. se mide la carga aplicada para penetraciones que varían en 0.25 cm. El VRS del suelo se define como la relación, expresada como porcentaje, entre la presión necesaria para penetrar los primeros 0.25 cm y la presión requerida para tener la misma penetración en un material arbitrario, adoptado como patrón, que es una piedra triturada en la que se producen las presiones en el vástago.

Como ya se dijo la penetración que se usa para calcular el VRS es la de los primeros 0.25 cm como regla general, el VRS disminuye cuando la penetración en que se hace su cálculo es mayor, pero a veces si se calcula con la penetración de 0.5 cm resulta más grande que el obtenido de la primera penetración en tal caso se adopta como VRS el obtenido en la

segunda penetración (0.5 cm.).

Los factores que más afectan a los valores obtenidos en la prueba del VRS son la textura del suelo como su contenido de agua y su condición de compactación. Existe un VRS máximo, que corresponde a una humedad relativamente cercana a la óptima de compactación.

c) Pruebas triaxiales:

Se ha desarrollado un conjunto de pruebas, aplicadas a pavimentos para determinar las propiedades de las subrasantes y de las capas del pavimento, incluyendo carpetas.

c.1) Prueba Triaxial de Kansas.

Esta prueba mide el módulo de deformación de los suelos definido como la pendiente de la curva esfuerzo-deformación.

c.2) Prueba Triaxial de Texas.

Con esta prueba se obtienen las envolventes de resistencia de los suelos.

d) Estabilómetro de Hveem.

Este aparato permite realizar una prueba que mide el comportamiento mecánico de los materiales bajo combinaciones de esfuerzos en niveles inferiores a los de la falla.

Existen otros tipos de pruebas que nos sirven para aplicar el Método de Hveem del proyecto de espesores de pavimentos flexibles.

e) Presión de Exudación.

Consiste en medir el esfuerzo de compresión necesaria para el espécimen compactado con una cierta humedad expulse el agua de moldeo.

f) Presión de expansión.

Esta prueba mide la presión desarrollada, bajo ciertas condiciones, un espécimen de suelo a que se permite absorber agua libre. Constituye una condición de diseño de que el peso de pavimento ha de ser suficiente para neutralizar la presión de expansión y medida.

g) Valor de Cohesiómetro.

Este mide la resistencia a la tensión por flexión de un espécimen de suelo.

h) Límites de plasticidad.

Límite líquido (LL).- Es la frontera entre los Estados de consistencia semlíquido y plástico. La forma de obtenerse es con el contenido de agua que tiene un suelo arcilloso remoldeado y que en la copa de Casagrande necesita 25 golpes para cerrar 1/2" (1.27 cm.) una ranura de dimensiones ya establecidas, el contenido de agua obtenido será el límite líquido.

Límite plástico (LP).- Es la frontera entre los estados consistencia plástico y semisólido. Y es el contenido de agua con el que empieza a agrietarse un cilindro de 3 mm. de diámetro formado con la palma de la mano sobre un vidrio sin pulir.



Índice plástico (IP).- El índice de plasticidad representa el rango dentro del cual el suelo se comporta plásticamente. Y se obtiene con la diferencia del límite líquido y límite plástico:

$$IP = LL - LP$$

#### 1) Granulometría en los suelos.

Granulometría o análisis granulométrico es la división del suelo en diferentes fracciones, seleccionadas de acuerdo al tamaño de sus partículas, las distribuciones granulométricas nos proporcionan un criterio de clasificación.

La medición del tamaño de partículas puede hacerse de 3 maneras:

- 1.- Medición directa.- Cuando el tamaño de partículas es mayor de 3" (boleos y fragmentos de roca).
- 2.- Medición por medio de mallas.- Cuando el tamaño de partículas queda comprendido entre 3 a 0.074 mm.
- 3.- Medición con el hidrómetro.- Cuando el tamaño de partículas es menor de 0.074 mm.

Los suelos dependiendo de tamaño los podemos clasificar como sigue:

Suelos gruesos.- Son las gravas y arenas.

Gravas.- Son aquellos suelos cuyo tamaño de partículas es de 3" a 4.76 mm.

Arenas.- Partículas cuyo tamaño queda comprendido entre 4.76 y 0.074 mm.

Suelos finos.- Arcillas y limos cuyo tamaño de partículas es menor de 0.074 mm.

Clasificación de acuerdo a el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS):

GC = Grava arcillosa.  
GM = Grava con limo.  
GP = Grava mal graduada.  
GW = Grava bien graduada.  
GW-GM = Grava bien graduada con limo.  
GW-GC = Grava bien graduada con arcilla.  
GP-GM = Grava mal graduada con limo.  
GP-GC = Grava mal graduada con arcilla.  
SC = Arena arcillosa.  
SM = Arena limosa.  
SP = Arena mal graduada.  
SW = Arena bien graduada.  
SW-SM = Arena bien graduada con limo.  
SW-SC = Arena bien graduada con arcilla.  
SP-SM = Arena mal graduada con limo.  
SP-SC = Arena mal graduada con arcilla.  
CL = Arcilla de baja compresibilidad.  
CH = Arcilla de alta compresibilidad.  
ML = Limo de baja compresibilidad.  
MH = Limo de alta compresibilidad.  
OL = Arcilla o limo orgánico de baja compresibilidad.  
OH = Arcilla o limo orgánico de alta compresibilidad.  
Pt = Turba.

j) Compactación en los suelos.

Se llama compactación de los suelos al proceso mecánico por el cual se busca mejorar el comportamiento mecánico adecuado durante la vida útil del

camino. Y se mejoran sus características en cuanto a: resistencia, compresibilidad, esfuerzo - deformación, flexibilidad y resistencia a la erosión. Con este proceso también se aumenta el peso volumétrico.

En el Laboratorio resulta bastante fácil clasificar los métodos de compactación en uso en cuatro tipos: por impacto, amasado, aplicación de carga estática y vibración.

Es difícil hacer comparaciones entre cada método a igual energía de compactación debido a causas imponderables que influyen en la eficiencia del proceso de compactación.

El contenido de agua es una variable muy importante se ha observado que al ir incrementando el contenido de agua y a partir de cantidades mínimas el peso específico aumenta y a cierto incremento de humedad el peso específico disminuye y también su resistencia podemos decir que existe un valor de humedad para el cual se obtiene el máximo peso específico, a esa humedad se le denomina humedad óptima de compactación.

k) Grado de compactación.- Se le llama grado de compactación a un suelo compactado en la obra a la relación en porcentaje entre el peso volumétrico seco obtenido en el campo y el máximo correspondiente a la prueba de laboratorio.

$$G_c (\%) = \frac{\% \text{ campo}}{\% \text{ laboratorio máx.}} \times 100$$

1) Equivalente de arena.- Esta prueba nos indica la presencia o ausencia de materiales finos o de apariencia arcillosa, que sean perjudiciales para los suelos y para los agregados pétreos. Esta prueba se lleva a cabo en materiales que pasan la malla No.4 y generalmente se lleva a cabo para las capas de sub-base, base y carpeta asfáltica.

Procedimiento de prueba.- Se toma una fracción de materiales que pasan

la malla No.4, el material se coloca en una probeta con una solución compuesta con glicerina, agua destilada y cloruro de calcio y se agita horizontalmente. Se deja reposar por 20 min. y al finalizar se tendrá un perfil estratigráfico donde las arenas quedarán en la parte inferior y las arcillas en la parte superior. Se lee la lectura por medio de un pisón de lodo de 1000 grs. en el nivel superior de la arena; también se lee la lectura en el nivel superior de la arcilla.

$$\text{Equivalente de arena (EA)} = \frac{\text{Lectura del nivel superior de arena}}{\text{Lectura del nivel superior de la arcilla}} \times 100$$

### II.3. Análisis de los componentes de las distintas capas del pavimento y de la capa subrasante.

La resistencia de los materiales que forman los pavimentos interesa desde dos puntos de vista:

1.- En cuanto a la capacidad de carga que pueden desarrollar las capas constituyentes del pavimento para soportar adecuadamente las cargas del tránsito.

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

Una subrasante resistente será capaz de tolerar niveles de esfuerzos relativamente altos, permitiendo usar sobre ella espesores reducidos sin comprometer la estabilidad general, lo que conducirá a importantes ahorros en la inversión, ya que debe repetirse, los costos de las diferentes capas de un pavimento flexible crecen en general según éstas estén más cerca de la superficie.

Con respecto a la deformación, dada la naturaleza de los materiales

que forman las capas del pavimento, la deformabilidad suele crecer mucho hacia abajo y la terracería es mucho más deformable que el pavimento propiamente dicho y dentro de éste, la subrasante, capa inferior, es mucho más deformable que las capas superiores. Desde este punto de vista la deformabilidad interesa sobre todo a niveles relativamente profundos pues es relativamente fácil que las capas superiores tengan niveles de deformación tolerables aún para los altos esfuerzos que en ellas actúan.

Las cargas del tránsito producen en el pavimento deformaciones de varias clases. Las elásticas son de recuperación instantánea y suelen denominarse plásticas dentro de la tecnología, a aquellas que permanecen en el pavimento después de cesar la causa deformadora. Bajo carga móvil y repetida, la deformación plástica tiende a hacerse acumulativa y puede llegar a alcanzar valores inadmisibles. Paradójicamente, este proceso suele ir acompañado de una densificación de los materiales, de manera que el pavimento fallado puede ser más resistente que el original.

La deformación elástica repetida preocupa sobre todo en los materiales con resistencia a la tensión, colocadas en la parte superior de la estructura, en los que puede llegar a generar falla por fatiga si el monto de la deformación es importante y los materiales son susceptibles.

La deformabilidad es un punto básico a considerar en el diseño de pavimentos flexibles y se debe de tomar en cuenta en niveles tolerables. Este problema debe considerarse en dos fases:

Primero.- La estimación de las deformaciones elásticas, que es posible hacer con razonable precisión una vez conocidos los materiales que constituirán el pavimento, obteniendo su módulo de deformación por medio de alguna de las diversas pruebas de campo que hoy existen y que pueden realizarse sobre terraplenes de prueba en las condiciones consideradas críticas estas pruebas pueden ser de placa, con un deformómetro tipo Benkelman, con un aparato dinámico tipo Dynaflect ó con deformómetros sónicos, eléctricos, etc. Algunas Instituciones realizan correlaciones con el clima, tránsito y naturaleza de los materiales.

La segunda base del problema de medición de deformaciones se refiere a las plásticas, efecto acumulativo de la carga repetida. Este aspecto se ha atacado con criterios puramente empíricos cuyo aprovechamiento por los métodos de diseño requiere de extrapolaciones experimentales sometidas de estudios estadísticos en tramos experimentales sometidos a la acción de tránsito real o clasificado con una carga considerada como estándar correlacionando su efecto destructivo con el que producirían las cargas reales. Una vez fijada el tránsito "de análisis", se fija una deformación permanente máxima y el pavimento se diseña de manera que ésta se presente únicamente al fin de la vida útil prevista.

Existen dos criterios para fijar la deformación máxima permisible: o bien se hablo de la que produce la falla del camino, entendiéndose por ésta la condición en la que el pavimento llega a perder las características de servicio para las que fue diseñado.

O bien se toma en cuenta la deformación que obligue a una reconstrucción de determinada importancia económica.

#### Análisis de las capas del pavimento.

Actualmente se siguen utilizando las normas de la SCT para diseño de pavimentos, también existen las normas del SIMAP (Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos). Las cuales son más estrictas de acuerdo a las condiciones actuales, ambas se utilizan de manera complementaria, aunque las normas del SIMAP aún están en proceso de su aprobación (Tabla 2).

a) Terracerías.- Bajo la subrasante aparece el material de la terracería, tratado mecánicamente por lo menos en lo que se refiere a compactación.

Se considera que la resistencia de los suelos al esfuerzo cortante no es un requisito fundamental en las terracerías; debido a que los esfuerzos que llegan a ellas a través del pavimento, quedan siempre por debajo de la

capacidad de carga a la falla de cualquier material de terracería.

Respecto a la deformabilidad podemos decir que es un requisito para la aceptación o rechazo de una terracería ya que debe funcionar como un buen soporte del pavimento. La calidad de los materiales es importante sobre todo en aquellos que tienen abundancia en fragmentos grandes y medianos éstos son muy deformables por falta de un buen acomodo, obteniendo una mala compactación.

Deben eliminarse materiales tales como MH, OH y CH, en cuerpos de terraplén cuando su límite líquido sea mayor de 100%. Es difícil precisar estas consideraciones ya que un suelo puede comportarse de diferentes maneras dependiendo del clima, drenaje, subdrenaje, topografía, geometría, etc.

Aunque en México parece que, una vez construido un camino, se alcanza al cabo de algún tiempo una condición de equilibrio independiente de los cambios estacionales topografía y geología de la zona.

Deben conocerse todo un conjunto de consideraciones para saber en que condiciones se encontrará la vialidad dentro de esa zona y sobre todo en el agua contenida en la subrasante, al variar el nivel de aguas freáticas.

b) Subrasantes.- Esta capa se dispone casi universalmente bajo la sub-base, con menos requisitos de calidad que ésta, pero cuyo papel en la estabilidad del conjunto terracería-pavimento es fundamental. De hecho se debe buscar la conveniencia de tener un material de terracería cuidadosamente compactado, sin variación brusca respecto a la calidad y condición de la subrasante. En muchos casos las subrasantes espesas tienen un comportamiento mejor, ante una saturación.

Es muy claro que la subrasante juega un papel importante desde un punto de vista mecánico y como función estructural, pero podría mencionarse una consideración de orden económico ya que si se cuenta con un suficiente espesor y calidad permite, tener importantes ahorros en espesores de pavimentos suprayacentes sin perjuicio de la función estructural conjunta,

pues será capaz de absorber niveles de esfuerzo relativamente altos provenientes de la superficie y transmitirlos disminuidos a las terracerías.

En muchas ocasiones la subrasante se construye con el mismo material de terracería, cuando éste es suficientemente bueno y se le da un tratamiento de compactación, pero si no lo es, se buscará un material de mejor calidad de un Banco apropiado.

Podemos considerar espesores mínimos de 30 cm y 50 cm para caminos de alto tránsito, o donde el material no sea de confiar y en aeropistas, aunque en éstas todavía puede aumentarse. No debe tener partículas mayores de 3" (7.6 cm), eliminar suelos finos (MH, CH) cuyo límite líquido sea mayor de 100% y todos los suelos orgánicos con límite líquido mayor de 50% (OH).

El grado de compactación mínimo de 95% Proctor y un valor relativo de soporte mínimo de 5%, con el material en condición saturada en aeropistas, se pide un grado de compactación de 100% Proctor y se prohíbe en términos generales el uso de cualquier material MH, CH u OH.

Todo lo anterior se presenta como norma de criterio, más que como regla rígida, ya que influyen muchos factores circunstanciales en el comportamiento del material sin olvidar el tránsito y las condiciones de subdrenaje.



c) Sub-base.- Para muchos, la principal función de la sub-base de un pavimento flexible es de carácter económico. Se trata de formar el espesor requerido del pavimento con el material más barato posible. Todo el espesor podría construirse con un material de alta calidad, como el usado en la base, pero se prefiere hacer aquella más delgada y sustituirla en parte por una capa de menor calidad, aunque de espesor más alto ya que al disminuir la calidad tendrá que ser mayor el espesor necesario para soportar al transmitir los esfuerzos.

Funciona como elemento de transición entre el material de la base generalmente granular y grueso y el de la subrasante que tiende a ser mucho más fino. La sub-base actúa como filtro de la base e impide su incrustación en la subrasante.

Se coloca para absorber deformaciones perjudiciales en la subrasante; por ejemplo cambios volumétricos asociados a cambios de humedad, que podrían llegar a reflejarse en la superficie del pavimento.

Otra función de la sub-base es actuar como dren para desalojar el agua desde arriba y para impedir la ascensión capilar hacia la base, de agua procedente de la terracería.

De todas las funciones anteriores, la estructural y la económica existen seguramente en todas las sub-bases que se proyectan; las otras dependen un tanto de las circunstancias del caso y de la calidad del material que se utilice en la propia sub-base.

La curva granulométrica del material que se emplee en una sub-base debe estar comprendida en las zonas 1, 2 ó 3 (Fig.3), y debe tener forma semejante a los trazos que marcan esas zonas, sin cambios bruscos de curvatura. La relación del porcentaje, en peso, que pase la malla No. 200 al que pase la malla No. 40 no deberá exceder de 0.65. El tamaño máximo del material será de (2"). El equivalente de arena será 20% como mínimo, el valor relativo de soporte será de 50% mínimo en condición saturada. El grado de compactación será de 95% mínimo, Porter.

Existen una serie de posibilidades de estabilizar los materiales con productos asfálticos, cemento o cal, en aquellos suelos que no cumplan los requisitos básicos, en cuanto a plasticidad.

Estos requisitos son también una norma de criterio. En un material de sub-base básicamente conviene buscar dos cualidades la resistencia friccionante y la capacidad drenante.

La primera beneficiará la resistencia del conjunto y a la vez, será garantía de buen comportamiento en cuanto a deformabilidad a condición de que este bien compactado.

Los espesores mínimos constructivos serán de 12 a 15 cm.

d) Base.- Esta capa se encuentra colocada bajo la carpeta cuya función es un tanto económica ya que permite disminuir el espesor de la carpeta más costosa, pero la principal función que desarrolla en un pavimento flexible es estructural ya que debe resistir las cargas del tránsito y transmitir los esfuerzos con intensidades adecuadas. También tiene una función drenante debe ser capaz de eliminar el agua que se infiltra por la carpeta así como impedir la ascensión capilar de niveles inferiores.

El material con el cual se construye la base debe ser un material friccionante y suficientemente provisto de vacíos: La primera cualidad garantizará la resistencia estructural adecuada, así como la permanencia de dicha resistencia al variar condiciones circunstanciales, como por ejemplo el contenido de agua. También debemos considerar tratamientos adecuados para obtener una capa de base con una buena compactación y trabazón de los materiales esto se logra con trituración y cribado del material, beneficiando en la resistencia y deformabilidad así como también al contar con una granulometría prefijada se adquiere mayor compacidad en los procesos de compactación y es benéfica desde el punto de vista de los procesos de ruptura de granos. Los finos son siempre indeseables en una base, pues afectan desfavorablemente la resistencia, aumentan la deformabilidad y perjudican la función drenante, perjudican mucho más mientras sean más arcillosos y más activos, desde el punto de vista de la

plasticidad.

Las curvas granulométricas deben caer en la zona 1 ó 2 (Fig. 3) que tenga forma parecida a las fronteras, sin cambios bruscos de curvatura y la relación del peso que pasa la malla No. 200 al que pase la malla No. 40 no sea mayor de 0.65.

El tamaño máximo del agregado pétreo debe ser 2" (51 mm) en materiales naturales que no requieran tratamiento y 1 1/2" (38 mm) en materiales que han de cribarse o triturarse.

El límite líquido debe ser 30% como máximo, el equivalente de arena 30, como mínimo, en caminos con menos de 1000 vehículos pesados al día y 50 en carreteras con un tránsito más intenso; en aeropistas, el equivalente de arena mínimo es 50, para operaciones de aviones comerciales.

El valor relativo de soporte se fija como mínimo en 80% para carreteras de menos de 1000 vehículos pesados al día, en 100% para carreteras con más de 1000 de vehículos pesados al día y también para aeropistas para vuelos comerciales.

El grado de compactación es de 95% pero es práctica común llegar a un 100% Porter.

El espesor mínimo constructivo es de 12 a 15 cm.

Es común aceptar dentro de la granulometría de las bases ciertas cantidades de finos menores que la malla No. 200. Al operar en las zonas 1 y 2, se ve la exigencia de un 5% de material fino, como mínimo y valores en el orden de 18 ó 20% como máximo práctico. Desde luego se podría decir que cantidades de finos superiores a esos límites máximos podrían conducir al empleo de un material peligroso en casi cualquier caso, razón por la cual no se utiliza la zona 3. En muchos casos se debe buscar la conveniencia o no conveniencia de que la base de un pavimento flexible contenga determinadas cantidades de materiales finos, abajo de la malla No. 200, de la calidad e inconvenientes que se tengan que presentar.

Como ya se ha señalado los finos afectan la resistencia de tipo friccionante, la deformabilidad y la capacidad drenante. Desde este punto de vista, la base debería estar formada por materiales friccionantes puros, sin finos.

Sin embargo estos materiales naturales o triturados, al ser compactados formando la base, pierden su compactación rápidamente en la zona superior y las partículas quedan sin ninguna resistencia al desplazamiento lateral. En muchos casos como éstos se incrementan ciertos porcentajes de material fino para hacer más trabajable y de superficie más estable, cuando esto está expuesto.

En carreteras de alto tránsito sobre la que se colocará una carpeta muy espesa, los inconvenientes anteriores se superan al compactar la primera capa de la carpeta ya que reacomodará en lo necesario la parte superior de la base, a la que también puede defenderse con un riego de impregnación o con algún otro método similar. Podemos decir que en estas carreteras se presentan las condiciones adecuadas para poder manejar bases sin finos o con porcentajes mínimos, seguramente los valores máximos no serán mayores de 5% sin afectar los requerimientos de resistencia y deformabilidad.

En caminos de muy bajo tránsito ahora se utilizará una carpeta mínima quizá construida por el sistema de un riego, que no alcanzaría a dar el confinamiento necesario para mantener la resistencia en una base puramente granular. La incorporación de finos es ahora un problema de estabilización mecánica, con lo que se busca dar una resistencia cohesiva sin perjudicar demasiado las características de resistencia, deformabilidad e hidráulica. La cantidad que haya que admitirse en cada caso particular, dependerá de la calidad de los finos y de las condiciones ambientales a las que vaya a quedar sujeto el camino en cuestión.

Por la importancia del camino no se contará con un drenaje y subdrenaje adecuado. Sin duda nunca será aconsejable la presencia de fracciones excesivamente activas.

En muchas ocasiones cuando los materiales no garanticen una calidad confiable se puede pensar en una estabilización con cal, asfalto o cemento, aunque resultan más costosos en su elaboración, podrán manejarse en menores espesores.

Cuando se tienen carreteras con tránsito medio se cuenta con una carpeta del orden de 5 cm y por razones de trabajabilidad y conservación demandan alguna cohesión en la capa. Considerando las características de la base podemos pensar que los valores prudentes de finos son del orden de un 8 a un 10% debiendo ser un material inerte y de poca plasticidad en presencia de agua.

Debemos considerar las condiciones ambientales, las normas de drenaje y subdrenaje que se utilicen, aportación de agua capilar y la propia granulometría del material grueso, pues si ésta deja relativamente pocos huecos un porcentaje menor de finos puede perjudicar mucho.

Es bien cierto que algunos porcentajes de finos empleados en el criterio de una estabilización permiten ahorros y diseños razonables, pero también el abuso es una de las causas más seguras de fallas futuras en la vida del pavimento.

e) Carpeta Asfáltica.- Es la parte superior de la estructura de un camino o aeropista, que sirve como superficie de rodamiento, cuya función es transmitir a las capas inferiores del pavimento, los esfuerzos de las cargas impuestas por el tránsito de vehículos.

Algunas características que deben reunir los pavimentos son:

- 1.- Tener resistencia necesaria para que las cargas que se apliquen no provoquen agrietamientos ni deformaciones perjudiciales.
- 2.- No deberá desintegrarse por efecto del tránsito.
- 3.- Debe ser prácticamente impermeable y presentar una superficie uniforme de textura, ligeramente áspera para evitar derrapamientos.
- 4.- Tener la superficie flexibilidad para no sufrir agrietamientos por las deformaciones normales de las capas inferiores.

Las carpetas asfálticas, están constituidas por dos elementos:

- 1.- Material pétreo.
- 2.- Ligante asfáltico.

El primero proporciona la estabilidad de la carpeta.

El segundo es el ligante asfáltico que sirve únicamente como material cementante, para mantener unidas las partículas de material pétreo.

Las carpetas asfálticas se clasifican en dos grupos:

- 1.- Carpetas de riego o tratamientos superficiales.
- 2.- Carpetas de mezclas asfálticas que a su vez pueden ser elaboradas en frío con emulsión asfáltica, ó asfaltos rebajados y mezclas elaboradas en caliente con cemento asfáltico.

La capa de rodamiento se debe construir con suficiente espesor y calidad de tal manera que los esfuerzos transmitidos a las capas inferiores sean compatibles con la calidad de éstas. En ocasiones debido a la rigidez de la carpeta y a la flexibilidad de las capas hidráulicas, se presentan fisuras y posteriormente grietas, al actuar cargas de tránsito pesado. El estado de estas capas puede ser bastante bueno hasta que se infiltra agua entre las capas provocando la falla total del pavimento.

Según la reología de los materiales, se crea por la diferencia de módulos entre las capas siendo más alto en la de concreto asfáltico.

Una solución sería combinar las rigideces de las capas.

La rigidez de una carpeta depende de su espesor y por otro lado del más alto módulo dinámico de la mezcla compactada; aumenta al aumentar la densidad del pétreo y disminuir la película de asfalto de envoltura, condición esta última que también hace más susceptible a las mezclas al efecto del agua.

Se podría utilizar carpetas con un espesor relativamente bajo y conseguir más flexibilidad, pero conservando su resistencia al flujo plástico y haciéndola menos vulnerable al agua. Utilizando graduaciones menos densas y un contenido algo mayor de asfalto, considerando tolerancias y relación de vacíos del agregado se podrá usar también fibras o asfaltos más duros o aditivos.

Por ventajas en aspectos de estabilidad, impermeabilidad así como coeficiente de fricción, se usan carpetas con agregado máximo de (3/4"), la curva granulométrica debe estar alojada en la zona 1 siguiendo la forma de sus fronteras. Fig. 4.

Tabla No.2 RESUMEN DE NORMAS S.C.T. Y DEL SIMAP  
EN CUANTO A CALIDAD DE MATERIALES

C A P A	NORMAS S.C.T. (VIGENTES)		S. I. M. A. P.*		
	Características	Valor	Deseable	Adecuada	Tolerable
CUERPO DE TERRAPLEN	TAMANO MAXIMO (mm)		---	1500	2000
	Σ<MALLA No. 200	No hay límite	30 Máx.	40 Máx.	40Máx.
	I P (Z)	----	12 Máx.	20 Máx.	25Máx.
	LL (Z)	<100	40 Máx.	50 Máx.	60Máx.
	COMPACTACION (Σ)	90 Min.	AASHTO EST. 95 Min.	90 Min. AASHTO EST.	90 Min. AASHTO EST.
	VRS (Z)	>10	15 Min.	10 Min.	10 Min.
	EXPANSION	<3	---	---	3 Máx.
SUBRASANTE	TAMANO MAX. (mm)	76	76	76	76
	Σ<MALLA No.200	No hay límite	25 Máx.	35 Máx.	40 Máx.
	I P (Z)	----	10 Máx.	20 Máx.	25 Máx.
	LL (Z)	<100	30 Máx.	40 Máx.	50 Máx.
	COMPACTACION (Σ)	95 Min.	100 Min.	100 Min.	100 Min.
	VRS (Z)	>10	AASHTO EST. 20 Min.	AASHTO EST. 15 Min.	AASHTO EST. 15 Min.
	EXPANSION (Σ)	<3	---	---	---
SUBBASE	TAMANO MAXIMO (mm)	51	76	76	
	Σ<MALLA No. 200	25 Máx.	15 Máx.	20 Máx.	
	ZONA GRANULOMETRICA	1 y 3	1 - 2	1 a 3	
	IP (Z)	---	10 Máx.	12 Máx.	
	LL (Z)	---	25 Máx.	30 Máx.	
	E.A. (Z)	20 Min.	40 Min.	30 Min.	
	COMPACTACION (Σ)	95 Min.	100 Min. AASHTO MOD.	100 Min. AASHTO MOD.	
	VRS (Z)	50 Min.	40 Min.	30 Min.	
B A S E HIDRAULICA	TAMANO MAX. (mm)	50	50	50	
	Σ<MALLA No. 200	25 Máx.	10 Máx.	15 Máx.	
	ZONA GRANULOMETRICA	1 y 3	1 y 2	1 y 2	
	IP (Z)	---	6 Máx.	6 Máx.	
	LL (Z)	30 Máx.	25 Máx.	30 Máx.	
	E.A. (Z)	50 Min.	50 Min.	40 Min.	
	COMPACTACION (Σ)	100 Min.	100 Min. AASHTO MOD.	100 Min. AASHTO MOD.	
	VRS (Z)	100 Min.	100 Min.	80 Min.	
CARPETA	TAMANO MAX. (mm)	RETENIDO EN M. 4	25	25	
	Σ<MALLA No. 200	8 Máx.	4 Máx.	8 Máx.	
	IP (Z)	---	0	5 Máx.	
	LL (Z)	---	---	---	
	E.A. (Z)	55 Min.	60 Min.	55 Min.	
	DESGASTE DE LOS ANGELES	40 Máx.	30 Máx.	40 Máx.	
	PARTICULAS ALARGADAS Y EN FORMA DE LAJA (Z)	35 Máx.	25 Máx.	50 Máx.	
	ZONA GRANULOMETRICA	ENTRE LAS DOS CURVAS.			

NOTA: La zona granulometrica para subbase y base se refiere a la figura 3; Figura 4. Referida a Carpeta.

\* En proceso su aprobación.



### ZONAS DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS

Abertura en milímetros

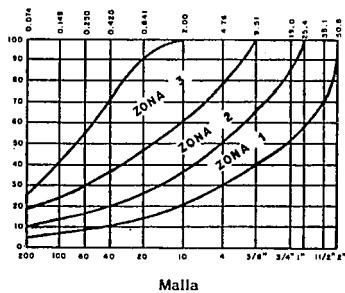


Figura 3. Sub-base y base.

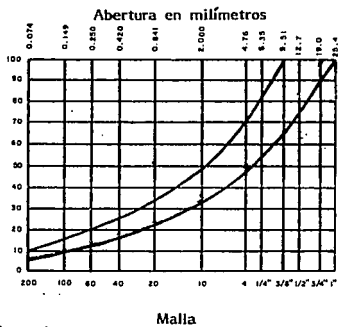
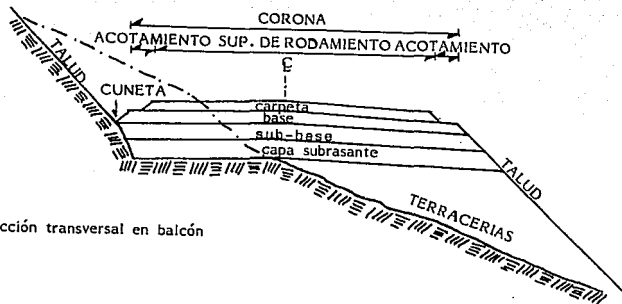
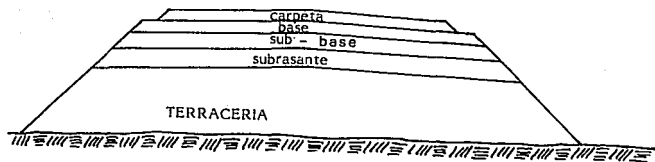


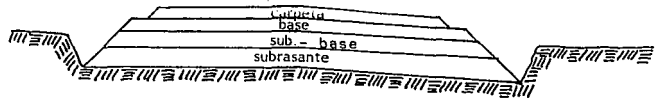
Figura 4. Carpeta.



Sección transversal en balcón



Sección de un pavimento flexible en terraplen



Sección en cajón

Figura 5. Estructuras típicas de pavimentos flexibles.

### III. DETERMINACION DEL ESPESOR EFECTIVO.

En este capítulo se describen los procedimientos del Instituto del Asfalto y el Instituto de Ingeniería de la UNAM, a fin de utilizar los resultados del análisis de tránsito de ejes equivalentes acumulados, en la evaluación estructural de los pavimentos. Cualquier Método empleado es adecuado pero, por condiciones típicas de nuestro País nos inclinamos por el Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

#### III.1. Método del Instituto Norteamericano del Asfalto.

Los componentes estructurales de un pavimento, se evalúan de manera que pueda asignárseles un Espesor Efectivo representativo, que se usará en determinar si dicho pavimento es adecuado.

El Espesor Efectivo ( $T_e$ ) de un pavimento existente, es el espesor que tendría si se convirtiera en su totalidad en concreto asfáltico.

Si se trata de reforzar, el Espesor Efectivo ( $T_e$ ) puede utilizarse al rediseñar el espesor del pavimento. En este caso, el pavimento existente formará parte del pavimento rediseñado. Para determinar ( $T_e$ ), cada capa del pavimento existente debe convertirse a espesor equivalente de concreto asfáltico, utilizando para cada una el factor de conversión correspondiente de acuerdo con la tabla No.3.

Tabla No.3. Estos factores únicamente deben usarse para valuar un pavimento existente y diseñar la sobrecarpeta. De ninguna manera se aplican para diseño de pavimentos nuevos.

Clasificación del material	Descripción del material	Factor de conversión
I	Capa subrasante de suelo natural	0.0
II	a) Capa subrasante mejorada, material granular predominante; - puede contener algo de limo y arcilla, pero tendrá un IP de 10	0.0-0.2

ó menos (capa subrasante mejorada = cualquier capa o capas de material mejorado, entre la capa subrasante de suelo natural y el pavimento).

b) Capa subrasante modificada con cal, construida con suelos de alta plasticidad, IP mayor de 10 - (capa subrasante modificada con cal: mezcla íntima de suelo, agua y cal, preparada y compactada mecánicamente, sin endurecer o semiendurecido, colocada debajo del pavimento).

### III

a) Sub-base o base granular, --- agregados duros, razonablemente graduados con algunos finos plásticos y un CBR no menor de 20. Use el valor superior del rango, si el IP es menor de 6 y el valor inferior si es mayor de 6.

b) Sub-bases o bases modificadas con cemento Portland, construidas con suelos de baja plasticidad - IP de 10 o menor (sub-base modificadas con cemento = una mezcla íntima de suelo pulverizado, cemento Portland y agua, sin endurecer o semiendurecida, construida para proteger la capa subrasante o la sub-base).

0.2-0.3

### IV

a) Base granular. Material granular no plástico, que tiene ca-

racterísticas de una base de alta calidad. Use el valor más alto de rango fijado.

b) Capas superficiales de mezclas asfálticas, que presentan un patrón de grietas bien definido, - mostrando desintegración a lo largo de las grietas, con apreciables deformaciones en las huellas de las ruedas y claras indicaciones de inestabilidad.

0.3-0.5

c) Bases de suelo-cemento que se han agrietado extensamente, lo que se ha reflejado por agrietamiento de la superficie, pudiendo presentar bombeo, el pavimento muestra pocos indicios de inestabilidad.

V

a) Carpetas asfálticas sobre bases asfálticas (\*\*), que muestran agrietamiento apreciable y patrones de grietas, pero poca o ninguna desintegración a lo largo de las grietas y aunque muestren cierta deformación en las rodadas, permanecen esencialmente estables.

0.5-0.7

b) Bases de suelo-cemento que presentan poco agrietamiento, - como lo muestran los patrones de grietas que aparecen superficialmente y que están colocadas sobre superficies estables.

VI

a) Carpetas de concreto asfáltico

que muestran algunas grietas delgadas y pequeñas e intermitentes patrones de agrietamientos, así como ligeras deformaciones en las rodadas, pero se conservan estables.

b) Mezclas con asfalto líquido que permanecen estables y sin grietas, que no presentan exceso de asfalto y solamente manifiestan ligera deformación en las rodadas.

0.7-0.9

c) Bases tratadas con asfalto, incluyendo las diferentes al concreto asfáltico (\*\*).

VII

a) Concreto asfáltico, con base de concreto asfáltico y generalmente sin grietas y casi sin deformación en las rodadas.

0.9-1.0

b) Base de concreto hidráulico bajo carpeta asfáltica, que se conserva estable y presenta muy poco agrietamiento reflejado, sin señales de bombeo.

(\*\*) Base de concreto asfáltico, base de macadam asfáltico, (capas de material pétreo y asfalto alternadas), base de mezcla en planta, base asfáltica de mezcla en el lugar.

Una vez que se han identificado las capas componentes del pavimento y se ha determinado su condición, se selecciona el factor de conversión adecuado, convirtiéndose los espesores existentes a espesores efectivos. El espesor efectivo ( $T_e$ ) total del pavimento es la suma de los espesores efectivos de cada una de sus capas.

### III.1.1. Obtención del DTN.

Para obtener el espesor efectivo y de refuerzo mencionaremos el procedimiento del Instituto del Asfalto para obtener el Número de Tránsito para Diseño (DTN) que es el dato que involucra las características del tránsito y que interviene en el diseño del pavimento:

1.- Se obtiene el número promedio diario de vehículos en ambas direcciones, que se espera durante el primer año de servicio de la carretera, después de que ha sido mejorada (IDT).

2.- Se obtiene el porcentaje de camiones pesados, A en la corriente del tránsito, en una dirección.

3.- Se determina el porcentaje de camiones pesados B, en el carril de diseño.

4.- Se determina el número diario promedio de camiones pesados, esperados en el carril de diseño.

$$\text{No.} = \text{IDT} \times \frac{A}{100} \times \frac{B}{100}$$

5.- Obtenemos el promedio del peso bruto de los camiones pesados.

6.- Se obtiene la carga máxima permisible, por eje.

7.- Con los datos anteriores, obtener el Número de tránsito inicial (ITN), usando el Nomógrama de la fig. No.6.

8.- Se corrige el (ITN), cuando sea necesario ( $\text{ITN} < 10$ ), por automóviles y camiones ligeros, de acuerdo con la gráfica de la fig. No.7.

9.- Establecemos el período de diseño del pavimento.

10.- Se estima el incremento anual del tránsito.

11.- Se determina el factor de corrección de (ITN), por período de diseño e incremento anual del tránsito, de acuerdo con los datos de la tabla No.4.

12.- Finalmente, se determina el Número de tránsito para diseño (DTN), multiplicando el valor del (ITN) por el factor de corrección obtenido.

$$\text{(DTN)} = \text{Factor de corrección} \times \text{(ITN)}$$

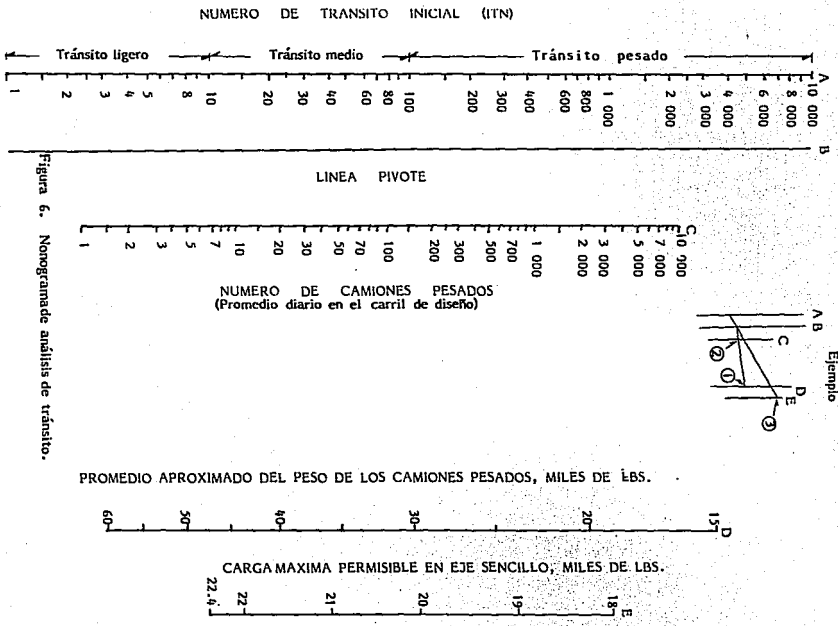


Figura 6. Nonogramate análisis de tránsito.



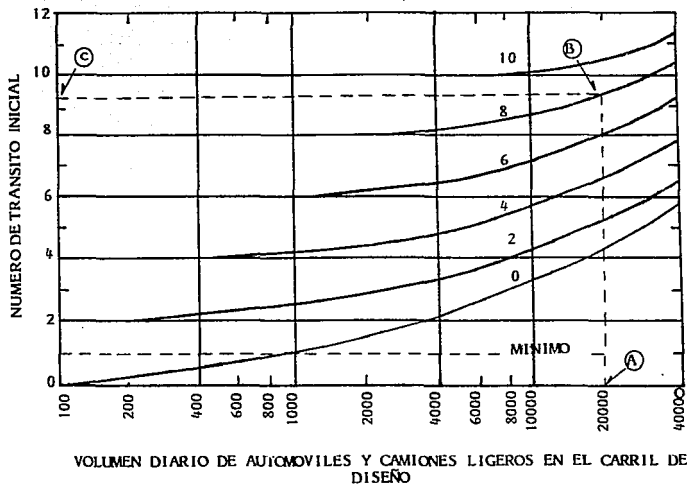


Figura 7. Gráfica para corregir el número de tránsito inicial (ITN) por volumen de automóviles ó vehículos ligeros.

Tabla No. 4. Factores de correlación para el número de tránsito inicial (17N)

Periodo de Diseño en Años ( n )	Tasa de crecimiento anual, Por ciento ( r )					
	0	2	4	6	8	10
1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
2	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
4	0.20	0.21	0.21	0.22	0.22	0.23
6	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37	0.39
8	0.40	0.43	0.46	0.50	0.53	0.57
10	0.50	0.55	0.60	0.66	0.72	0.80
12	0.60	0.67	0.75	0.84	0.95	1.07
14	0.70	0.80	0.92	1.05	1.21	1.40
16	0.80	0.93	1.09	1.28	1.52	1.80
18	0.90	1.07	1.28	1.55	1.87	2.28
20	1.00	1.21	1.49	1.84	2.29	2.86
25	1.25	1.60	2.088	2.74	3.66	4.92
30	1.50	2.03	2.80	3.95	5.66	8.22
35	1.75	2.50	3.68	5.57	8.62	13.55

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

### III.1.2. Procedimiento de Diseño.

La corrección de deficiencias estructurales del pavimento, requiere generalmente de un espesor adicional que lo refuerce suficiente para resistir la acción del tránsito que lo usará durante el periodo previsto. Los trabajos pueden consistir en colocación de una sobrecarpeta, o reconstrucción del camino.

El refuerzo del pavimento puede hacerse también por etapas, para el periodo inicial se elige un periodo corto de 2 a 5 años, y al término de este tiempo será necesario realizar otro recubrimiento y a manera preventiva el pavimento se puede evaluar cada 2 años para estimar el tiempo en que será necesario otro recubrimiento.

El procedimiento de diseño es el siguiente:

- 1.- Se determina el valor de resistencia de diseño del material de la capa subrasante (VRS, valor de R de Hveem, Valor de la placa, etc).
- 2.- Se obtiene el número de tránsito para diseño (DTN).
- 3.- Determinaremos el espesor total requerido del pavimento de concreto asfáltico (TA), como si fuese a construirse nuevo, utilizando los Nomógramas de las Figuras Números. 8 ó 8-A, según proceda.
- 4.- Se determina el espesor efectivo (Te), del pavimento existente, con base en los datos de la tabla No.3.
- 5.- Se obtiene el espesor del recubrimiento de concreto asfáltico requerido, mediante la diferencia (TA-Te).

EJEMPLO.- Se tiene una carretera de dos carriles con tránsito medio de 4000 vehículos diarios, 400 (10%) son camiones pesados de 14 ton. (30,000 lbs), de peso bruto, en promedio. La carga máxima por eje, es de 8 ton. (18,000 lbs). La tasa de crecimiento anual es de 4%. El pavimento existente consiste en una carpeta de 3" (7.5 cm) de concreto asfáltico y una base de 8" (20 cm) de piedra triturada. El pavimento se encuentra en buenas condiciones, pero debido al incremento de tránsito se requiere de un refuerzo. Encontrar el espesor de recubrimiento necesario para un periodo de diseño de 20 y 5 años. El CBR de diseño es de 5%.

ESPESOR TOTAL EN PULGADAS DE CONCRETO ASFALTICO ARRIBA DE LA SUBRASANTE, T A  
( CARPETA Y BASE )

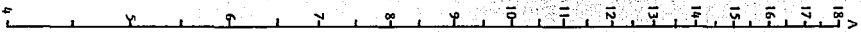
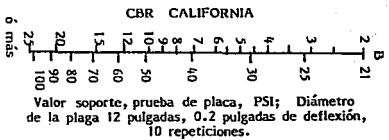
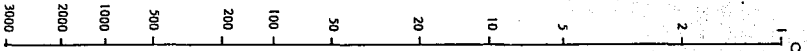


Figura 8.

Nomograma de diseño de espesores para pavimentos  
asfálticos (basado en un periodo de 20 años), usando la  
prueba del CBR o la prueba de placa.



NUMERO DE TRANSITO PARA DISEÑO (DTN)



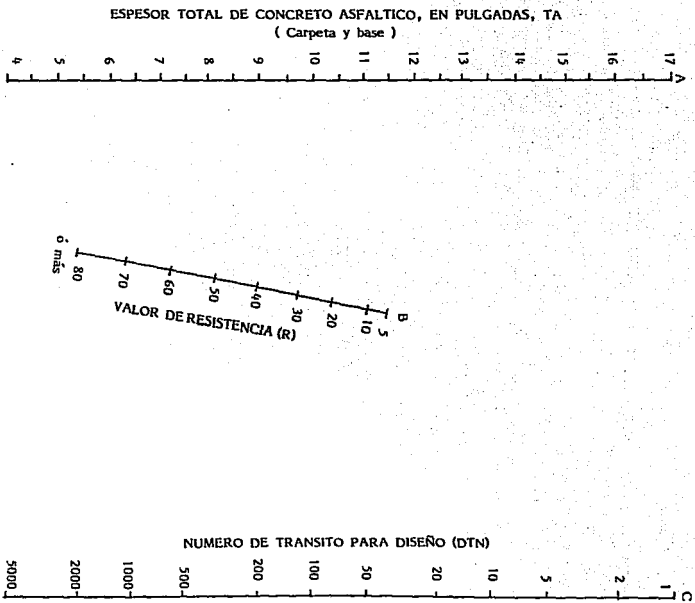


Figura 8A. Nomograma de diseño de espesores para pavimentos asfálticos, (basado en un período de 20 años), usando el valor de resistencia R.

A.- Período de Diseño de 20 años.

1.- Valor de la capa subrasante CBR = 5%

2.- Número de tránsito inicial (ITN)

a) Tránsito diario Inicial = 4,000 vehículos (ambos sentidos)

b) Número de camiones pesados en el carril de diseño:

$$= 4000 \times 0.50 \times 0.10 = 200$$

c) Peso bruto medio de los camiones = 14 ton. (30,000 lbs)

d) Carga máxima permisible, por eje = 8 ton. (18,000 lbs)

e) Número de tránsito inicial (ITN) = 30 (de la fig. No.6)

Como ITN > 10 no se requiere corrección.

3.- Factor de corrección del (ITN) por tasa de crecimiento y período de diseño de la tabla No.4 obtenemos 1.49.

4.- Número de tránsito para diseño

$$30 \times 1.49 = 44.7 \rightarrow 45$$

5.- Espesor requerido de concreto asfáltico de la fig. No.8

$$TA = 8.3" (21 \text{ cm})$$

6.- Espesor efectivo del pavimento existente (Te):

Espesor de las capas	Factor de conversión de la tabla No.3.	Te=Espesor efectivo
3" (7.5 cm)	0.8	2.4" (6 cm)
8" (20 cm)	0.4	3.2" (8 cm)
		Total Te = 5.6" (14 cm)

7.- Espesor del recubrimiento de concreto asfáltico

$$= TA - Te = 8.3" - 5.6" = 2.7" (21\text{cm} - 14\text{cm} = 7\text{cm C.A.})$$

B.- Diseño para 5 años.

Ahora el factor de corrección para (ITN) = 0.27 (de la tabla No.4)

$$(DTN) = 30 \times 0.27 = 8.1$$

Espesor requerido de pavimento de concreto asfáltico lo obtenemos de la fig. 8.

$$TA = 6.6" (17 \text{ cm})$$

El espesor efectivo del pavimento existente es  $Te = 5.6" (14 \text{ cm})$

Espesor del recubrimiento de concreto asfáltico

$$TA - Te = 6.6" - 5.6" = 1" (17 - 14 = 3 \text{ cm})$$

Como resumen: Para un periodo de 20 años se requiere 2.7" (7 cm)

Para un periodo de 5 años se requiere 1" (3 cm)

### III.2. Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Una característica principal de este Método es que maneja coeficientes de daño por tránsito para vehículos típicos a diferente profundidad, y el volúmen de tránsito real mezclado (TPDA) se convierte a tránsito equivalente de ejes sencillos de 8.2 ton., en la fig. No.9.

#### III.2.1. Procedimiento del Método.

- 1.- Se cuantifica el TPDA, agrupándolo por tipo de vehículos.
- 2.- Se multiplica ese TPDA por los coeficientes de distribución para el carril de proyecto, de acuerdo al número de carriles en ambos sentidos, obteniendo así el número de vehículos en el carril de diseño.
- 3.- Se multiplica este valor por los coeficientes de daño, obteniendo el número de ejes equivalentes de 0 a 60 cm.

4.- En el renglón de abajo se hacen las sumatorias de TPDA, el número de ejes equivalentes en  $Z=0$  a  $Z=60$  cm.

5.- El tránsito equivalente acumulado sería:

$$ELn = C' \times To$$

$\Sigma Ln$  = Tránsito acumulado durante  $n$  años de servicio y tasa de crecimiento  $r$ , en ejes equivalentes de 8.2 ton.

$To$  = Tránsito medio diario en el primer año de servicio para el carril de diseño en ejes equivalentes de 8.2 ton.

$C'$  = Coeficiente de acumulación de tránsito para  $n$  años de servicio y una tasa de crecimiento anual  $r$ , que se obtiene con  $C' = 365 \times \left( \frac{(1+r)^n - 1}{r} \right)$  ó en la gráfica de la fig. 10.

Estos pasos se refieren a la homogenización del tránsito y que se resume en la figura No.9.

De las características del material se manejan valores del VRS mínimos requeridos para cada una de las capas.

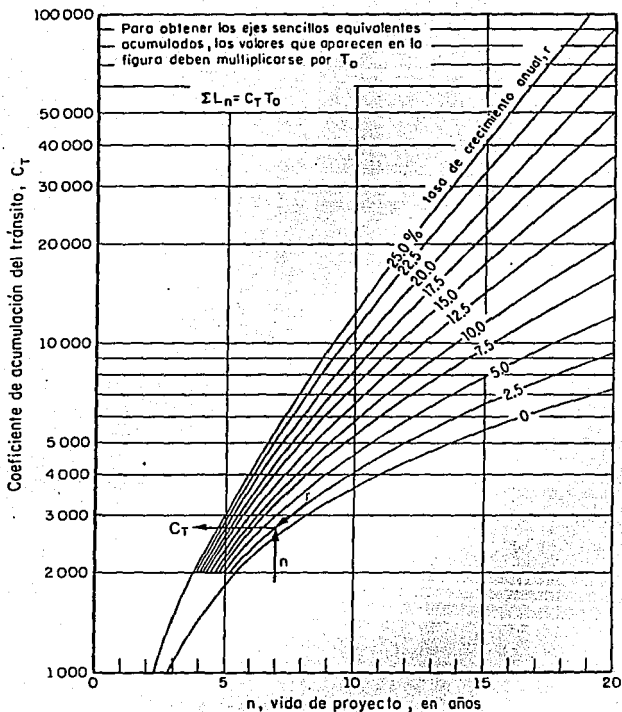
El VRS crítico se manejará como:

$$VRS = (1 - 0.82 v) \quad v = \text{Coeficiente de variación.}$$

El Método maneja gráficas que tienen como base los esfuerzos transmitidos a una profundidad  $Z$ , para diferentes grados de confianza de 0.6 a 0.9 dependiendo de la importancia del camino el valor más alto será para estructuras de mejor calidad, las gráficas presentan curvas similares a la distribución de esfuerzos de Boussinesq.







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

$C_T$	coeficiente de acumulación del tránsito, para $n$ años de servicio y una tasa de crecimiento anual $r$
$T_0$	tránsito equivalente medio diario en el carril de proyecto, durante el primer año de servicio, ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton
$\Sigma L_n$	tránsito acumulado al cabo de $n$ años de servicio, ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton.

Figura 10. Gráfica para estimar el tránsito equivalente acumulado.

Para su uso se requiere conocer el número de ejes equivalentes; entonces se traza, en la gráfica elegida una curva de igual resistencia relativa a la del tránsito calculado. De esta manera en la gráfica se puede proceder a calcular los espesores de las capas de la estructura del camino que corresponde a la subrasante, sub-base, base y carpeta.

Para este cálculo se requiere de conocer en forma específica el VRS de cada una de las capas obtenidas mediante pruebas de laboratorio o de campo. A los valores del VRS obtenidos se les calcula su valor de VRS crítico con la ecuación que sigue:

$$VRS_c = VRS (1 - C_v)$$

VRS<sub>c</sub> = Valor relativo de soporte crítico.

VRS = Valor relativo de soporte medio en cada material.

C = Valor que depende del nivel de confianza.

v = Coeficiente de variación de los valores de la prueba.

Los espesores totales del material equivalente que se deba de colocar sobre el terreno natural se determina dibujando una línea vertical partiendo del VRS correspondiente al suelo natural hasta interceptar la curva de igual resistencia en un punto denominado crítico que se proyecta en el eje de las coordenadas de Z fig. No.11.

Por lo general se acostumbra obtener el espesor total requerido para proteger a el suelo natural, que sería el de la suma de todas las capas.

Primero se obtiene el espesor de la subrasante, sacándolo de la gráfica, siendo la distancia vertical entre los puntos críticos correspondientes a los valores de VRS entre los del suelo natural y los de la subrasante. Luego se saca el espesor de la sub-base. Después se determinan los espesores mínimos de la carpeta haciéndose el proceso siguiente:

La diferencia entre el espesor total y la suma entre la subrasante y la sub-base nos proporcionará el espesor disponible para alojar la base y la carpeta en grava equivalente (a el resultado se le llamará Z<sub>n</sub>).

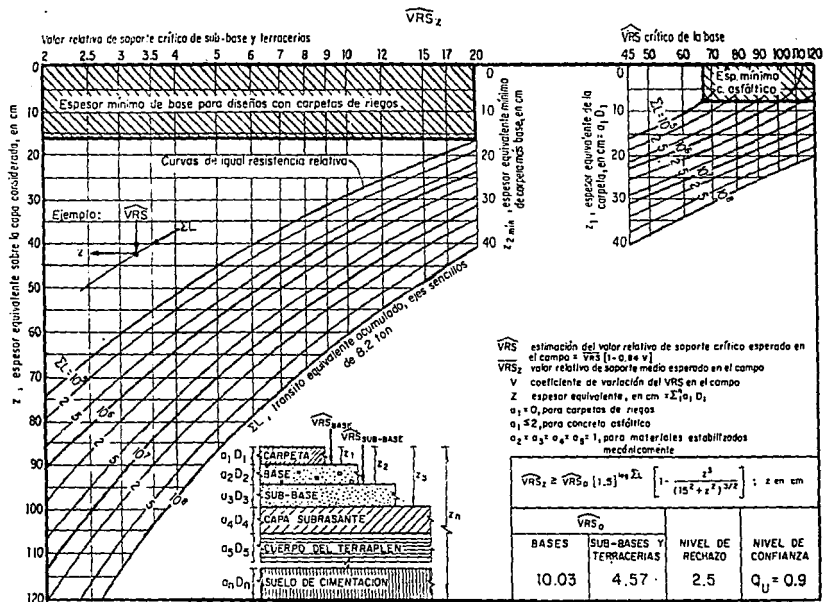


Figura 11. Gráfica para el diseño estructural de carreteras con pavimento flexible.

Ahora la ecuación estructural de espesores es:

$$Z_n = \sum A_i D_i$$

Se tiene entonces para la base y la carpeta:

$$Z_n = A_1 D_1 + A_2 D_2$$

D1 = espesor real de la carpeta asfáltica (cm)

D2 = espesor real de la base (cm)

A1, A2 = coeficientes de equivalencia de espesor real a grava equivalente.

Tabla No.5. Coeficientes de equivalencia de espesor real a grava equivalente.

Tipo de material	Indice de tránsito	Factor de grava equivalente
	5	2.5
	6	2.3
	7	2.2
Carpeta de concreto	8	2.0
asfáltico	9	1.9
	10	1.8
	11	1.7
	12	1.6
	13	1.6
	14	1.5
<b>Bases Granulares de material triturado</b>		<b>1.1</b>
<b>Sub-bases y bases granulares naturales</b>		<b>1.0</b>

Ejemplo: Se tiene una carretera con los datos siguientes:

TDPA = 12050 ambos sentidos	A2=70%
r = 4.3	B2= 5%
n = 10 años	C2=11%
No.carriles = 4	C3= 7%
	T3 - S3= 7%

Los valores de cuerpo de terraplen se anotan a continuación:

VRS = 4.5, 6.3, 5.8, 4.1, 6.0, 3.9, 7.2, 9.5 y 8.4

Para la capa de subrasante, sub-base y base son los siguientes respectivamente:

VRS = 15%, 20% y 90%

$VRSc = VRS (1 - .84 v)$

VRSc = De diseño

VRS = Promedio

$$v = \frac{s}{x}$$

v = Varianza

s = Desviación estándar

x = Media

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

$$s = \sqrt{\frac{9(374.25) - (3102.49)}{9(9-1)}} = 1.92$$

$$x = 6.19 \Rightarrow \text{VRS promedio}$$

$$v = \frac{1.92}{6.19} = 0.31$$

$$VRSc = 6.19 (1 - 0.84 \times 0.31) = 4.58 = VRS = 5\% \text{ de terraplen.}$$

Tabla de coeficientes de daño para vehículos cargados y obtención de ejes equivalentes. Considerando la fig.9 y tipos de vehículos, los cuales se describen en el capítulo siguiente Tabla No. 6.

TIPO DE VEHICULO	DIST. CARRIL DE DISEÑO	COEFICIENTE DE DAÑO				EJES EQUIVALENTES			
		Z=0	Z=15	Z=30	Z=60	Z=0	Z=15	Z=30	Z=60
A2	0.70	0.004	0.000	0.000	0.000	0.0028			
A'2		0.536	0.064	0.023	0.015				
B2	0.05	2.000	1.890	2.457	2.939	0.1000	0.0945	0.12285	0.14695
B3		1.999	1.369	0.877	0.852				
B4		2.666	1.219	0.752	0.753				
C2	0.11	2.000	1.890	2.457	2.939	0.22000	0.2079	0.27027	0.32329
C3	0.07	3.000	2.817	2.457	2.940	0.21000	0.19719	0.17199	0.2058
C4		4.000	2.771	2.456	2.937				
T2-S1		3.000	3.431	4.747	5.759				
T2-S2		4.000	4.358	4.747	5.760				
T3-S2		5.000	5.285	4.747	5.761				
T3-S3	0.07	6.000	5.239	4.746	5.758	0.42000	0.36673	0.33222	0.40306
C2-R2		4.000	4.972	7.037	8.579				
C3-R2		5.000	5.899	7.037	8.580				
C2-R3		6.000	6.826	7.037	8.581				
T2-S1-R2		5.000	6.513	9.327	11.399				
T2-S2-R2		6.000	7.440	9.327	11.400				
T3-S1-R2		6.000	7.440	9.327	11.400				
T3-S2-R2		7.000	8.367	9.327	11.401				
T3-S2-R3		8.000	9.294	9.327	11.401				
T3-S2-R4		9.000	10.221	9.327	11.403				

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{1+0.043} \right)^{10i-1} \cdot 365}{0.043} = 4444$$

$\Sigma$	0.9528	0.86632	0.89733	1.0791
x	4444	4444	4444	4444
x	5423	5423	5423	5423
	$2.3 \times 10^7$	$2.1 \times 10^7$	$2.2 \times 10^7$	$2.6 \times 10^7$

TDPA carril de diseño = 12050 x 0.45 = 5423

De la figura No.11 y con VRS = 5%, ejes equivalentes =  $2.6 \times 10^7$

Para

	VRS=5%	VRS=15%	VRS=20%	
VRS=90%	76cm	42cm	35cm	35cm base y carpeta
VRS=20%				7cm sub-base
VRS=15%				34cm subrasante
VRS= 5%				

El espesor mínimo requerido de carpeta es de 7cm de C.A., respecto a la sub-base no cumple con el espesor mínimo por lo tanto la alternativa será la siguiente, considerando un factor de 2 para la carpeta asfáltica.

7cm de carpeta asfáltica
28cm Base Hidráulica
34cm Subrasante

Si deseamos valorar el espesor de refuerzo necesario para un periodo posterior de 5 años será el siguiente:

$$C=365 \left( \frac{(1+0.043)^{15}-1}{0.043} \right) = 7474 \quad \Sigma \text{ ejes equiv} = 1.079 \times 5423 \times 7474$$

$$z = 60$$

$$= 4.4 \times 10^7$$

Obtenemos un espesor de 90cm considerando un VRS ya no de 5% sino de 4% por cambios de calidad en los materiales.

Por lo tanto tenemos lo siguiente:

90cm - 76cm = 14cm se requeriran durante 5 años posteriores al termino de la vida del camino que son de 10 años.



#### IV. ANALISIS DEL TRANSITO.

El conocimiento del flujo vehicular en una red de carreteras permite conocer el grado de ocupación y las condiciones en que cada segmento opera; el análisis de su evolución histórica permite definir las tendencias de crecimiento y el momento a partir del cual ciertos segmentos dejarán de prestar un servicio adecuado, convirtiéndose en el cuello de botella del transporte que estanque el desarrollo en lugar de seguir propiciándolo.

Una adecuada auscultación del tránsito en una red resulta así para su adecuada operación, mantenimiento y desarrollo; es por lo tanto, un insumo indispensable para la planeación de todas las actividades a realizar en la red.

En lo que a la infraestructura respecta, permite apoyar la asignación de tránsito en los nuevos segmentos propuestos, así como definir sus características geométricas y estructurales.

En los segmentos existentes permite priorizar las necesidades de mantenimiento, definir el momento de las modernizaciones o reconstrucciones y señalar la necesidad de rutas alternas.

En lo que a la operación respecta, el conocimiento del flujo vehicular permite comparar la oferta de servicios con la demanda existente y realizar análisis operacionales que orienten el encauzamiento del tránsito y el desenvolvimiento de la red.

El proyecto y la reconstrucción de una carretera requiere determinar la clasificación de los vehículos, el volumen de éstos y la tendencia a su aumento conforme el tiempo pasa.

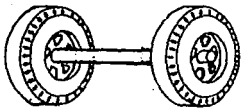
Todos los aspectos anteriores quedan comprendidos en un sólo término llamado tránsito y puede definirse como el número (cantidad) y tipo de vehículos que pasan en un tramo de la obra vial, en un tiempo determinado. A continuación se presentan, en forma breve cada uno de los conceptos

# ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

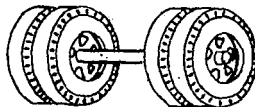
anteriores.

## IV.1. Clasificación de vehículos.

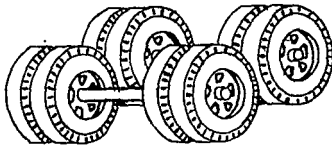
En el mercado existe una gran variedad de vehículos que se pueden agrupar para nuestros fines en ligeras: Aquellos que tienen dos o más ejes y cuatro ruedas, se designan por automóviles, camionetas Pick Up y autobuses; pesados: tienen dos o más ejes y seis o más ruedas están destinadas al transporte de carga y/o de pasajeros, se clasifican en camiones y tractores con remolques y semirremolques, de diferentes pesos, cada uno de los cuales difieren en capacidad de carga, que es transmitida al pavimento de acuerdo con la presión de las llantas, la colocación de los ejes y la disposición, de esta forma se pueden tener ejes sencillos, dobles y tandem como se ilustra en la figura siguiente:



EJE SENCILLO CON DOS LLANTAS



EJE SENCILLO CON CUATRO LLANTAS



EJE DUAL EN TANDEM




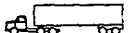
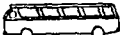
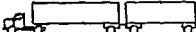

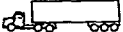
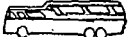
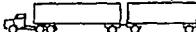
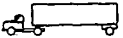
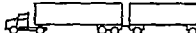

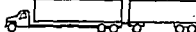

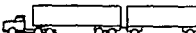
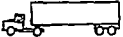
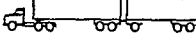

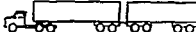
TIPO DE VEHICULO	No. de EJES	CLASE	CROQUIS DEL VEHICULO	TIPO DE VEHICULO	No. de EJES	CLASE	CROQUIS DEL VEHICULO
A2	2	Automovil		C3-R2	5	Camión y remolque	
C2	2	Camión		T3 - 52	5	Tractor y semi - remolque	
B2	2	Autobús		T2-51-R2	5	Tractor semi - Remolque	
C3	3	Camión		T3 - 53	6	Tractor y semi - remolque	
B3	3	Autobús		T2-51-R2	6	Tractor semi - remolque	
T2 - 51	3	Tractor y semi - remolque		T2-52-R2	6	Tractor semi - remolque	
B4	4	Autobús		CR - R3	6	Camión y remolque	
C4	4	Camión		T3-52-R2	7	Tractor semi - remolque	
T2 - 52	4	Tractor y semi - remolque		T3-52-R3	8	Tractor semi - remolque	
C2 - R2	4	Camión y remolque		T3-52-R4	9	Tractor semi - remolque	

Tabla No. 6. Clasificación vehicular.

Se ha acostumbrado designar a los automóviles con la letra A; autobuses B; camiones C; tractores T; remolques R y semirremolques con la letra S. En México es de uso generalizado la clasificación que se muestra en la tabla No.6.

En la gran mayoría de los casos prácticos únicamente se conoce el porcentaje de vehículos A, B y C siendo necesario descomponer estos porcentajes en una cantidad probable de los demás vehículos que circularán por la vía, para lo cual será necesario conocer el tipo de camino que se está analizando y que puede ser Agrícola, Turístico ó Industrial; una vez que sabemos esto, nos auxiliamos de la tabla No.7, que se muestra abajo, la que nos proporciona los porcentajes que hay que considerar para cada tipo de vehículo y de camino.

VEHICULO		TIPO DE TRANSITO		
		AGRICOLA	TURISTICO	INDUSTRIAL
A	Ap	40-60	80-90	40-60
	Ac	60-40	20-10	60-40
B	B-2	80-90	20-30	20-30
	B-3	20-10	80-70	80-70
C	C-2	40-40	50-50	30-40
	C-3	40-35	22-17	16-12
	T2-S1	15-20	15-20	16-13
	T2-S2	3-2	5-6	1-3
	T3-S2	2-3	5-6	20-17
	T3-S3	-	3-1	17-15

Tabla No.7. Porcentajes de acuerdo al tipo de vehículo.

Ejemplo.- Se considera un camino de tipo Turístico con la siguiente composición:

$$A = 60\% \quad B = 30\% \quad C = 10\%$$

Multiplicaremos por los valores de la tabla No.7 de A, B y C, respectivamente para obtener la composición vehicular.

$$A_p = 0.60 \times 0.80 = 0.48$$

$$A_c = 0.60 \times 0.20 = \underline{0.12}$$

$$\Sigma \quad 0.60 = 60\%$$

$$B-2 = 0.30 \times 0.20 = 0.06$$

$$B-3 = 0.30 \times 0.80 = \underline{0.24}$$

$$\Sigma \quad 0.30 = 30\%$$

$$C-2 = 0.10 \times 0.50 = 0.05$$

$$C-3 = 0.10 \times 0.22 = 0.022$$

$$T2-S1 = 0.10 \times 0.15 = 0.015$$

$$T2-S2 = 0.10 \times 0.05 = 0.005$$

$$T3-S2 = 0.10 \times 0.05 = 0.005$$

$$T3-S3 = 0.10 \times 0.03 = \underline{0.003}$$

$$0.10 = 10\%$$

En México se ha observado que los vehículos que predominan son los automóviles con porcentajes que varían del 50 al 85%; le siguen los camiones de carga con porcentajes del 20 al 40% y finalmente los autobuses con porcentajes que varían del 3 al 10%.

#### IV.2. Volumen de Tránsito.

Es la cantidad de vehículos que pasan por un tramo de la carretera en un intervalo de tiempo, los intervalos más usuales son la hora y el día. El volumen de tránsito se puede obtener mediante cualquiera de los siguientes Métodos:

a) Estudios de origen y destino.- El procedimiento consiste en entrevistar a cada conductor con objeto de preguntarle de donde viene y hacia a donde se dirige, anotando el tipo de vehículo en que circula.

b) Conteo de vehículos.- El conteo puede efectuarse mediante contadores normales o electromecánicos, registrando el volumen vehicular cada hora, separando la cantidad en vehículos ligeros (A); autobuses (B) y vehículos pesados (C).

c) Estaciones maestras permanentes provistas de contadores automáticos.- Registran las variaciones y comportamiento de las corrientes del tránsito durante todo el año.

La nomenclatura que se utiliza para el volumen de tránsito es:

TDPA: Tránsito Diario Promedio Anual. Es el promedio aritmético del número de vehículos que pasan por un lugar dado, durante un año.

VPDM: Volumen Promedio Diario Mensual. Es el promedio diario aritmético del número de vehículos que pasan por un lugar durante un mes.

VH: Volumen Horario. Es el número de vehículos que pasan por un lugar durante una hora en un año determinado.

VHMA: Volumen Horario Máximo Anual. Es el número máximo de vehículos que pasan por un lugar durante una hora en un año determinado.

VRMD: Volumen Horario Máximo Diario. Es el número máximo de vehículos que pasan por un lugar dado en una hora en un día determinado.

Tasa de Crecimiento.- Es un valor en porcentaje que nos permite estimar el tránsito futuro apoyados en métodos estadísticos que pueden ser:

a) Estudios de regresión múltiple entre el volumen de tránsito y otros elementos como pueden ser el consumo de gasolina, el registro de vehículos y el Producto Nacional Bruto.

b) Con base a la extrapolación de la tendencia media, ajustando una curva de regresión a la tendencia histórica del crecimiento del volumen de tránsito y extrapolando dicha tendencia para obtener los valores futuros y los intervalos de confianza de estas predicciones.

El valor del VPDA para "n" años de diseño de una carretera está dada por:

$$VPDA_n = VPDA_1 (1+r)^n$$

Donde:

$VPDA_n$  = Tránsito diario promedio anual para el año n.

$VPDA_1$  = Tránsito diario promedio anual para el año inicial.

r = Tasa de crecimiento.

n = Número de años de estimación del tránsito.

#### IV.3. Distribución de esfuerzos en el pavimento.

El análisis del tránsito y su forma de actuar sobre los pavimentos flexibles, resulta un poco difícil ya que las variables que se presentan son muchas y la mayoría de éstas es difícil ó imposible reproducir en los laboratorios con fines de investigación Hveem engloba en un concepto denominado "carga de tránsito" los factores de influencia principales y secundarios.

##### Factores principales:

Carga transmitida por la rueda.

Área de influencia de la carga.

Número de repeticiones de la carga.

Velocidad.

##### Factores secundarios:

Área de contacto de la llanta, que determina la presión de contacto.

Número de llantas en el arreglo.

Espaciamiento entre ejes.

La magnitud de la carga que se aplica a los pavimentos flexibles varía entre límites muy amplios; en camiones llega a 9 ton. (18000 lbs).

Como resultado de todo lo anterior las aplicaciones de carga deben homogenizarse ya sea en una rueda de diseño o en carga equivalente. Ningún Método en uso toma en cuenta la variabilidad del tránsito en forma completa, sólo se considera que la estructura sea capaz de resistir la carga transmitida por una sola rueda idealizada; para llegar a la carga de diseño, que represente el efecto global, será preciso establecer una equivalencia entre la carga transmitida por el arreglo de las llantas del vehículo elegido y la carga ideal.

Para llegar a la carga equivalente se pueden seguir dos criterios:

Buscar la rueda simple que produzca a una cierta profundidad los mismos esfuerzos verticales que el sistema de llantas del vehículo ó la que produzca las mismas deformaciones.

La figura 12 representa el efecto de un sistema dual, en el cual se llega a una rueda equivalente de diseño atendiendo a lograr una misma intensidad en los esfuerzos transmitidos.

En teoría y experimentalmente se muestra que el efecto de las dos llantas empieza a superponerse a la profundidad  $d/2$  y a la profundidad  $2s$  la superposición de los esfuerzos es total; si en la superficie y en el centro del espacio actuará una carga  $2P$  el esfuerzo sería el mismo a ese nivel.

Los esfuerzos en pavimentos flexibles se determinan con la siguiente ecuación:

$$r_z = w \left( 1 - \frac{1}{1 + \left( \frac{z}{2} \right)^2} \right)^{3/2}$$

Esta ecuación fue desarrollada por Boussinesq y se aplica debido a la similitud de transmisión, de cargas, área de influencia de dicha carga, área de contacto de la llanta que es elíptica pero para su cálculo se asemeja a una circunferencia y que la carga es uniforme.



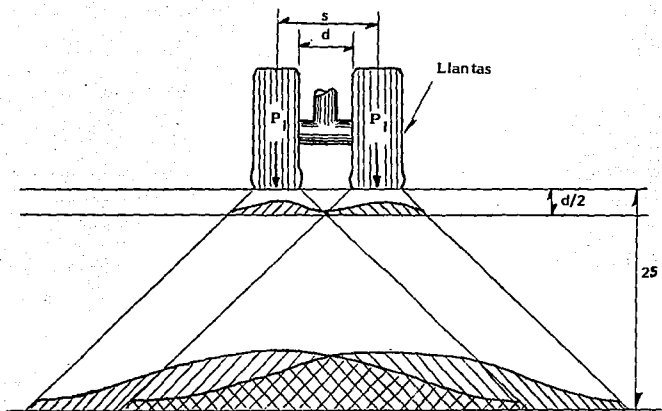


Figura 12. Influencia de un sistema dual en lo que se refiere a esfuerzos.

Dicha ecuación determina la distribución de esfuerzos bajo una área circular uniformemente cargada.

Ejemplo.- Determinar el valor del esfuerzo vertical bajo una rueda de diseño con los datos siguientes:

Presión de inflado de la llanta de  $10 \text{ kg/cm}^2$

Profundidades de 10, 25, 50 y 100cm.

$$W = 20,000 \text{ kg} \quad p = F/A \quad A = F/p = \frac{20000}{10} = 2000 \text{ cm}^2$$

$$A = \pi r^2 \quad r = \sqrt{A/\pi} = 25.53 \text{ cm.}$$

Sust. en la ec.

$$\Gamma_z (10) = 8.03 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\Gamma_z (25) = 3.50 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\Gamma_z (50) = 0.91 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\Gamma_z (100) = 0.14 \text{ Kg/cm}^2$$

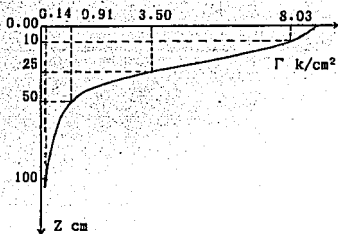


Figura 12A.  
Gráfica  
Esfuerzo-profundidad

Como podemos observar en la fig. 12A. a mayor profundidad el esfuerzo disminuye.

El arreglo de las llantas influye en la superposición de los esfuerzos inducidos y el área de contacto de las llantas depende de la presión de inflado y de la intensidad de las cargas. El área de contacto determina la profundidad a la que se transmiten los esfuerzos de la carga, la cual aumenta con el área; los arreglos de llantas con gran área de contacto producen estados de esfuerzos más uniformes que los que tienen cargas más

concentradas.

A consecuencia de lo anterior cuando se esperan aplicaciones de carga con grandes áreas de contacto deben utilizarse materiales de calidad uniforme en el perfil del pavimento, cuando las cargas vayan a actuar a través de áreas de contacto pequeñas, se requerirá mayor calidad en las capas superiores del pavimento que en las inferiores.

El análisis de transmitir las cargas del tránsito hacia la estructura lo denominaremos repetición de carga. En carreteras se considera que sucede una repetición cuando pasan dos vehículos, un camino está sujeto a millones de repeticiones durante su vida útil. Los vehículos pesados al ser canalizados en los carriles de baja velocidad producen cargas lentas o estáticas provocando mayor daño que las cargas rápidas.

Junto con el tránsito existen otros factores que intervienen en el comportamiento de un pavimento en forma perjudicial como son los factores ambientales e intrínsecos de los materiales que constituyen el pavimento y el terreno de cimentación.

#### **IV.4. Factores ambientales.**

Los factores ambientales son el conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan una región. Y deben de tomarse en cuenta como son la temperatura y la precipitación pluvial que son los que afectan mayormente la estructura. Para obtener datos de precipitación media anual teniendo estaciones pluviométricas dentro de la cuenca se emplea el Método de THIESSEN o el de las ISOYETAS.

El sistema KOPPEN-GEIGER clasifica los climas basados en los datos de la temperatura media anual y la precipitación media anual. En la fig.13 y la tabla No.8 se muestra la clasificación de climas de la República.

Factores intrínsecos.- Dependen de la calidad de los materiales, y los procedimientos utilizados en la construcción del pavimento y de las terracerías, así como del terreno de cimentación y pueden ser: Durabilidad,

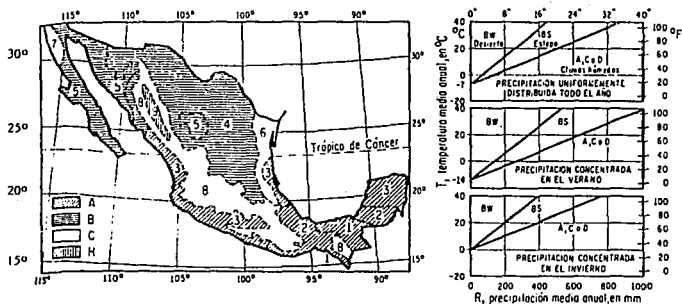


Figura 13. Clasificación de climas sistema Köpen - GEIGER.

CLIMAS				
A	TROPICAL	Afa 1	Ecuatorial, tipo amazónico caluroso regular	<p>A, C, D - Suficiente calor y precipitación para el crecimiento de árboles grandes.</p> <p>A - Climas tropicales. Todas las temperaturas medias mensuales mayores de 18°C.</p> <p>B - Climas áridos. Fronteras determinadas mediante los gráficos T-R.</p> <p>C - Climas templados calurosos. Temperatura media del mes más frío entre 18°C y -1°C.</p> <p>D - Climas de nieve. Temperatura media del mes más caluroso mayor de 18°C del mes más frío menor de -1°C.</p> <p>E - Climas polares. Temperatura media del mes más caluroso menor de 18°C.</p> <p>B - Clima subtropical*</p> <p>W - Clima desértico*</p> <p>f - Deficiente precipitación todos los meses</p> <p>a - Clima de nieve, a pesar de una estación seca</p> <p>s - Tiempo seco en verano</p> <p>w - Tiempo seco en invierno</p> <p>* Fronteras determinadas por gráficas T-R. Solo se usa en combinación con la primera letra B.</p> <p>a - Temperatura media del mes más caluroso, menor de 21°C</p> <p>b - Temperatura media del mes más caluroso, menor de 22°C (por lo menos cuatro meses tienen medias mayores de 10°C)</p> <p>c - Menos de cuatro meses tienen medias mayores de 10°C</p> <p>d - Igual que c, pero la media del mes más frío menor de -18°C</p> <p>e - Seco y helado. Temperatura media anual mayor de 18°C</p> <p>f - Seco y frío. Temperatura media anual menor de 18°C</p> <p>w - Clima de montaña, extremo, tipo alpino.</p>
		Aw 2	Subecuatorial, tipo sudamericano caluroso regular.	
		As 3	Tropical, tipo amazónico variaciones térmicas	
B	SECO	BWh 4	Estepario, tipo norteamericano o tipo sirio. Clima o templado medio, oscilaciones térmicas suaves.	
		BWn 5	Desértico, tipo sahariano extremo.	
C	SUB TROPICAL	Cfa 6	Subtropical mediterráneo con influencia de masas tipo china caluroso medio, húmedo, térmico variable.	
		Cfb 7	Mediterráneo, tipo portugués templado medio, verano seco y caluroso.	
		Cwt 8	Subtropical de altura, tipo mexicano templado regular.	
H	DE MONTAÑA	H 9	De montaña, extremo tipo alpino.	

Tabla No. 8. Clasificación de climas sistema Köpen - GEIGER.

deformabilidad, compacidad, cementación del asfalto, resistencia estructural determinada.

Por la resistencia o la fatiga, resistencia a la tensión y la estabilidad.

#### IV.5. Determinación del (IT) Método California.

El índice de tránsito (IT) se cálculo con la siguiente expresión:

$$IT = 6.7 \frac{(EWL)^{0.119}}{10^6}$$

Donde:

EWL = Equivalente de cargas de 5000 lbs por rueda, para una repetición de una carga particular media.

$$EWL = \frac{(W)}{5} 4.2$$

Donde:

W = Carga por rueda en Kips.

Conocido el VPDA del año actual, en un sólo sentido y el porcentaje de camiones dentro de este volúmen se podrá obtener el IT aunque para el caso de México se consideran todos los tipos de vehiculos, también debemos conocer la tasa de crecimiento y el período en años de diseño.



$$f = \frac{1 + (1 + 0.08)^9}{2} = 1.50$$

$$IT = 6.7 \left( \frac{EWL}{10^6} \right)^{0.119}$$

$$IT = 6.7 \left( \frac{16\,772\,775}{10^6} \right)^{0.119} = 9.37$$

$$IT = 9$$

El IT también lo podemos obtener de la fig.14, con EWL.

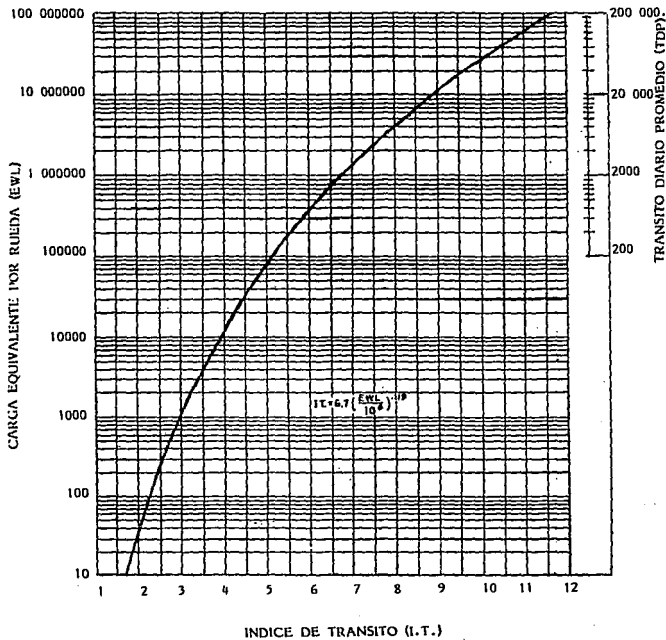


Figura 14. Gráfica de conversión: Cargas equivalentes por rueda (EWL) — Índice de transito (I.T.)  
 (EWL) = Cargas equivalentes de 5000lb. por rueda, en un período de 20 años.



## V. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA Y PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.

El análisis por deflexiones es aplicable solamente a caminos cuya superficie de rodamiento esté constituida por una mezcla asfáltica.

Se describe aquí el procedimiento del Instituto del Asfalto y el Método California para determinar la recuperación de la deflexión en un punto del pavimento, por medio de la Viga Benkelman, empleando condiciones estándar de prueba, en lo que se refiere a magnitud de la carga por eje que debe aplicarse y a tamaño, separación y presión de las llantas del vehículo que se usa.

### V.1. Método del Instituto del Asfalto.

En el procedimiento que aquí se describe, la deflexión del pavimento se mide con la Viga Benkelman, (fig. No.15) utilizando la prueba de recuperación. El valor representativo de la recuperación de la deflexión, es el promedio de las recuperaciones medidas, más dos desviaciones estándar, corregida por temperatura y por período crítico del año (época durante la cual el pavimento está expuesto a ser dañado por las cargas pesadas). El valor representativo de la deflexión abarca aproximadamente el 97% de todas las deflexiones medidas.

Las zonas del pavimento que representen una deflexión mayor que el valor representativo, recibirán un tratamiento especial. Se harán en esos lugares medidas adicionales de la deflexión, con el fin de fijar la magnitud de las áreas débiles, y se omiten al calcular la deflexión representativa.

El análisis del tránsito se efectúa de la misma manera que para pavimentos nuevos, usándose para el proyecto, el Número de Tránsito para Diseño (DTN).

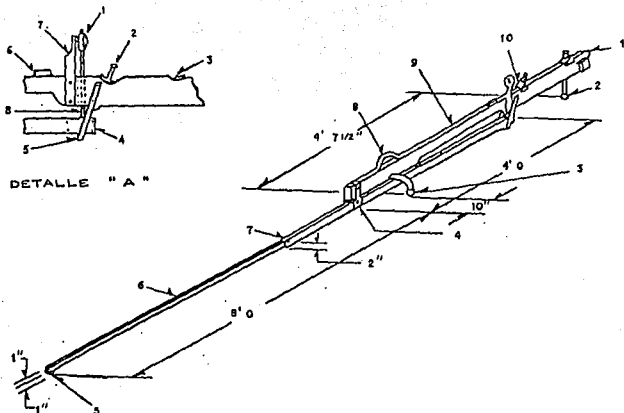


Figura 15. Viga BENKELMAN.

- |                             |                        |
|-----------------------------|------------------------|
| 1.- Batería                 | 6.-Viga sonda          |
| 2.- Apoyo trasero ajustable | 7.- Junta rígida       |
| 3.- Apoyo delantero         | 8.- Agarradera         |
| 4.- Pivote embalerao        | 9.- Viga de referencia |
| 5.- Pie de la sonda         | 10.- Ver detalle " A " |

DETALLE " A "

- |                              |                               |
|------------------------------|-------------------------------|
| 1.- Extensómetro de caratula | 5.- Guia de la viga           |
| 2.- Seguro de la viga        | 6.- Zumbador                  |
| 3.- Interruptor del zumbador | 7.- Sosten del extensómetro   |
| 4.- Sonda                    | 8.- Vástago del extensómetro. |

El valor representativo de la Recuperación de la Deflexión del Pavimento y el Número de Tránsito para Diseño (DTN), son los parámetros que intervienen en el diseño del refuerzo, empleando este Método.

#### PASOS A SEGUIR:

Este procedimiento emplea condiciones estándar como son la carga por eje, separación y presión de las llantas del vehículo que se usa. El camión que se utiliza, es un camión de volteo del tipo C2 lastrado con una carga en el eje trasero de (18000 lbs) (8.2 ton.) con llantas duales de 10.00 x 20 y presión de inflado de 80 lb/pulg<sup>2</sup> (5.6 Kg/cm<sup>2</sup>).

V.1.1. El procedimiento de prueba es el siguiente:

#### EQUIPO.

1.- Viga Benkelman como la mostrada en la fig.15 Longitud del brazo desde el pivote hasta el palpador (2.438m  $\pm$  0.5mm) (8.0 pies  $\pm$  0.02 pulg.)

Longitud del brazo desde el pivote hasta el extensómetro 1.219m  $\pm$  0.5mm (4.0 pies  $\pm$  0.02 pulg).

Pintar de blanco ó aluminio para reducir los efectos por temperatura.

2.- El camión que se utiliza es del tipo C2 lastrado con una carga en el eje trasero de 18 000 lbs (8.2 ton.) la separación de las ruedas dobles será de 2" ( 5cm) como mínimo. Las llantas serán de dimensiones 10.00x20, 12 capas, infladas a una presión de 80psi (5.6 kg/cm<sup>2</sup>).

3.- Medidor de presión de llantas.

4.- Medidor de temperatura para trabajo rudo.

#### PROCEDIMIENTO

1.- El punto de medición en el pavimento se localiza y marca. Los puntos se localizarán a 2' (0.60 m) de la orilla del pavimento, si el ancho del carril es menor de 3.30m (11') y a 0.90m (3') de la orilla, si el ancho es de 3.30m (11') ó mayor.

2.- Se centra un arreglo de llantas dobles sobre el punto marcado, con una tolerancia máxima de  $\pm$  7.6cm 3".

3.- Colocar el palpador de la Viga al centro del arreglo de las

llantas.

4.- Se quita el seguro de la viga y se ajustan las patas de tal manera que se permita en el extensómetro una carrera de aproximadamente 13mm (0.5 pulg.)

5.- Se enciende el zumbador y se registra la lectura inicial en el extensómetro.

6.- Inmediatamente después, de registrar la lectura inicial mover el camión hacia adelante hasta una distancia mínima de 9m (30') ó al siguiente punto de medición.

7.- Se registra la lectura final del extensómetro. Cuando deje de moverse la aguja de la carátula, desconecte el zumbador.

8.- Se medirá la temperatura superficial del pavimento a una distancia no menor de 10" (25cm) de la orilla del mismo, realizando un agujero de 1/8" (3mm) de diámetro y 1/8" (3mm) de profundidad, se rellenará con asfalto líquido viscoso a la temperatura ambiente, se dejará reposar de tal manera que nos permita tomar la lectura con el termómetro, cada hora aproximadamente.

9.- Se determinará el espesor de la capa asfáltica, así como las características de las capas restantes.

La deflexión se obtiene restando la lectura final del extensómetro de la inicial. La recuperación total del pavimento es dos veces la diferencia anterior (para una viga con relación de brazo igual a 2).

El reporte debe incluir lo siguiente:

- Lugar de prueba.
- Recuperación total de la deflexión.
- Temperatura de la superficie del pavimento.
- Temperatura ambiente.
- Espesor de la capa asfáltica.
- Espesor total del pavimento y cómo se encuentra estructurado.

Una vez que se han obtenido todas las deflexiones en un tramo homogéneo, se utilizan para calcular la deflexión representativa de la

deflexión para el tramo mediante la siguiente expresión.

$$\Delta = (x + 2s) fc$$

DONDE:

$\Delta$  = Recuperación Representativa de la Deflexión.

$x$  = Promedio aritmético de los valores de deflexión individuales.

$s$  = Desviación estándar.

$f$  = Factor de corrección por temperatura

$c$  = Factor de corrección por periodo crítico ( $c=1$  para prueba durante el periodo crítico).

Desviación estándar: se calcula con la siguiente fórmula:

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

En la cual:

$s$  = Desviación estándar.

$x$  = Valor de la deflexión en cada prueba.

$n$  = Número de valores individuales.

Paso 1.- Calcular la suma de los valores individuales de las pruebas:

$\sum x$ .

Paso 2.- Calcular la suma de los cuadros de los valores individuales de las pruebas:  $\sum x^2$ .

Paso 3.- Multiplicar el valor  $(\sum x^2)$  por el número,  $n$ , de pruebas.

Paso 4.- Calcular el cuadrado de  $\sum x$ .

Paso 5.- Restar el valor obtenido en el paso 4 del valor obtenido en el paso 3:  $n(\sum x^2) - (\sum x)^2$ .

Paso 6.- Dividir la diferencia obtenida en el paso 5 entre  $n(n-1)$  para obtener,

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

#### Determinación del factor de corrección por temperatura "f"

Para determinar el factor de corrección por temperatura "f" utilizaremos las fig. 16 ó 17.

La gráfica de la fig. No.16, obtenida para pavimentos constituidos por base granular, en su mayor parte, esta gráfica puede usarse para todos los casos, excepto para casos especiales en los cuales se utiliza la gráfica de la fig. No.17 cuando se tengan capas asfálticas con espesores de 4" (10cm) ó más, descansando sobre apoyos débiles, colocados directamente abajo de las capas asfálticas, al momento de medir las deflexiones.

Ejemplo: Una capa subrasante de arcilla o limo en estado seco puede ofrecer alta resistencia y muy poca en estado saturado, en el caso de materiales secos se usará la figura No. 16 y en el segundo la figura No. 17, suponiendo que existe además la condición de espesores citado anteriormente, para la capa asfáltica.

Para poder utilizar las gráficas se utilizará la temperatura media, que es el promedio de las temperaturas en la superficie, a media profundidad en la parte inferior del espesor total de la mezcla asfáltica del pavimento, aunque haya sido colocada por capas y en épocas diferentes.

La temperatura media del pavimento, se utiliza para determinar el factor de corrección por temperatura, necesario para definir los valores de la deflexión del pavimento, a la temperatura estándar de 70°F (22°C).

La predicción de la temperatura media del pavimento requiere la siguiente información.

- 1.- Localización del sitio de prueba, para identificar la estación meteorológica que pueda proporcionar datos de temperatura del aire.
- 2.- Fecha de la prueba, necesario para saber que días se necesita obtener datos de temperatura ambiente, para la corrección de la temperatura del pavimento.

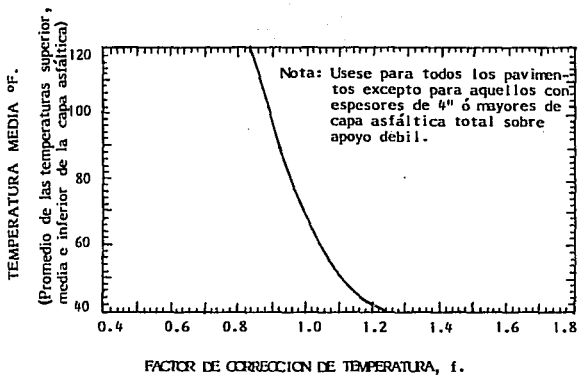


Figura 16. Factores de corrección de temperatura para deflexiones con la viga BENKELMAN.

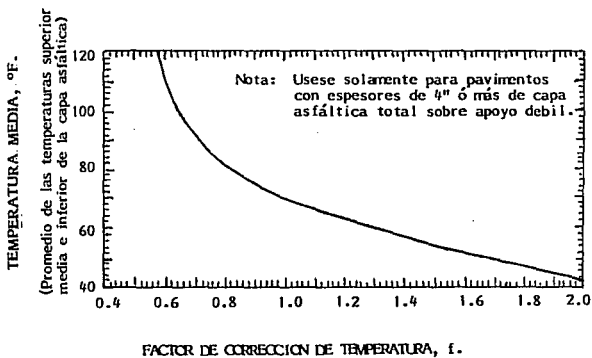


Figura 17. Factores de corrección de temperatura para deflexiones con la viga BENKELMAN.

3.- Temperaturas ambiente, máxima y mínima, para cada uno de los cinco días anteriores a la fecha de la prueba de deflexión, para tener la historia de la temperatura ambiente del sitio de prueba.

4.- Temperatura superficial del pavimento, tomada al tiempo de llevar a cabo la prueba de deflexión.

5.- Espesor de la porción asfáltica del pavimento para elegir la gráfica correspondiente en el diagrama de temperaturas a diferentes profundidades, de acuerdo con la fig. No.18.

Las temperaturas ambiente máxima y mínima de los 5 días anteriores a las fechas de las medidas de deflexión, pueden determinarse de cualquiera de las dos maneras siguientes:

a) Registrar temperaturas en el sitio con un termómetro de máximas y mínimas en cada uno de los cinco días.

b) Obtener información de máximas y mínimas de la estación meteorológica más cercana y que represente las condiciones del sitio de pruebas.

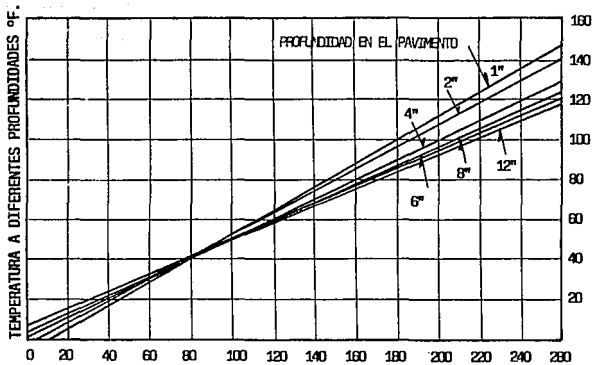
Quando se han obtenido los datos de las temperaturas ambiente máxima y mínima, los 10 valores se suman y se calcula el valor promedio. Este promedio, sumado a la temperatura superficial del pavimento, se usa para estimar la temperatura, a cualquier profundidad, de la capa asfáltica, mediante la gráfica de la fig. No.18.

La temperatura media de la capa asfáltica se obtiene de la siguiente manera:

a) Determinar el espesor de la capa asfáltica del pavimento y la profundidad media de la misma.

b) Entrar a la fig. No. 18 en la escala horizontal con el valor resultante de la suma de la temperatura superficial y del promedio de las temperaturas ambiente de los cinco días anteriores a la prueba. Trazar una línea vertical por ese punto, hasta cortar las líneas de profundidades media e inferior de la capa asfáltica del pavimento, interpolando cuando sea necesario. Trazar líneas horizontales desde las intersecciones con las





TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO MAS EL PROMEDIO DE LA TEMPERATURA AMBIENTE DE 5 DIAS, °F.

Figura 18. Predicción de temperaturas en la capa asfáltica del pavimento.

líneas de profundidades correspondientes, hasta cortar la escala vertical izquierda, leyendo las temperaturas de la zona media e inferior de la capa asfáltica.

c) La temperatura media de la capa asfáltica, será el promedio de las temperaturas superficial, media e inferior.

Con el valor obtenido de la temperatura media de la capa asfáltica, se determina el factor de corrección por Temperatura (f), entrando a las gráficas de las fig. No. 16 ó 17.

#### V.1.2. Determinación del factor de corrección por periodo crítico "C".

El factor de corrección de la deflexión, por periodo crítico, se hace necesario porque, en ciertos climas algunas épocas del año son más críticas que otras para el comportamiento del pavimento.

Formas de obtener el factor de corrección.

a) Se obtienen las medidas de deflexión durante el periodo crítico, en cuyo caso,  $C=1$ .

b) Se obtienen las medidas de deflexión en cualquier época y corrija-se para el periodo crítico, usando los datos obtenidos de un registro continuo de recuperaciones medidas en un pavimento similar cercano, con una capa subrasante de características similares.

La relación entre las deflexiones del periodo crítico y la de la fecha en que se mide, obtenidas del camino semejante, se toma como factor de corrección.

c) Se obtienen las medidas de deflexión en cualquier época y corrija-nse con criterio Ingenieril sano.

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

- 1.- Se determina la recuperación representativa de la deflexión.
- 2.- Se determina el número de tránsito para diseño (DTN) como se menciono anteriormente.
- 3.- Se utiliza la gráfica de la fig. No. 19, con el valor de la recuperación representativa de la deflexión en el eje horizontal y trazar una vertical hasta la curva que represente el (DTN), interpolando si es necesario; desde este punto, se traza una horizontal para leer en la escala vertical, el espesor del recubrimiento necesario de concreto asfáltico.

**EJEMPLO:**

Se tiene una carretera de 4 carriles con un promedio de 16 000 vehículos diarios; 2400 (15%) son camiones pesados con peso medio bruto de 15 ton. (32 000 lbs). El carril de diseño se estima lleva el 45% de los camiones pesados. La tasa de crecimiento del tránsito es del 5% al año la carga máxima permisible por eje, es de 8 ton. (18 000 lbs). En la superficie de pavimento se notan algunas grietas. Valores de deflexión indican la necesidad de reforzarlo. Encontrar el espesor de refuerzo necesario de concreto asfáltico para un periodo de 20 años y para la primera etapa de cinco años en una construcción por etapas.

1.- Recuperación representativa de la deflexión ( $\Delta$ )

**DATOS:**

$$x = 0.061 \text{ pulg.}$$

$$s = 0.004 \text{ pulg.}$$

$$f = 0.88$$

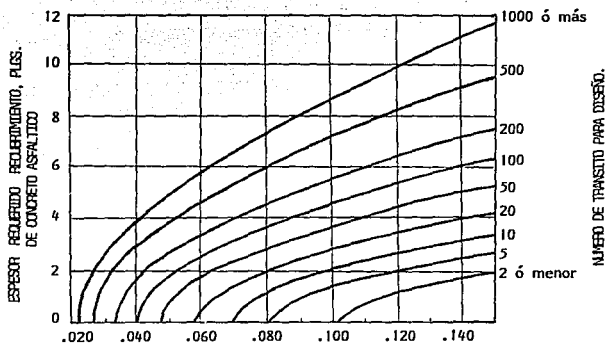
$$c = 1.25 \text{ (estimado)}$$

$$\Delta = (x + 2s) \cdot f \cdot c$$

$$\Delta = (0.061 + 0.008) (0.88 \times 1.25) = 0.076 \text{ pulg.}$$

2.- Número de tránsito inicial (ITN) = 590 precediendo de acuerdo a páginas anteriores.

3.- a) factor de corrección del (ITN) para el periodo de diseño de 20 años = 1.67 (Tabla No.4), del Capítulo III.



Recuperación representativa de la deflexión, Pulgs.  $(\bar{X} + 25)$

Figura 19. Espesor del recubrimiento necesario de concreto asfáltico, para reducir la deflexión medida a la de Diseño (Prueba de recuperación).

b) factor de corrección de (ITN) para el periodo de diseño de 5 años= 0.28 (Tabla No.4).

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

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

5.- a) espesor del recubrimiento para el periodo de 20 años= 7" (18 cm) fig. No. 19.

b) espesor de recubrimiento para el periodo de 5 años= 4" (10cm) fig. No.19.

El camino es geoméricamente adecuado y el pavimento es uniforme, sin ninguna deficiencia estructural obvia. Se desea una estimación del tiempo en que será necesaria una sobrecarpeta.

Demasiadas fuerzas estan trabajando constantemente en un pavimento para que en un Método que estime su vida probable pueda considerarse absolutamente preciso.

La estimación sin embargo, es un dato valioso para usarse al planear un trabajo futuro, especialmente si el tramo del pavimento se examina cada dos o tres años para comprobar lo estimado y establecer la tendencia del comportamiento. Para conocer el tiempo necesario antes de que el pavimento requiera una sobrecarpeta el procedimiento es el siguiente, usando la recuperación representativa de la deflexión:

- 1.- Se determina el número de tránsito inicial (ITN).
- 2.- Se determina la recuperación representativa de la deflexión.
- 3.- Usando la gráfica de la fig. No. 20 y haciendo la recuperación representativa de la deflexión igual a la recuperación de diseño, se determina el número de tránsito para diseño (DTN).
- 4.- Se determina el factor de corrección, dividiendo el valor obtenido del (DTN), entre el (ITN).
- 5.- Se establece la tasa de crecimiento del tránsito.
- 6.- Con el factor de corrección de (ITN) y la tasa de crecimiento anual del tránsito, determinar en la tabla No.4, el periodo de diseño en

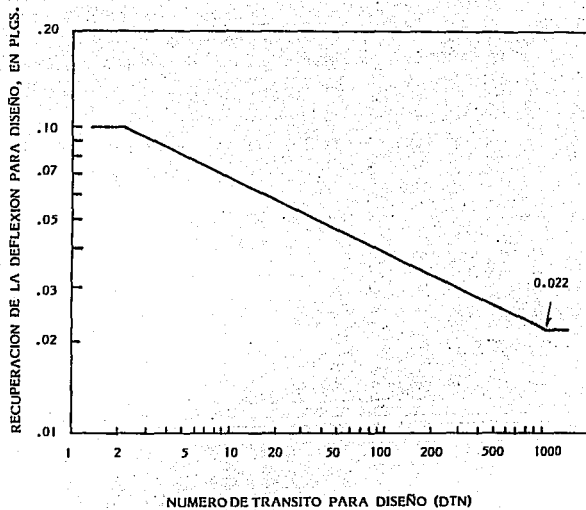


Figura 20. Gráfica para obtener el número de tránsito para diseño (DTN), con el valor de la recuperación de la deflexión.

años, para ese factor interpolando si es necesario. Este periodo es igual al número de años que deben transcurrir, antes de que se necesite construir un recubrimiento al pavimento.

#### EJEMPLO:

Se tiene una carretera de 2 carriles con un tránsito medio de 10 000 vehículos diarios, 10% de los cuales son camiones posados de 14 ton. (30 000 lbs), promedio de peso bruto. La tasa de crecimiento del tránsito es de 3% al año. La carga límite permisible, por eje, es de 8 ton. (18 000 lbs). Usando los datos de prueba con la Viga Benkelman, estimar el tiempo que debe transcurrir, para que sea necesario un recubrimiento.

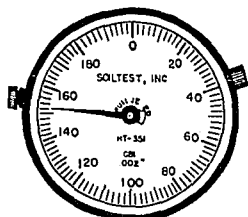
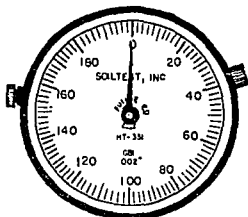
- 1.- Número de tránsito inicial= 500 (fig. No.6)
- 2.- Recuperación representativa= 0.038 pulg.
- 3.- (D<sub>TN</sub>) = 105 (fig. No.20)
- 4.- Factor de corrección del (ITN)=  $\frac{D_{TN}}{ITN} = \frac{105}{500} = 0.21$
- 5.- Tasa de crecimiento= 3%
- 6.- Tiempo estimado antes del recubrimiento= 4 años Tabla No.4.

#### V.2. Método California.

Al igual que en el Método anterior la Viga funciona según el principio de la palanca: los dos brazos de la Viga rotan alrededor de un eje horizontal, de manera tal, que cualquier movimiento del extremo de la viga en contacto con el pavimento produce un movimiento proporcional en el extremo opuesto, el cual es registrado por un extensómetro. Por lo general se utilizan vigas con relación de brazos de palanca de 2:1 ó 4:1 y es común que el extensómetro que viene con la viga ya esté calibrado para medir la deflexión real directamente, o sea sin necesidad de multiplicar por un factor de 2 ó 4.

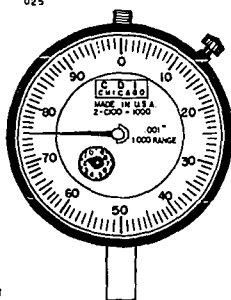
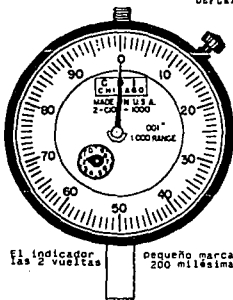
La deflexión es la medida de la transformación no permanente provocada por la aplicación de cargas repetitivas y se pueden medir estos movimientos con una aproximación de 0.001 pulg. (0.0254mm). En la fig. No. 21 se presentan dos ejemplos de lectura de deflexión para dos tipos de carátulas.

LECTURA INICIAL 200  
 LECTURA FINAL 152  
 DEFLEXION  $\frac{152}{48}$



El indicador tiene una vuelta de  
 carrera 200 milésimas

LECTURA INICIAL 200  
 LECTURA FINAL 175  
 DEFLEXION  $\frac{175}{625}$



El indicador  
 las 2 vueltas  
 pequeño marca  
 200 milésimas

FIG. 21

Medición en 2 Tipos de Lecturas.



Para realizar los estudios de evaluación es necesario determinar la deflexión en el punto de prueba bajo la carga máxima, provocada por el paso de un camión de volteo del tipo C2, lastrado de manera tal que transmita al pavimento una carga de 8.2 ton. en el eje trasero, con llantas en dual medida 1000 - 20/12 capas y con una presión de inflado de 5.8 km/cm<sup>2</sup> (82.4 lbs/pulg<sup>2</sup>). Fig. No.22.

#### Trabajo de campo preliminar.

1.- Las secciones de prueba deberán quedar en tramos de buena visibilidad de preferencia en tramos rectos y evitando curvas tanto horizontales como verticales.

2.- Los tramos de prueba serán de 600m de longitud y se formarán subtramos de 20m para la toma de lecturas.

3.- Se elegirá con criterio Ingenieril el carril derecho o izquierdo y la rodada externa o interna del camino por evaluar.

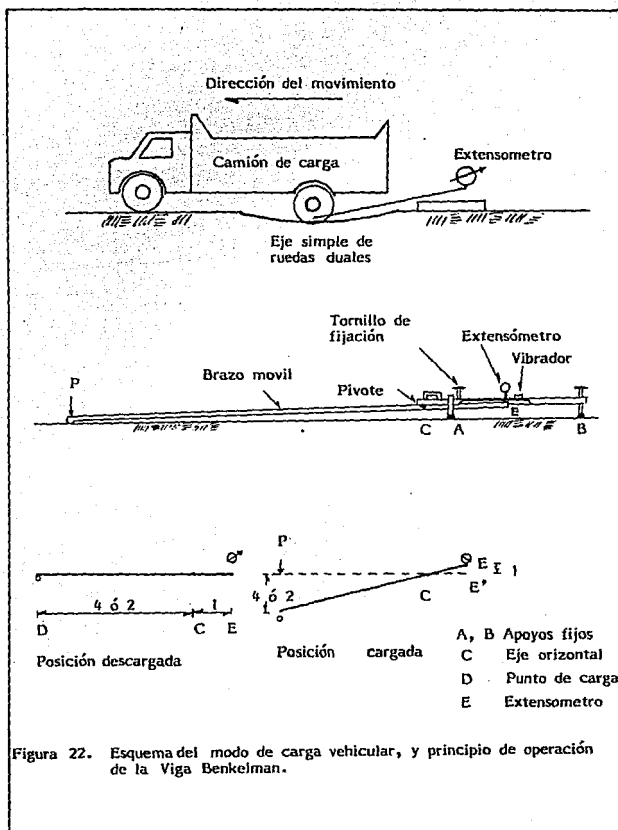
#### V.2.1. Procedimiento de operación de la Viga Benkelman.

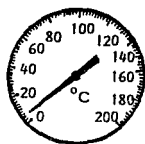
a) Se coloca el camión cuidando que quede al centro del carril seleccionado en el inciso 3 y que el eje trasero coincida con el inicio del subtramo.

b) Se obtiene la temperatura superficial de la carpeta haciendo un pequeño agujero de 3cm de profundidad en el inicio del subtramo al centro del carril. En dicho orificio se colocará la punta de un termómetro de trabajo rudo (ver Fig. No.23). Previamente introducida en aceite de recino para evitar el termómetro y tomar más rápido la lectura.

c) Se coloca la Viga Benkelman en medio de las ruedas duales en la rodada, seleccionada, de manera que su colocación sea al centro de la separación que existe entre las caras interiores de las llantas y que el palpador coincida con el eje trasero del camión.

d) Se afloja el seguro lo suficiente para que bascule libremente. Se da suficiente carrera al extensómetro haciendo girar la pata móvil (ver fig. No.24), ya que su funcionamiento es regresivo.





Caratula

Figura 23. Termómetro.

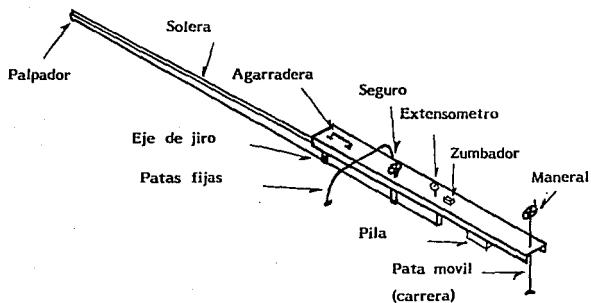


Figura 24. Viga Benkelman. (Modelo HT - 300).

e) Accionar el switch que hace funcionar el zumbador, anotando la lectura del extensómetro, lo que se registra como lectura inicial.

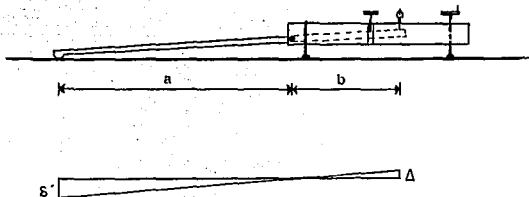
f) El camión se desplaza hacia adelante a baja velocidad, deteniéndose hasta el siguiente punto de medición.

g) Hecho lo anterior, se hace la lectura del extensómetro, registrándose como lectura final (esta lectura debe ser menor que la inicial).

Enseguida se apaga el zumbador y se aprieta el seguro de la viga y se avanza el siguiente punto.

NOTA: Si la deflexión provocada por la carga al pavimento es bastante alta (mayor de 80 milésimas de pulgada) deberá determinarse el radio de curvatura formado utilizando el medidor de curvatura Dehlem.

La diferencia de lecturas inicial y final ( $\Delta$ ) nos indica el movimiento de la solera, que multiplicada por la relación de brazos proporciona la deflexión sin corregir.



$$\delta' = \frac{\Delta}{a} \quad \delta' = \frac{a \Delta}{b}$$

Donde:  $\delta'$  = Deflexión real sin corregir, en el punto bajo la carga.  
 $\Delta$  = Deflexión leída en el extensómetro.  
 $\frac{a}{b}$  = Relación de brazos.

El espesor y temperatura de la carpeta, que se miden en el momento de tomar las lecturas, influye de cierta manera en la deflexión leída, por tal motivo deberá realizarse su corrección utilizando la gráfica de la fig. No.25.

$$\delta = \delta' \times C$$

Donde:  $\delta$  = Deflexión real corregida, en el punto bajo la carga.  
 $\delta'$  = Deflexión real sin corregir.  
C = Corrección por espesor y temperatura de carpeta.

Los tramos de prueba seleccionados que representan el estado general de comportamiento del camino se valoran en términos de la deflexión característica determinada en cada tramo, la cual resulta de un proceso estadístico utilizando como variables los valores puntuales obtenidos en cada tramo de lecturas (datos u observaciones), determinando las medidas de centralización de la población y caracterizando el comportamiento general del tramo, a través del percentil 80, que corresponde a la deflexión característica del tramo.

#### V.2.2. Medidas de centralización.

Media aritmética.- Se define como el promedio que se sitúa al valor central del conjunto de datos ordenados; según su magnitud se representa por X.

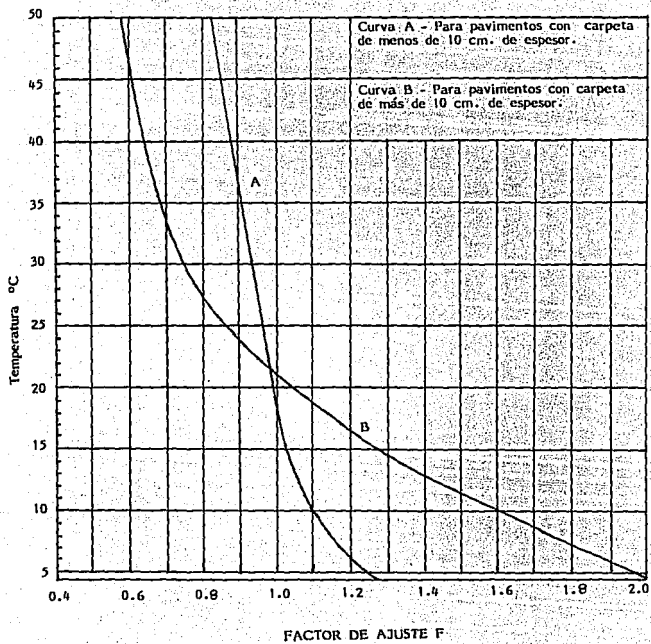


Figura 25. Factores de corrección por temperatura en las deflexiones de Viga Benkelman.

$$X = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} = \frac{\sum X}{N}$$

Donde:  $X_i$  = Valor de cada uno de los datos.

$N$  = Número de datos de la muestra.

**Moda.** - La moda de una serie de datos es aquel valor que se presenta con mayor frecuencia. La moda puede no existir, incluso si existe puede no ser única.

**Percentil.** - Si una serie de datos se coloca en orden de magnitud los valores que dividen los datos en cien partes iguales se llaman percentiles y se representan por:

$$P_1, P_2, \dots, P_{80}, \dots, P_{99}$$

**Medidas de dispersión:**

**Rango.** - El rango de un conjunto de números es la diferencia entre el mayor y el menor de todos ellos.

**Desviación estándar.** - Es el grado en que los datos numéricos tienden a extenderse alrededor de un valor medio. Se define como la raíz cuadrada del cuadrado medio de las desviaciones a la media.

$$s = \sqrt{\frac{\sum fu^2}{\sum f} - \left( \frac{\sum fu}{\sum f} \right)^2}$$

**Varianza.** - Se define como el cuadrado de la desviación estándar de un conjunto de datos:

$$v = s^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}$$

Coefficiente de Dispersión: Se define por la relación,

$$v = \frac{S}{X} \times 100$$

que es independiente de las unidades utilizadas. Por esta razón es útil para comparar distribuciones donde las unidades pueden ser diferentes. Un inconveniente del coeficiente de dispersión es que deja de ser útil cuando X está próxima a 0.

#### V.2.3. Obtención de ( $\delta c$ ) deflexión característica.

Es conveniente seguir el procedimiento que se detalla a continuación.

1.- Se dibuja el perfil de deflexiones, desechando si es necesario las lecturas erróneas, las cuales se complementan con estudio especial fig. No.26.

2.- Los datos u observaciones se organizan en dos formas distintas: una tabla de datos ordenados del menor al mayor con su respectiva frecuencia fig. No.27a y otra de datos agrupados fig. No.27b.

2.1.- El primer paso en el proceso de agrupamiento de datos consiste en calcular el rango, el segundo consiste en decidir cuantos intervalos de clase del mismo tamaño se usarán. Es usual, dependiendo del número de observaciones que el número de intervalos varíe entre 5 y 20. El rango dividido entre el número de intervalos comprendido entre 5 y 20, según el número de datos, nos permite conocer aproximadamente el tamaño del intervalo de clase.

R A N G O = Tamaño del intervalo  
Intervalos comprendidos entre 5 y 20 de clase.



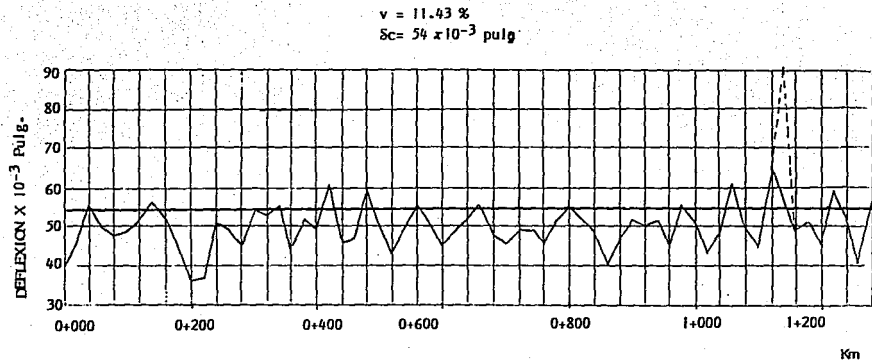


Figura 26. Perfil de deflexiones.









Se sugiere colocar a la moda (valor del dato que tiene mayor frecuencia) en el valor central del intervalo de clase que corresponda:

47    -2    49    +2    51

y completar los intervalos de clase que hagan falta para contener a la población, determinando las frecuencias de cada uno de ellos.

(Tabla de datos agrupados fig. No.27b e histograma y polígono de frecuencias de la fig. No.28).

Las marcas de clase las transformaremos a valores "u" a través de la variable ponderada  $u = \frac{X - A}{C}$ , con el objeto de disminuir el sesgo y acercar a una distribución normal.

Donde:    A = marca de clase cualquiera, escogida por el calculista.  
           X = marca de clase del intervalo.  
           C = tamaño del intervalo de clase.

Las medidas de centralización quedarán determinadas por las ecuaciones.

$$X = A + \frac{\sum fu}{\sum f} C$$

$$S = C \sqrt{\frac{\sum fu^2}{\sum f} - \left(\frac{\sum fu}{\sum f}\right)^2}$$

$$(\%) v = \frac{S}{X} \times 100$$

Donde:    X: Media  
           S: Desviación estándar  
           v: Coeficiente de dispersión.

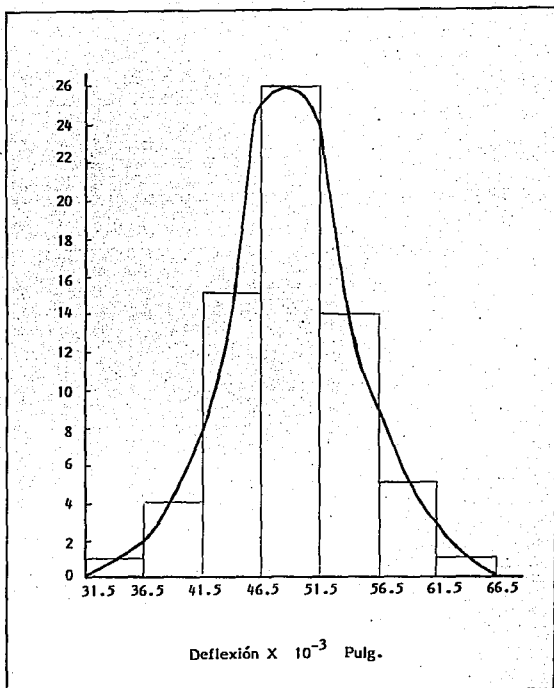


Figura 28. Histograma y polígono de frecuencias.

Para la determinación de la deflexión característica, se determina, previamente, el valor de la frecuencia acumulada que contiene al percentil 80 (Z).

$$Z = Ef \times 0.8$$

Donde: Z: frecuencia acumulada del percentil 80  
Ef-1: suma de frecuencia de los intervalos de clase.  
f1: frecuencia del intervalo de clase que contiene a Z.

$$\delta c = P_{80} = \text{Límite real inferior} + \frac{Z - Ef_1 - 1}{f_1} C$$

del intervalo de clase que contiene a Z.

Donde:  $\delta c$  = Deflexión característica  
P<sub>80</sub> = Percentil 80

#### V.2.4. Análisis de datos y obtención de espesores de refuerzo.

1.- Compare el 80 percentil calculado con las mediciones en campo, con la deflexión permisible determinando ésta mediante la fig. No.29.

Entrando con el espesor del pavimento existente y el valor de diseño del Índice de Tránsito (IT). Se debe tener en cuenta que el límite máximo de deflexión permisible, es de 0.040 pulg.

a.- Si el 80 percentil calculado es menor que la deflexión permisible, no será necesario ninguna reparación, pudiéndose dar solamente un riego de sello o colocar una capa delgada de concreto asfáltico, para sellar grietas o para mejorar la apariencia de la superficie de rodamiento.

b.- Si el valor de la deflexión correspondiente al 80 percentil de las mediciones efectuadas, es mayor que la deflexión permisible, es necesario proceder como se indica a continuación.



b.1.- Con los datos de la deflexión permisible y el 80 percentil de la deflexión encontrada en el camino, se determina el porcentaje requerido de reducción de la deflexión, empleando la siguiente ecuación:

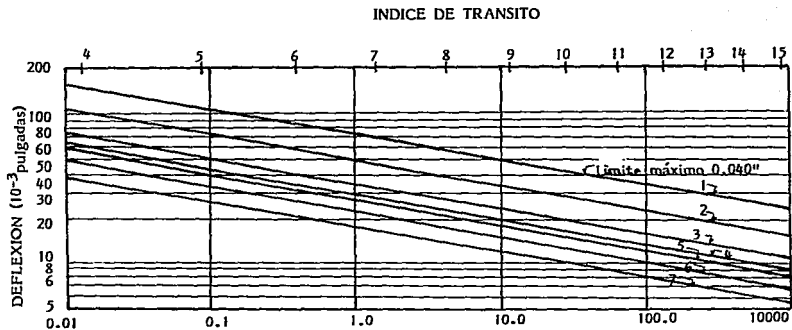
$$\text{PRD} = \frac{80 \text{ percentil} - \text{Deflexión permisible}}{80 \text{ percentil}} \times 100$$

Donde: PRD = Porcentaje de reducción de la deflexión.

b.2.- Una vez obtenido el porcentaje de reducción de la deflexión (PRD) entramos a la fig. No.30, para obtener el espesor de refuerzo necesario de grava equivalente (G.E.).

Dicho espesor se puede estructurar de la manera más adecuada, utilizando los factores de conversión que están anotados en la misma gráfica.

Figura 29. Variación de las deflexiones Tolerables (Criterio del Depto. de Carreteras de California).



Tipos de superficies de rodamiento	
1.	Tratamiento superficial
2.	Concreto Asfáltico
3.	Concreto Asfáltico
4.	Concreto asfáltico
5.	Concreto Asfáltico
6.	Concreto Asfáltico
7.	Concreto Asfáltico
7.	Base tratada con cemento

Espesor	
cm.	pulg.
1.2	1/2"
2.54	1"
5.00	2"
7.5	3"
10.00	4"
12.50	5"
15.00	6"
15.00	6"

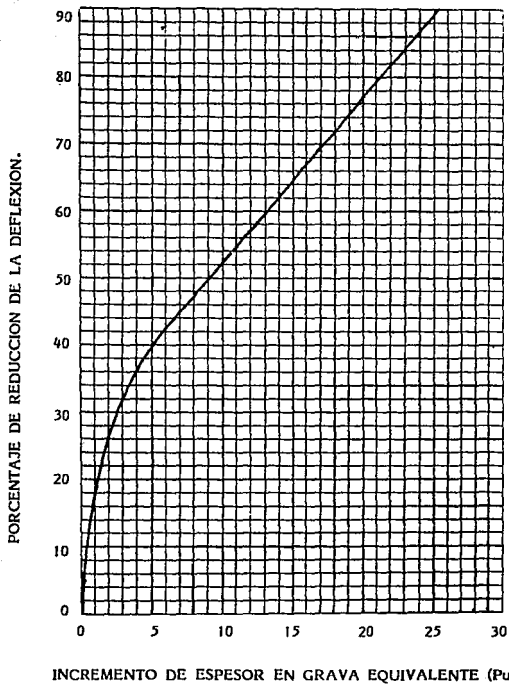


Figura 30. Refuerzo del pavimento en términos de grava equivalente para reducir la deflexión. (Método de California).

## VI. APLICACION AL TRAMO DE PRUEBA

En este capítulo se presenta la evaluación realizada en la Av. Central y el tramo Villahermosa-Teapa, en éstos se utilizó el Método California para obtener medidas de deflexión con Viga Benkelman y determinar el espesor de refuerzo.

Debido a las condiciones típicas de nuestro país y como una alternativa más, en la toma de decisiones para obtener el refuerzo necesario, se empleo el Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

### VI.1. Tramo Av. Central.

La Av. Central se localiza entre el límite con el Distrito Federal y la Vía Morelos.

Para la cual se definieron sectores homogéneos a lo largo de la vialidad, considerando su condición de servicio. Una vez establecidos estos sectores se procedió a realizar los ensayos con Viga Benkelman.

Así mismo de manera complementaria se recomendó la ejecución de sondeos en un número muy limitado para obtener una evaluación de la condición estructural del pavimento.

#### VI.1.1. Bancos de materiales en estudio para conformación de capas.

Para la rehabilitación de la estructura del pavimento y con objeto de buscar materiales adecuados se analizaron los siguientes Bancos de materiales de los cuales se obtuvieron los resultados que a continuación se presentan:

Ranchería y Atzompa: Arena arcillosa con índice de plasticidad (IP) = 9% y equivalente de arena de 40 a 48% propuesta para conformar terracerías, capa de subrasante y materiales de liga (Cementante) en la base hidráulica.

Totalcingo y Chiconautla: Material granular no plástico, para conformar la capa de base hidráulica, se recomienda su cribado por la malla 1.5" y la adición de otro material que le dé cementación, la mezcla en peso de 70% de Totalcingo (ó Chiconautla) y 30% de Ranchería, fue considerada adecuada.

Se estima que el material procesado de Totalcingo y Chiconautla es adecuado para conformar mezclas asfálticas en caliente.

Un alto porcentaje (41%) de las partículas gruesas tienen forma alargada. Se recomienda reducir esta fracción a porcentajes adecuados (15 a 20%), pra evitar problemas de excesivo fracturamiento durante y/o conformación de mezclas inestables. Se recomienda así mismo que la temperatura de aplicación del cemento asfáltico durante la mezcla sea determinada en función de la carta de viscosidad-temperatura del cemento asfáltico a emplearse, para evitar el sobrecalentamiento del material asfáltico y por ende su oxidación prematura.

#### VI.1.2. Análisis de los estudios de suelo realizados.

El muestreo de los suelos se efectuó en siete sondeos distribuidos a lo largo del trazo hasta una profundidad de 2.0m, detectándose el nivel freático a la profundidad de 1.60m. Los resultados permitieron definir un estado de humedad alto y consistencia baja.

Los trabajos de campo permitieron definir los espesores de las capas del pavimento así como la obtención de muestras para su análisis respectivo en laboratorio, las cuales dieron como resultado la presencia de arcillas y limos de alta plasticidad (CH Y MH).

El índice de Servicio se encuentra en el nivel de rechazo.

Carpeta asfáltica	=	10cm
Base Hidráulica	=	15cm
Sub-base	=	25cm
Subrasante	=	<u>34cm</u>
		84cm

La carpeta asfáltica, está constituida como una mezcla asfáltica en caliente, con tamaño máximo de agregados de 3/4" y contenidos de cemento asfáltico de 5.5 a 6.8% del peso de la mezcla.

Los materiales que conforman la base hidráulica y la sub-base presentan características geotécnicas similares, siendo su granulometría con tamaño máximo de agregado de 1 1/2" a 2" y el índice plástico varía entre 5 y 12%, el equivalente de arena entre 22 y 38% y el VRS mayor de 90%, con humedades del 3% por debajo de la óptima.

Los materiales que conforman la capa de subrasante son principalmente arenas limosas, cuyo pasante por el tamiz No. 200 es menor del 40% el índice plástico varía entre 7 y 10% y el VRS entre 15 y 20%, con humedades  $\pm$  2% del valor óptimo.

Los materiales que conforman el terreno natural (T.N) son principalmente, arcillas cuyo límite líquido varía entre 45 y 55% el índice plástico está comprendido entre 16 y 28% reportándose valores de VRS al 95% de compactación de 6 a 10%. En las condiciones "in situ" el grado de compactación es del 82 al 86%, con humedades entre 50 y 90% ampliamente, lo mismo que se reduce la capacidad a un VRS de 2%.

En general se ha podido observar que la condición superficial es bastante mala, motivado principalmente por las deformaciones y fisuraciones de magnitud severa, se estima que el refuerzo estructural de los pavimentos existentes es la alternativa de rehabilitación más adecuada para mejorar el nivel de servicio.

### VI.1.3. Diseño del refuerzo asfáltico.

A continuación se presenta la manera de determinar el espesor de refuerzo, empleando el Método California así como una comparativa con el Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

#### VI.1.3.1. Método California (Tramo Lourdes a Blvd. Aztecas).

Los datos obtenidos son los siguientes:

Tasa = 10%	Composición Vehicular =
No. años diseño = 10 años	A = 89%
TDPA = 2500	B = 10%
	C = 1%

IT = 8 obtenido.

Espesor de carpeta = 10cm

$\Sigma$  ejes equivalentes 8.2 ton.      VRS T.N = 2%

Las lecturas obtenidas y el cálculo de la deflexión característica así como el espesor se presentan en el siguiente ejemplo: (fig. 31, 32 y 33).

$\delta_c = 44.50 \times 10^3$  pulg.      Espesor de carpeta = 10cm

IT = 8

$\delta_p = 20 < \delta_c$

Por lo tanto se requiere refuerzo de la estructura.

$$RDP = \frac{\delta_c - \delta_p}{\delta_c} = \frac{44.50 - 20}{44.50} = 55\%$$

ESTUDIO DE DEFLEXIONES CON LA VIGA BENKELMAN

Fig. No. 31 Hoja No. \_\_\_\_\_

OBRA: Av. Central, Calzada Central derecha N-S

CUERPO: Derecho Central

TRAMO: No. 3 Lourdes a Blvd. Aztecas

CARRIL: Derecho

ORIGEN: Lourdes

DEL Km. 2 + 200 A Km. 2 + 800

FECHA: \_\_\_\_\_

Características de la Viga  
 Relación del brazo (r) 2  
 Micrómetro aprox. 0,001"  
 Carátula de 100 unidades  
 Peso en el eje trasero del camión  
8.2 Ton.

Km.	RODADA		T °C	VIGA BENKELMAN					OBSERVACIONES
	Int.	Ext.		Carpeta	Lectura x 10 <sup>-3</sup>		Corregida x 10 <sup>-3</sup>		
					ΔE Entrada	ΔS salida	6-ΔEΔS (r)	°C	
2 + 200		X	29 °C	0	23	23	46	35.4	
020		X		0	20	20	40	30.8	
040		X		0	13	13	26	20.0	
060		X		0	31	31	62	47.7	
080		X		0	21	21	42	32.3	
300		X		0	33	33	66	50.8	
320		X		0	14	14	28	21.5	
340		X		0	23	23	46	35.4	
360		X		0	21	21	42	32.3	
380		X		0	29	29	58	44.6	
400		X		0	25	25	50	38.5	
420		X		0	18	18	36	27.7	
440		X		0	24	24	48	37.0	
460		X		0	23	23	46	35.4	
480		X	29 °C	0	35	35	70	53.9	
500		X		0	34	34	68	52.4	
520		X		0	27	27	54	41.6	
540		X		0	17	17	34	26.2	
560		X		0	50	50	100	77.0	
580		X		0	17	17	34	26.2	
600		X		0	23	23	46	35.4	
620		X		0	27	27	54	41.6	
640		X		0	34	34	68	52.4	
660		X		0	25	25	50	38.5	
680		X		0	17	17	34	26.2	
700		X		0	26	26	52	40.0	
720		X		0	28	28	56	43.1	
740		X		0	15	15	30	23.1	
760		X		0	18	18	36	27.7	
780		X		0	19	19	38	29.3	
2 + 800		X	29 °C	0	18	18	36	27.7	

ESPESOR DE CARPETA: \_\_\_\_\_ cm.





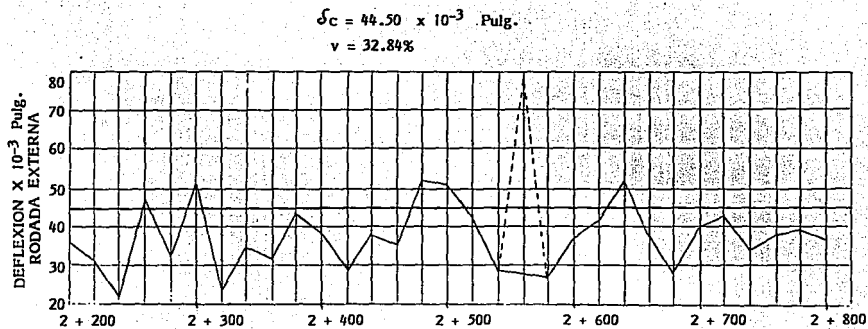


Fig. No.33 Perfil de deflexiones.

OBRA : Av. Central  
 TRAMO : Lourdes a Blvd. Aztecas  
 CUERPO: Central derecho  
 CARRIL : Exterior

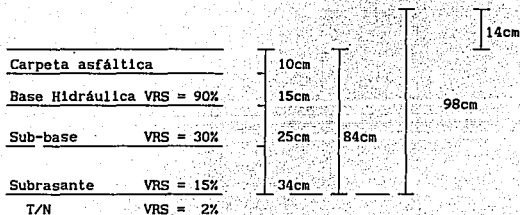
El refuerzo necesario en grava equivalente (G.E) es el siguiente:

$$11" \text{ G.E} = 27.94 \text{ cm G.E}$$

Se deberá eliminar la carpeta existente considerando su espesor afectado por un factor de daño, el cual puede ser igual a 1, la estructura quedará de la siguiente forma  $27.94 \text{ cm} + (1)(10) = 37.94 \text{ cm G.E.}$ , el arreglo de las capas de refuerzo puede ser: colocar 10cm de carpeta y 20 de base hidráulica.

VI.1.3.2. Método del Instituto de Ingeniería UNAM (Tramo Lourdes a Blvd. Aztecas).

Se obtuvo un  $\Sigma$  ejes 8.2 ton. =  $2.1 \times 10^6$   
para un VRS de Terreno natural = 2%



El espesor requerido es de 14 cm c.e.

Determinación del espesor efectivo: (Tramo V. Jampa a Sor Juana I. de la Cruz).

Método California: (fig. 34, 35 y 36)

ESTUDIO DE DEFLEXIONES CON LA VIGA BENKELMAN

OBRA: Av. Central Calzada lateral derecha de N-S

TRAMO: V. Jampa - Sor Juana I. de la Cruz

ORIGEN: V. Jamapa

DEL Km. 2 + 200 A Km. 2 + 800

FECHA: \_\_\_\_\_

Fig. No. 34 Hoja No. \_\_\_\_\_

CUERPO: Lateral derecho

CARRIL: Exterior

Características de la viga:  
 Relación del brazo (r) 2  
 Micrometro aprox. 0.001"  
 Caratura de 100 unidades  
 Peso en el eje trasero del Camión  
8.2 Ton.

Km.	RODADA		T °C	VIGA BENKELMAN				OBSERVACIONES
	Int.	Ext.		Lectura x 10 Pulg.		Corregida x 10 <sup>-3"</sup>		
				ΔE Entrada	ΔS Salida	ΔE-ΔS	( r ) e C	
2 + 200		X	27 °C	0	42	42	84	68.9
220		X		0	38	38	76	62.3
240		X		0	39	39	78	64.0
260		X		0	34	34	68	47.6
280		X		0	35	35	70	57.4
300		X		0	33	33	66	54.12
320		X		0	28	28	56	46.0
340		X		0	17	17	34	27.9
360		X		0	32	32	64	52.5
380		X		0	33	33	66	54.12
400		X		0	38	38	76	62.3
420		X		0	25	25	50	41.0
440		X		0	24	24	48	39.4
460		X		0	35	35	70	57.4
480		X	27 °C	0	37	37	74	60.7
500		X		0	35	35	70	57.4
520		X		0	19	19	38	31.2
540		X		0	31	31	62	50.8
560		X		0	24	24	44	36.1
580		X		0	31	31	62	50.8
600		X		0	19	19	38	31.2
620		X		0	18	18	36	29.5
640		X		0	18	18	36	29.5
660		X		0	15	15	30	24.6
680		X		0	17	17	34	27.9
700		X		0	18	18	36	29.5
720		X		0	22	22	44	36.1
740		X		0	17	17	34	27.9
760		X		0	17	17	34	27.9
780		X		0	15	15	30	24.6
2 + 800		X	27 °C	0	19	19	38	31.2

ESPESOR DE CARPETA: \_\_\_\_\_ cm.



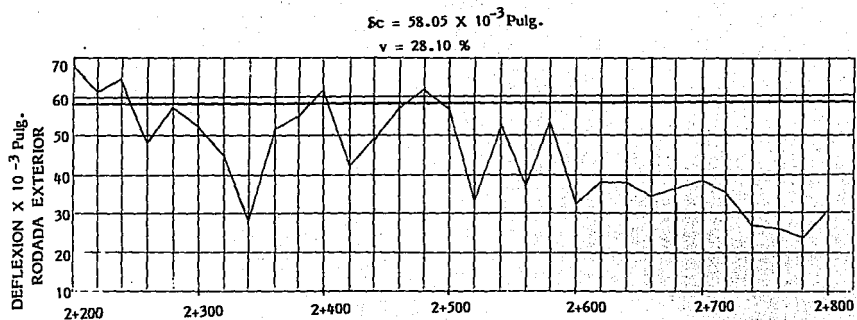


Fig.36 Perfil de deflexiones.

OBRA = Av. Central  
 TRAMO = V. Jampa - Sor Juana I. de la Cruz.  
 CUERPO = Lateral derecho  
 CARRIL = Exterior

Datos obtenidos se resumen a los siguientes:

$$IT = 6.5 \quad \delta c = 58.05 \text{ pulg}^{-3} \quad \text{espesor de carpeta} = 10\text{cm}$$

$$\delta p = 23$$

Por lo tanto se requiere refuerzo de la estructura.

$$RPD = \frac{58.05 - 23}{58.05} = 60\%$$

Se requiere 13" c.e. que equivale a 33.02cm c.e.

Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Datos  $\Sigma$  ejes equivalentes =  $2.3 \times 10^5$

Carpeta asfáltica		10cm		80cm
Base Hidráulica	VRS = 90%	15cm	65cm	
Sub-base	VRS=30%	20cm		
Subrasante	VRS = 15%	20cm		
T/N	VRS=2%			

Por lo tanto se requiere 15cm de c.e.

#### VI.2. Tramo Villahermosa - Teapa.

En este caso hacemos referencia a la carretera siguiente:

Carretera: Villahermosa - Tuxtla Gutiérrez

Tramo: Villahermosa - Teapa

Subtramo: 4+800 a km 5+400, 7+150 a km 7+750

### VI.2.1. Datos Generales.

Descripción General. Un cuerpo de km. 4+800 al 7+750

Fecha de construcción. En los años sesentas.

Conservación realizada. Bacheos y riego de sello aislados.

Topografía. Plana 90% y lomerío 10%

Geología. El tramo se encuentra en una planicie formada por depositos transportados y residuales, los suelos de la zona son de textura arcillosa del tipo OH.

Drenaje. El drenaje superficial está en buenas condiciones y no requiere de obras adicionales.

Subdrenaje. No se requiere.

TDPA = 10159

Tasa de crecimiento = 3%

Composición Vehicular: A2 = 82.14%

B2 = 14.65%

B3, C3 = 2.3%

T3-S2 = 0.50%

P3-S3 = 0.40%

Características geométricas son las siguientes:

Km a Km	ANCHO DE CORONA	ANCHO DE ACOTAMIENTO	ALTURA	SECCION	CUERPOS
4+800-6+000	7.6m	1.8m	1 a 3m	TERRAPLEN	1
6+000-7+750	7.7m	1.6m	1 a 3m	TERRAPLEN	1



Características estructurales son las siguientes:

Km 5+000										
CAPA	MATERIAL	ESP.	G%	A%	F%	VRS%	LL%	IP%	EAX%	COMP%
Carpeta	Concreto asfáltico	18cm								95
base	grava - arena	26cm	66	25	9	101	23	8	50	97
Sub-base										
Subrasante	arcilla (CL)	30cm	28	23	49	12	40	21		96
Cuerpo de Terraplen	arcilla (CL)	50cm	25	25	50	10	43	25		92
Terreno Natural	suelo orgánico		3		97	2	71	29		

KM 7+480										
CAPA	MATERIAL	ESP.	G%	A%	F%	VRS%	LL%	IP%	EAX%	COMP%
Carpeta	C-A	13								95
Base	grava-trit.	35	63	29	8	157	13	INP	60	95
Sub-base										
Subrasante	arcilla (CL)	15	27	20	53	10	44	20		95
CT	arcilla (CL)	15	32	25	43	8	48	28		90
TN	suelo organico				98	2	79	32		

Con base a los trabajos de campo y estudios de laboratorio podemos observar lo siguiente:

El índice de servicio actual promedio es igual a tres (Método AASHO) encontrándose cerca del nivel de rechazo.

Las capas del pavimento estan constituidas por base y sub-base de grava-arena, con un contenido de finos hasta un 10%. La superficie asfáltica consiste en una carpeta de concreto asfáltico.

Los deterioros presentados en la superficie de rodamiento son:

Grietas longitudinales generalizadas, con aberturas de 30 a 35 mm, grietas trasversales con aberturas entre 15 y 18mm en un 10%,

asentamientos aislados en una profundidad de 3 a 5cm, "piel de cocodrilo" hasta en un 5% de su superficie.

En la fig. 37 presentamos los resultados de los sondeos realizados en el km. indicado anteriormente.

#### VI.2.2. Estudio de deflexiones.

Una vez establecidos claramente los tramos de prueba se procedió a realizar los ensayos mediante la medición de deflexiones con equipo de Viga Benkelman, las cuales se realizaron a cada 20m, anotándose en las hojas de registro, las cuales se presentan más adelante (fig. 38, 39, 40, 41, 42 y 43).

El conocimiento de la deflexión característica ( $\delta_c$ ) se logra mediante el Método estadístico procesando adecuadamente todos los valores, y una vez obtenido dicho valor procedemos a calcular el espesor necesario de concreto asfáltico de refuerzo.

#### Cálculo del IT.

Datos TDPA = 10159

Tasa de crecimiento = 3%

Composición vehicular: A2 = 82.14%

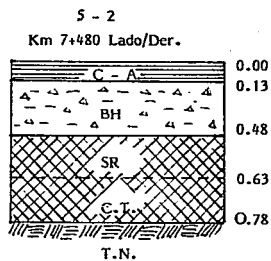
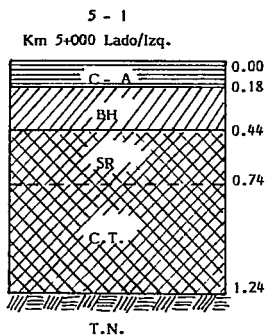
B2 = 14.65%

B3, C3 = 2.3%

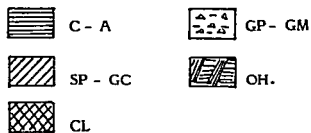
T3-S2 = 0.50%

T3-S3 = 0.40%

Fig.37. SONDEOS A CIELO ABIERTO



SIMBOLOGIA



C - A = Carpeta Asfáltica  
 B - H = Base Hidráulica  
 S - R = Subrasante  
 C - T = Cuerpo Terraplen  
 T - N = Terreno Natural

## ESTUDIO DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

Fig. No.38

Hoja No. \_\_\_\_\_

OBRA: \_\_\_\_\_

CUERPO: Único

TRAMO: Villahermosa - Teapa

CARRIL: Izquierdo

ORIGEN: Villahermosa - Tabasco

DEL Km. 4 + 800 A Km. 5+000

FECHA: \_\_\_\_\_

Características de la viga:  
 Relación del brazo (r) 2  
 Micrómetros aprox. 0.001"  
 Carátula de 100 unidades  
 Peso en el eje trasero del camión  
 8.2 Ton.

Km.	RODADA		T °C	VIGA BENKELMAN						OBSERVACIONES	
	Int.	Ext.		Carpeta	Lecturas a 10 <sup>-3</sup> Pulg.		Corregida a 10 <sup>-3</sup> Pulg.		(r)		°C
					ΔE	ΔS	ΔE-ΔS	ΔE-ΔS			
4 - 800	X		47 °C	0	16.0	16.0	32.0	17.9			
820	X			0	15.0	15.0	30.0	16.6			
840	X			0	12.0	12.0	24.0	13.4			
860	X			0	12.0	12.0	24.0	13.4			
980	X			0	14.0	14.0	28.0	15.7			
900	X			0	16.0	16.0	32.0	17.9			
920	X			0	10.0	10.0	20.0	11.2			
940	X			0	15.0	15.0	30.0	16.8			
960	X			0	19.0	19.0	38.0	21.3			
980	X			0	15.0	15.0	30.0	16.8			
5 - 000	X			0	22.0	22.0	44.0	24.6			
020	X			0	16.0	16.0	3.20	17.9			
040	X			0	19.0	19.0	38.0	21.3			
060	X			0	21.0	21.0	42.0	23.52			
080	X			0	22.0	22.0	44.0	24.6			
100	X		47 °C	0	25.0	25.0	50.0	28.0			
120	X			0	22.0	22.0	24.0	24.6			
140	X			0	25.0	25.0	50.0	29.0			
160	X			0	9.0	9.0	19.0	10.1			
180	X			0	14.0	14.0	24.0	15.2			
200	X			0	20.0	20.0	40.0	22.4			
220	X			0	13.0	13.0	20.0	14.6			
240	X			0	12.0	12.0	24.0	13.4			
205	X			0	14.0	14.0	28.0	15.7			
280	X			0	15.0	15.0	30.0	16.8			
300	X			0	27.0	27.0	54.0	19.0			
320	X			0	20.0	20.0	40.0	22.4			
340	X			0	13.0	13.0	26.0	14.6			
360	X			0	17.0	17.0	24.0	19.0			
360	X			0	20.0	20.0	40.0	22.4			
5 - 400	X		47 °C	0	23.0	23.0	46.0	25.8			

ESPOSOR DE CARPETA: \_\_\_\_\_ cm.



$$\delta_c = 24.11 \times 10^{-3} \text{ Pulg.}$$

$$V = 26.69\%$$

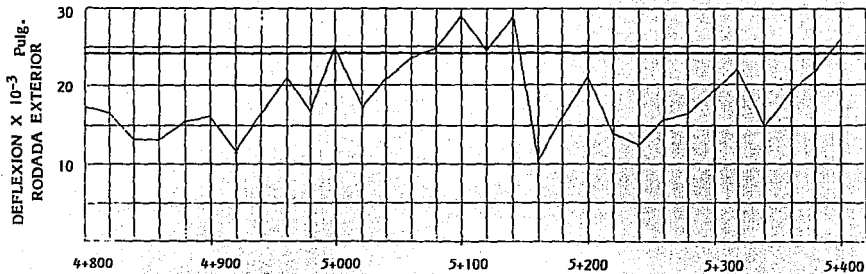


Fig. No. 40 Perfil de deflexiones.

OBRA = Villahermosa - Teapa  
 TRAMO = 4 + 800 a Km. 5 + 400  
 CUERPO = Unico  
 CARRIL = Izquierdo

## ESTUDIO DE DEFLEXIONES CON LA VIGA BENKELMAN

Fig. No: 41

Hoja No. \_\_\_\_\_

OBRA: \_\_\_\_\_

CUERPO: UNICOTRAMO: Villahermosa - TeapaCARRIL: DERECHOORIGEN: Villahermosa - TabascoDEL KM. 7 + 150 A KM. 7 + 750

FECHA: \_\_\_\_\_

Características de la viga:  
 Relación del brazo (r) 2  
 Micrómetro aprox. 0.001"  
 Carátula de 100 unidades  
 Peso en el eje trasero del camión  
8.2 Ton.

Km.	RODADA		T	°C	VIGA BENKELMAN					OBSERVACIONES
	Int.	Ext.			Lecturas x 10 <sup>-3</sup> Pulg.			Deflexión x 10 <sup>-3</sup> Pulg.		
					AE Entrada	AS Salida	SAE-AS	(r)	° C	
7 + 150	X		47	0	8.0	8.0	16.0	9.0		
170	X			0	12.0	12.0	24.0	13.4		
190	X			0	16.0	16.0	32.0	17.9		
210	X			0	12.0	12.0	24.0	13.4		
230	X			0	16.0	16.0	32.0	17.9		
250	X			0	11.0	11.0	22.0	12.3		
270	X			0	6.0	6.0	12.0	6.7		
290	X			0	5.0	5.0	10.0	5.6		
310	X			0	12.0	12.0	24.0	13.4		
330	X			0	13.0	13.0	26.0	14.6		
350	X			0	22.0	22.0	44.0	23.4		
390	X			0	16.0	16.0	32.0	17.9		
390	X			0	4.0	4.0	8.0	4.5		
410	X			0	15.0	15.0	30.0	16.8		
430	X			0	4.0	4.0	8.0	4.5		
450	X		47	0	13.0	13.0	26.0	14.6		
470	X			0	3.0	3.0	6.0	3.4		
490	X			0	15.0	15.0	30.0	16.8		
510	X			0	7.0	7.0	14.0	7.8		
530	X			0	12.0	12.0	24.0	13.4		
550	X			0	7.0	7.0	14.0	7.8		
570	X			0	10.0	10.0	20.0	11.2		
590	X			0	4.0	4.0	8.0	4.5		
610	X			0	13.0	13.0	26.0	14.6		
630	X			0	14.0	14.0	28.0	15.7		
650	X			0	16.0	16.0	32.0	17.9		
670	X			0	10.0	10.0	20.0	11.2		
690	X			0	14.0	14.0	28.0	15.7		
710	X			0	13.0	13.0	26.0	14.6		
730	X			0	9.0	9.0	18.0	10.1		
7 + 750	X		47	0	10.0	10.0	20.0	11.2		

ESPESOR DE CARPETA: \_\_\_\_\_ cm.





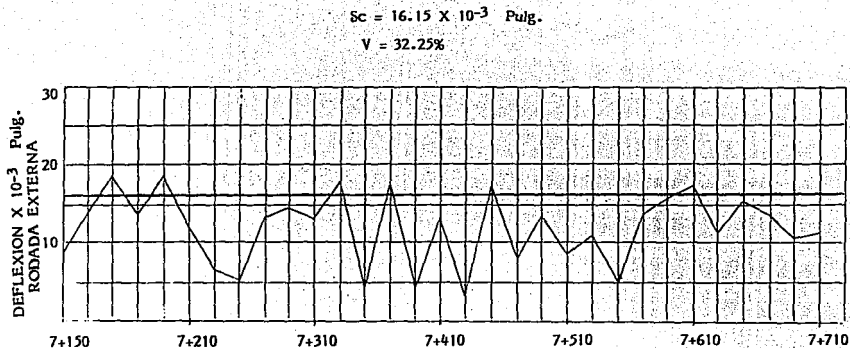


Fig. No.43 Perfil de deflexiones.

OBRA : Villahermosa - Teapa  
 TRAMO: 7+150 a Km 7+720  
 CUERPO: Unico  
 CARRIL: Derecho

El cálculo del factor de expansión lo obtenemos de la siguiente manera:

$$f_t = \frac{1+(1+r)^n}{2} = \frac{1 + (1+0.03)^9}{2} = 1.15$$

Cálculo del EWL.

VPDA = 10159

VPDA (un sólo sentido) = 5079.5

VPDA (camiones) = 5079.5 x 100 = 5079.5

CATEGORIA DE CAMIONES	% VPDA	VPDA CAMIONES POR EJE
B2	96.79	4916
B3, C3	2.3	117
T3-S2	0.50	25
T3-S3	0.40	20

5078.0

CATEGORIA DE CAMIONES	UPDA ACTUAL	FACTOR DE EXPANSION	VPDA AUMENTADO	CONSTANTE DE EWL	EWL ANUAL
2 EJES	4916	1.15	5653	280	1 582 840
3 EJES	117	1.15	134	930	124 620
5 EJES	25	1.15	29	3190	92 510
6 EJES	20	1.15	23	1950	44 850

1 844 820

x 10 años

18 448 200

$$IT = 6.7 \frac{(EWL)^{0.119}}{10^6}$$

$$IT = 6.7 \frac{(18\ 448\ 200)^{0.119}}{10^6}$$

IT 9.5

VI.2.2.1. Cálculo de sobre espesor requerido de refuerzo Método California.

DATOS:

TRAMO	$\delta_c \times 10^{-3}$ pulg.	IT	ESPESOR	CONDICION	SUPERFICIAL
4+600-5+400	24.11	9.5	18cm	GRIETAS	SUPERFICIALES.

$$\delta_p = 12 \times 10^{-3} \text{ pulg.} < \delta_c = 24.11 \times 10^{-3} \text{ pulg.}$$

∴ Necesita refuerzo.

$$RDP = \frac{24.11 - 12.0}{24.11} \times 100 = 50\%$$

espesor requerido 9" c.e.

$$\text{espesor de concreto asfáltico} = \frac{9"}{2} = 4.5" \text{ C-A.}$$

$$4.5" \times 2.54 \text{ cm} = 11.43 \text{ cm C-A.}$$

Se podría colocar una carpeta de 10cm de espesor fresando la carpeta existente:

TRAMO	$\delta_c \times 10^{-3}$ pulg.	IT	ESPESOR	CONDICION	SUPERFICIAL
7+150-7+750	16.15	9.5	13cm	GRIETAS	SUPERFICIALES

$$\delta_p = 14 \times 10^{-3} < \delta_c = 16.15 \times 10^{-3}$$

∴ Se requiere refuerzo.

$$\text{RDP} = \frac{16.15 - 14.0}{16.15} \times 100 = 13\%$$

espesor requerido = .70" c.e.

$$\text{espesor requerido C-A} = \frac{0.70''}{2} = 0.35'' \text{ CA}$$

$$0.35'' \times 2.54 \text{cm} = 0.90 \text{cm}$$

Por lo tanto se considera que no se necesita refuerzo, y será suficiente un riego de sello.

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

En los trabajos de rehabilitación es necesario realizar una zonificación previa al tramo con base en la recopilación y análisis de la historia del pavimento y en los resultados de un recorrido general, así como determinación de la Calificación de Servicio Actual.

Con el fin de no interferir el tránsito y dañar demasiado la estructura será necesario realizar un número menor de pozos a cielo abierto con muestreo y pruebas de laboratorio.

Los Métodos basados en deflexiones, comprenden ensayos no destructivos para medir deflexiones en el sitio de aplicación de la carga. Por lo tanto se logra un cubrimiento muy extenso del pavimento estudiado, las medidas realizadas representan las condiciones en sitio, los ensayos tienen bajo costo y de ejecución rápida, además de ofrecer un alto grado de confiabilidad. Este procedimiento no mide las propiedades de los materiales y está limitado a un tipo de daño o deficiencia, como es agrietamiento por fatiga.

No existe un espesor único de diseño, también hay que considerar la experiencia del Ingeniero que diseña el pavimento se puede decir que cualquier Método de diseño es adecuado siempre y cuando se realice en forma correcta.

En muchos países, en el que se incluye a México, las redes viales tanto urbanas como interurbanas y estatales, han crecido a niveles tan altos que representan una parte muy importante de la inversión pública. Por otro lado las áreas de terrenos disponibles especialmente en las vías urbanas e interurbanas para la construcción de nuevas vialidades escasean cada vez más. Además el tráfico cada vez más creciente ha acelerado el proceso de deterioro de los pavimentos. Como resultado de esta situación es necesario dar mayor importancia a los trabajos de rehabilitación de pavimentos para, mejorar la capacidad estructural del pavimento para nuevo tráfico y disminuir los costos excesivos de

mantenimiento intensivo.

Al realizar una comparativa entre los Métodos del Instituto de Ingeniería y California observamos que existe una diferencia en los espesores obtenidos, el Método del Instituto de Ingeniería, considera las condiciones para diseño de pavimentos flexibles en el país. Lo contrario de otros Métodos están influenciados por condiciones extranjeras por lo cual obtenemos espesores mayores. La comparativa entre estos dos Métodos es con el fin de obtener más alternativas de diseño, aplicando un criterio Ingenieril; considerando factores acordes a nuestra idiosincracia y condiciones de clima, tránsito, materiales, etc., sin la limitación de dedicarnos a un sólo Método para obtener el espesor necesario.

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

- AMIVIT

IV Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto.

Tomo I, II, III, México 1991.

- División de Educación Continua: UNAM

Apuntes de Compactación.

UNAM, México 1975.

- Dirección General de Servicios Técnicos: SCT

Lineamientos para la evaluación de pavimentos flexibles de carreteras.

SCT, México 1988.

- Dirección General de Conservación de Obras Públicas: SCT

Catálogo de fallas de Pavimentos.

SCT, México 1988.

- Instituto de Ingeniería: UNAM

Diseño de pavimentos flexibles No.444.

UNAM, México 1989.

- Juárez Badillo - Rico Rodríguez

Mecánica de suelos Tomo I, II.

Editorial Limusa 8a. Edición, México 1985.

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

- Landeros Ortiz - Zárate Aquino

Temas de Geotecnia

UNAM, México 1987.

- Louis Berger International Inc.

Evaluación estructural de Pavimentos con Métodos no destructivos.

Naucalpan, Estado de México 1989.

- Louis Berger International Inc.

Informe Técnico, Av. Central.

México 1989.

- Rico - Del Castillo

Ingeniería de suelos en las vías terrestres Tomo I, II.

Editorial Limusa, 6a. Edición, México 1990.

- SCT

Especificaciones para la construcción de pavimentos flexibles.

Tomos 8, 9 México D.F.

- SOP

Instructivo para la rehabilitación de pavimentos flexibles y rígidos de carreteras.

México 1974.