



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**Facultad de Ingeniería**

**Evaluación del Estado Actual y Reconstrucción  
del Pavimento de la Carretera Toluca-Morelia**

**T E S I S**

Que para obtener el título de :  
**INGENIERO CIVIL**  
p r e s e n t a n :

**ARTURO DIAZ LOZADA**  
**VICTOR ALBERTO SOTELO CORNEJO**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS  
ESTADO DE MORELIA

FACULTAD DE INGENIERIA  
EXAMENES PROFESIONALES  
60-1-159

A los Pasantes señores VICTOR ALBERTO SOTELO CORNEJO y  
ARTURO DIAZ LOZADA,  
P r e s e n t e s .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a ustedes a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor M. I. José Antonio Mendoza Márquez, para que lo desarrollen como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL Y RECONSTRUCCION DEL PAVIMENTO DE LA CARRETERA TOLUCA-MORELIA"

- I. Introducción
- II. Antecedentes de la carretera Toluca-Morelia
- III. Condiciones actuales
- IV. Trabajos de campo
- V. Trabajos de laboratorio
- VI. Análisis de resultados
- VII. Conclusiones y recomendaciones

Ruego a ustedes se sirvan tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberán prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, a 14 de agosto de 1979  
EL DIRECTOR

  
ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU

JJE/OBLH/ser

# CONTENIDO

EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL Y RECONSTRUCCION  
DEL PAVIMENTO DE LA CARRETERA  
TOLUCA - MORELIA

CONTENIDO.

I. INTRODUCCION.

1. Importancia de la evaluación y reconstrucción de pavimentos en caminos (variación en el tiempo del peso de vehículos y daños causados).
2. Características generales de la evaluación de pavimentos en caminos.
  - Descripción de Viga Benkelman, Dynaflect y Exploración más común.

II. ANTECEDENTES DE LA CARRETERA TOLUCA-MORELIA.

1. Descripción del problema.
2. Localización del camino.
3. Topografía.
4. Clima.
5. Geología.
6. Hidrología.

III. CONDICIONES ACTUALES.

1. Características del camino (diseño geométrico, tránsito, cortes y terraplenes).
2. Estado actual.
3. Conclusiones preliminares.

IV. TRABAJOS DE CAMPO.

1. Levantamiento detallado de daños.
2. Mediciones con Viga Benkelman.
3. Exploración de campo.
  - Sondeos, extracción de muestras, estudio de espesores y VRS.

V. TRABAJOS DE LABORATORIO.

VI. ANALISIS DE RESULTADOS.

1. Características de los materiales de las diferentes capas.
2. Refuerzos requeridos utilizando la información de Viga Benkelman.
3. Espesores requeridos utilizando el criterio del VRS.
4. Espesores requeridos utilizando el criterio del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

# CAPITULO I

## INTRODUCCION

## I. INTRODUCCION.

1. Importancia de la evaluación y reconstrucción de pavimentos en caminos (variación en el tiempo del peso de vehículos y daños causados).

La expansión económica que ha experimentado el país en las últimas décadas ha sido de tal magnitud, que los pronósticos de tránsito en los que se han basado los proyectos de los caminos han resultado, en la mayoría de los casos, insuficientes, no sólo en cuanto a volumen de tránsito, sino también en relación a las cargas de los vehículos.

Remontándonos un poco a la historia de los caminos en México encontramos, por ejemplo, que en 1925 prácticamente no existían caminos aptos para el tránsito de vehículos. A partir de esta fecha, en que se inician los proyectos de las carreteras México-Puebla y México-Pachuca, podemos decir que el desarrollo de la red Carretera Nacional arranca en ese momento.

En los años subsecuentes la red carretera se vio altamente incrementada, cumpliendo con su cometido, como es la comunicación entre polos de desarrollo. En la década de los 60s se observa una circunstancia un tanto especial, el incremento del volumen de tránsito, que hasta esta fecha se había venido comportando con una tasa de crecimiento prácticamente constante, crece notablemente. Tal es el incremento de vehículos, que la tasa de crecimiento de éstos supera a la tasa de crecimiento de la red carretera; significa esto que en cualquier

tramo de la red estarán circulando un número mayor de vehiculos que los que hasta esa fecha circularon, tal como se muestra en la fig. 1.

Por otra parte, los adelantos tecnológicos en la industria automotriz debido a la necesidad de transportar mayores cargas abatiendo los costos de transporte, han dado como resultado un notable incremento en las cargas transmitidas a los pavimentos.

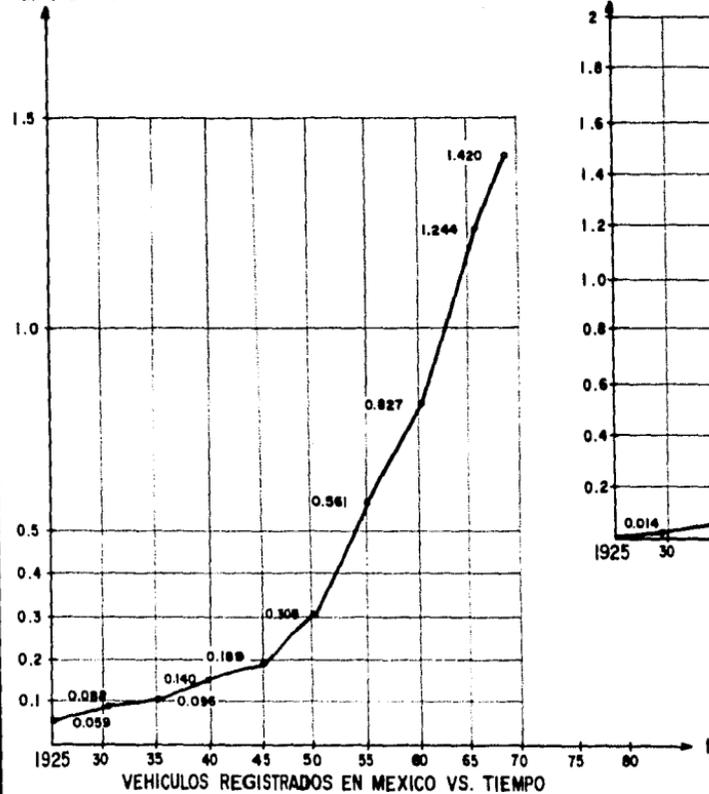
Ante estos adelantos, los caminos se han visto seriamente dañados puesto que, originalmente, éstos fueron diseñados con normas y factores de carga inferiores a los requerimientos actuales.

En nuestros días, nos encontramos con serios problemas en cuanto al estado físico de la red carretera nacional a pesar del mantenimiento normal de que es objeto.

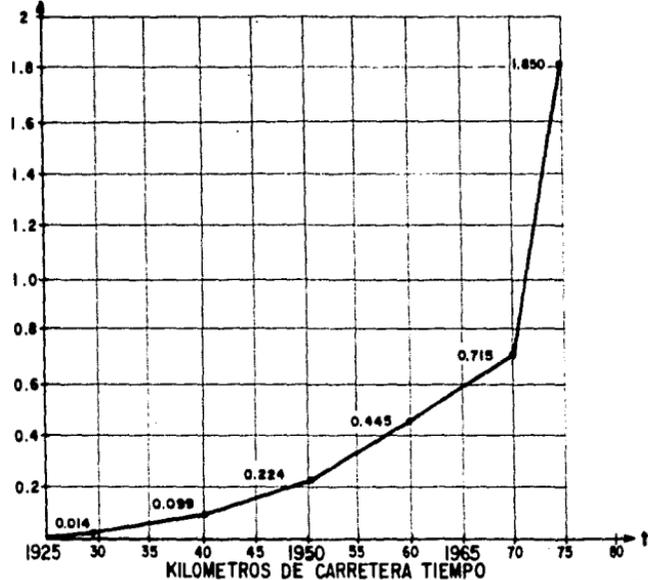
Ante estas circunstancias y con la necesidad de que la red carretera preste un servicio constante y seguro en cualquier época del año, surge la necesidad de recondicionar la red existente.

Para poder lograr lo antes expuesto, es necesario llevar a cabo estudios tendientes a evaluar las características estructurales y la calidad de servicio que presta un camino, con miras a definir las reparaciones, sustituciones y refuerzos necesarios para su rehabilitación, es decir, para devolver al mismo sus características de operación cómoda y segura, con una estructura tal, que lo

VEHICULOS x 10<sup>6</sup>



KM. x 10<sup>3</sup>



UNAM  
FACULTAD DE INGENIERIA

FIGURA  
1

GRAFICAS DE  
DESARROLLO

TESIS PROFESIONAL

OBSERVACIONES

mantenga por arriba del nivel mínimo aceptable durante la vida útil que se le asigne.

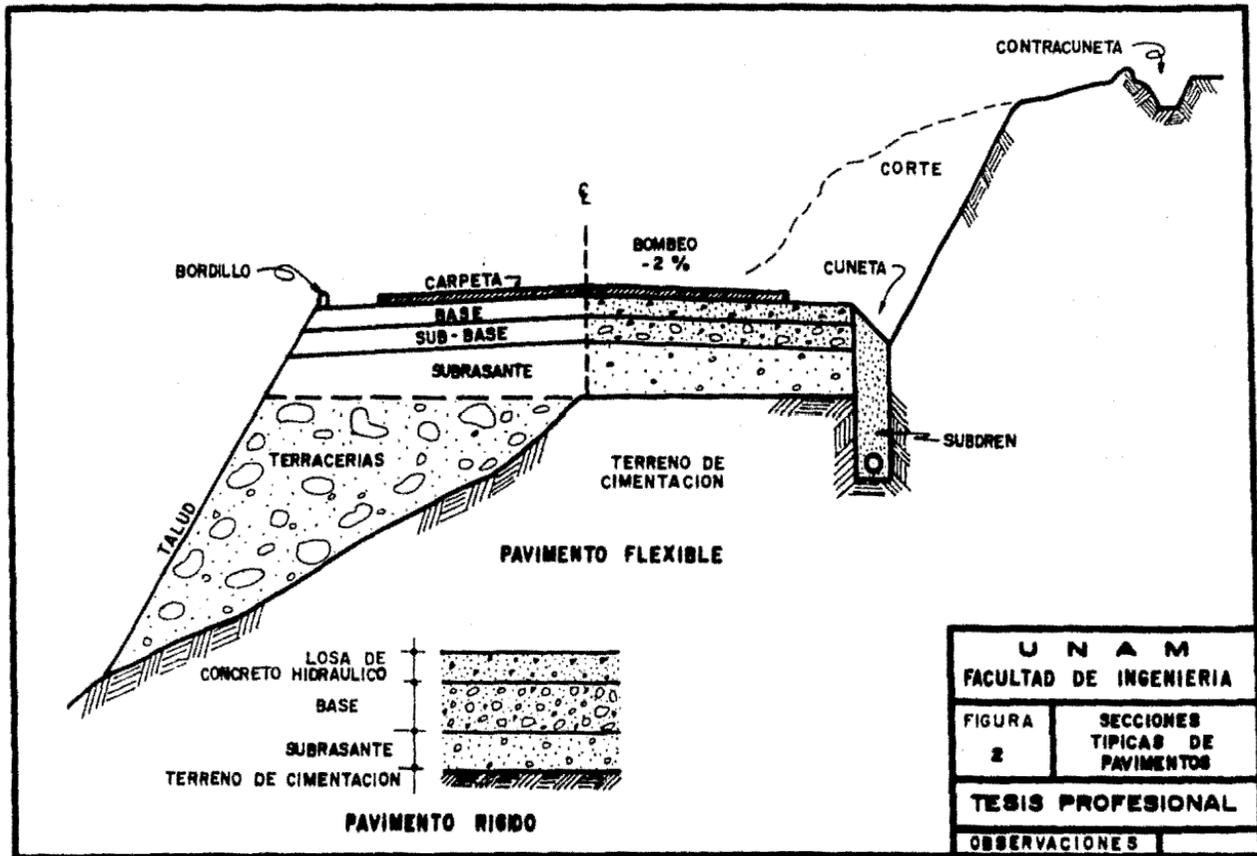
## 2. Características generales de la evaluación de pavimentos en caminos.

Antes de iniciar este tema, creemos necesario hacer un pequeño esbozo sobre las características generales de una carretera.

Los elementos fundamentales en la estructura de una carretera, una aeropista o una calle en una ciudad, son:

- A) Terreno natural o superficie de apoyo,
  - B) Terracerías,
  - C) Pavimento,
    - a) Pavimento rígido y
    - b) Pavimento flexible
  - D) Obras complementarias de drenaje superficial y subdrenaje.
- Ver fig. 2

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



B) Terracerías.- Corresponde ésta al conjunto de cortes y terraplenes que es necesario efectuar en la corteza terrestre para el libre paso de la obra vial, dando con esto el nivel adecuado para el desarrollo del proyecto. Los materiales utilizados en esta capa, se encuentran siempre sometidos a un tratamiento mecánico y en ocasiones muy especiales, mejorados mediante un proceso químico. Es importante recordar que los materiales constituyentes de esta capa deberán cumplir con ciertos requisitos de calidad.

C) Pavimentos.- Es una práctica generalizada subdividir a los pavimentos en dos rubros. Por una parte, los llamados pavimentos rígidos y por la otra los pavimentos flexibles.

a) Pavimentos rígidos.- Formados éstos en la mayoría de los casos por:

- Subrasante.- Constituida por material tratado generalmente a base de compactación.
- Base.- Capa de material granular de buena calidad o materiales estabilizados y compactados con normas rígidas; sobre ésta se coloca el elemento principal de este tipo de pavimento que es:
- Losa de concreto hidráulico.- Cuyas funciones primordiales son, en primer término, transmitir de una manera distribuida los esfuerzos producto de las cargas del tránsito; y en segundo lugar, proporcionar al tránsito una superficie adecuada para su circulación.

b) Pavimentos flexibles.- Este tipo de pavimentos está constituido por varias capas de diferentes materiales como son:

- Capa subrasante.- Constituida por material tratado generalmente a base de compactación.
- Capa sub-base.- Es una capa de material con requisitos de calidad, superiores que las terracerías, aunado siempre a un proceso de compactación; sobre ésta se encuentra;
- Capa base.- Capa de material granular de alta calidad compactado con normas rígidas. Sobre ésta se coloca la última capa llamada:
- Carpeta (superficie de rodamiento).- Mezcla de material pétreo y aglutinante asfáltico, compactado, cuya finalidad es la de brindar las características necesarias tanto estructurales como de seguridad para el tránsito de vehículos.

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

Creemos que es el momento oportuno para hacer énfasis en la importancia de las obras de drenaje y subdrenaje en un camión, pues es sabido de todos los ingenieros de caminos que en su gran mayoría, la causa principal de fallas en carreteras es el agua.

Después de haber expuesto algunas de las características básicas de carreteras, continuaremos con lo refe

rente a la evaluación de éstas.

Es común que se presenten dos enfoques para realizar los trabajos de campo en la evaluación, el primero de ellos tiende a la obtención sistemática de toda la información, el segundo consiste en programar cada etapa en base a los resultados obtenidos de etapas anteriores; si se toma en cuenta que la obtención de información implica trabajos, tales como exploración, pruebas de campo y laboratorio, etc., se comprenderá fácilmente que un programa sin un cierto objetivo, resultaría costoso y se correría el riesgo de pasar por alto información importante.

Por otra parte, siendo las carreteras obras lineales de gran extensión, es necesario dividir las para su estudio en tramos homogéneos; además, en muchos casos se pueden llevar a cabo correlaciones entre el estado superficial del pavimento y su nivel de servicio.

Las razones antes expuestas nos llevan a concluir que la división habrá de realizarse atendiendo a tres grupos de criterios generales:

- A) Los ambientales
- B) Los estructurales
- C) Los de evaluación superficial de daños

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

a) Litología.- Quizá como primera etapa en la investiga

ción se haga uso de las cartas que publica DETENAL.

- b) Climatología
- c) Hidrogeología
- d) Estratigrafía
  - Perfil de suelo
  - Perfil de alteración
- e) Morfología o Topografía

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

- a) Cortes y Terraplenes
- b) Tipos de materiales
  - Suelos y rocas
  - Estabilidad volumétrica
  - Rigidez
  - Resistencia
- c) Estabilidad de taludes
- d) Estabilidad del terreno natural
- e) Erosiones y deslaves
- f) Drenaje y subdrenaje

C) Los de evaluación superficial de daños.-

- a) Trabajos de mantenimiento realizados a la fecha.
  - Posibles criterios de falla
  - Identificación de zonas críticas
- b) Levantamiento de daños.
  - Grietas.- mapeo, piel de cocodrilo, longitudinales, transversales.
  - Teniendo en cuenta que si el porcentaje de grietas en la zona en estudio es superior al 20 ó 25%

del área, se deberá considerar como un pavimento fallado. Este tipo de evaluación será siempre subjetiva y a juicio del ingeniero.

c) Roderas.

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

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

d) Desprendimientos.

- Por falta de adherencia.
- Por agrietamiento.

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

e) Baches.

f) Ondulaciones longitudinales.

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

g) Resistencia al derrapamiento.

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

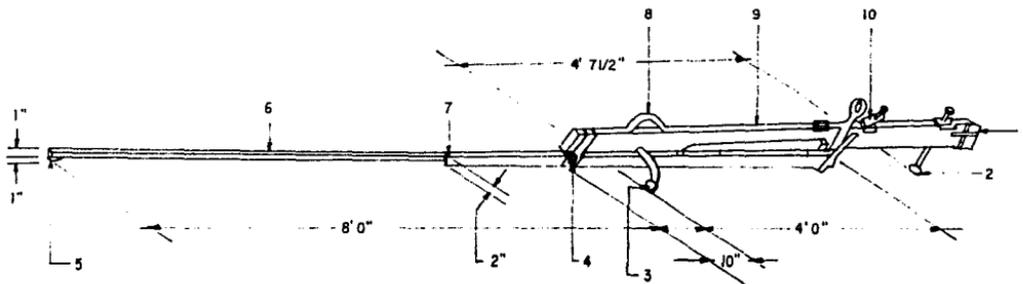
Una de las herramientas más usadas en la actualidad en la evaluación de pavimentos, es la llamada Viga Benkelman, aparato capaz de medir las deflexiones de un pavimento al paso de una carga, mediciones que se vuelven de gran utilidad al estar estandarizada la prueba, algunas de sus características son las siguientes:

Aparato para mediciones estáticas del tipo de carga y rebote, su aproximación es del orden de 0.001", la carga aplicada se obtiene mediante un eje de 8.2 tn.

Un croquis del mismo se muestra en la fig. 3.

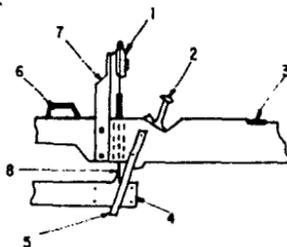
El Dynaflect es otra herramienta de gran utilidad en este tipo de problemas, aunque en México, no usada con gran frecuencia. Este aparato también mide deformaciones en la superficie de un pavimento, aunque su forma de trabajo es diferente. Es un mecanismo electromecánico capaz de inducir un estado de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

El Dynaflect está montado en un trailer de dos rue



### DESCRIPCION DE PARTES DE LA FIGURA

- |                             |                        |
|-----------------------------|------------------------|
| 1 ) BATERIA                 | 6 ) VIGA SONDA         |
| 2 ) APOYO TRASERO AJUSTABLE | 7 ) JUNTA RIGIDA       |
| 3 ) APOYO DELANTERO         | 8 ) AGARRADERA         |
| 4 ) PIVOTE EMBALERADO       | 9 ) VIGA DE REFERENCIA |
| 5 ) PIE DE LA SONDA         | 10 ) VER DETALLE "A"   |



DETALLE "A"

### DETALLE "A"

- |                              |                              |
|------------------------------|------------------------------|
| 1 ) EXTENSOMETRO DE CARATULA | 5 ) GUIA DE LA VIGA          |
| 2 ) SEGURO DE LA VIGA        | 6 ) ZUMBADOR                 |
| 3 ) INTERRUPTOR DEL ZUMBADOR | 7 ) SOSTEN DEL EXTENSOMETRO  |
| 4 ) SONDA                    | 8 ) VASTAGO DEL EXTENSOMETRO |

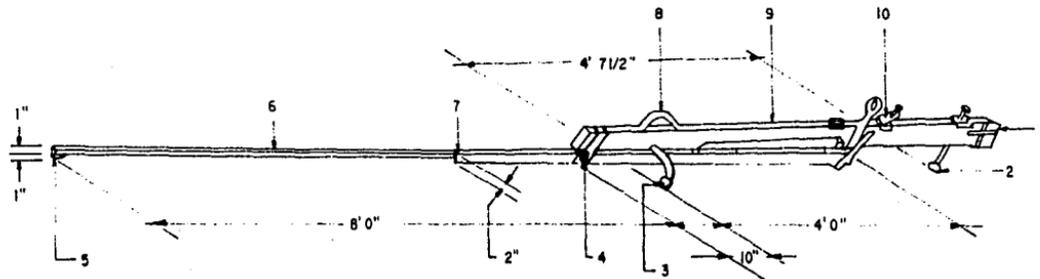
UNAM  
FACULTAD DE INGENIERIA

FIGURA  
3

VIGA  
BENKELMAN

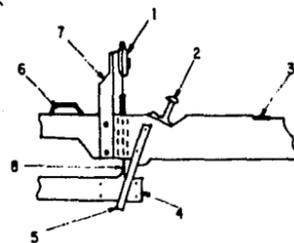
TESIS PROFESIONAL

OBSERVACIONES



### DESCRIPCION DE PARTES DE LA FIGURA

- |                            |                       |
|----------------------------|-----------------------|
| 1) BATERIA                 | 6) VIGA SONDA         |
| 2) APOYO TRASERO AJUSTABLE | 7) JUNTA RIGIDA       |
| 3) APOYO DELANTERO         | 8) AGARRADERA         |
| 4) PIVOTE EMBALERADO       | 9) VIGA DE REFERENCIA |
| 5) PIE DE LA SONDA         | 10) VER DETALLE "A"   |



DETALLE "A"

### DETALLE "A"

- |                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 1) EXTENSOMETRO DE CARATULA | 5) GUIA DE LA VIGA          |
| 2) SEGURO DE LA VIGA        | 6) ZUMBADOR                 |
| 3) INTERRUPTOR DEL ZUMBADOR | 7) SOSTEN DEL EXTENSOMETRO  |
| 4) SONDA                    | 8) VASTAGO DEL EXTENSOMETRO |

U N A M  
FACULTAD DE INGENIERIA

FIGURA  
3

VIGA  
BENKELMAN

TESIS PROFESIONAL

OBSERVACIONES

das que puede ser remolcado a una velocidad normal, mediante un automóvil convencional. Para hacer las mediciones, el automóvil se detiene en el lugar de prueba donde se hacen descender el vibrador y los geófonos hasta tocar el pavimento.

Estas mediciones se emplean para determinar la vida útil de los pavimentos y su capacidad estructural mediante el uso de correlaciones con los deflectómetros estáticos.

La mayor ventaja de este aparato es realizar mediciones rápidas y precisas, utilizando referencias inerciales.

Hasta ahora sólo hemos mencionado tanto la Viga Benkelman como el Dynaflect en trabajos de exploración. A continuación trataremos de resumir en forma breve la práctica común que complementa una exploración de caminos, con miras a su evaluación:

A) Sondeos:

a) Con perforadora.

- De carpeta.
- De base.
- De terracerías.

b) Sondeos a cielo abierto.

- De carpeta.
- De base.
- De sub-base.
- De subrasante.
- De terracerías.

La ubicación de los sondeos se deberá hacer en base a un estudio estadístico de las zonas en que se haya divi dido el camino, o bien en zonas críticas o de posibles problemas, ésto, a juicio del ingeniero encargado.

B) Ensayes de campo y laboratorio:

- a) Deflexiones.
- b) Índice de resistencia VRS en el lugar.
- c) Contenido de agua de equilibrio.
- d) Índice de resistencia VRS en muestras inalte radas.
- e) Ensayes de clasificación.
  - Calidades usuales en terracerías con espe- cial atención a los materiales finos.
- f) Grado de compactación.
  - Permanencia de la compactación.
  - Procedimientos de construcción.
- g) Equivalentes de arena.

C) Trincheras exploratorias.

D) Levantamiento detallado de daños y ubicación.

E) Determinación del perfil transversal del pavimen- to en puntos críticos y muestreados.

F) Aforos de tránsito.- La información deberá con- tener:

- a) TPDM.- Tránsito promedio diario mensual o anual.
- b) Clasificación vehicular por sentido.
- c) Tasa de crecimiento.
- d) Vehículos de características especiales.

## CAPITULO II

### **ANTECEDENTES DE LA CARRETERA TOLUCA-MORELIA**

## II. ANTECEDENTES DE LA CARRETERA TOLUCA-MORELIA.

### 1. Descripción del Problema.

La carretera que se pretende evaluar, constituye actualmente el paso obligado entre las capitales de los estados de México y Michoacán. Ambas entidades en esta zona, altamente productivas desde el punto de vista agrícola y turístico, hacen que esta carretera se convierta en el principal acceso entre esos dos estados. Asimismo, constituye la alternativa más importante que une la capital de la República con los estados mencionados. Lo anterior indica que el tramo Toluca-Zitácuaro, soporta un tránsito entre medio y alto, donde su composición vehicular reporta un alto porcentaje de vehículos pesados, alcanzando un 37% (9) del total de los que circulan. Además, si recordamos que la zona en la que se ubica este camino es de una fuerte precipitación pluvial, aunado a otros factores como son tipo de suelo, topografía, clima, etc., han hecho que esta vía de comunicación haya sufrido fuertes deterioros, impidiendo la segura y cómoda circulación en ella.

A la fecha, los trabajos para mantener los niveles de servicio dentro de límites aceptables han sido inútiles, ocasionando solamente cuantiosas pérdidas económicas. Todos estos factores han llevado a las autoridades interesadas a decidir llevar a cabo un estudio profundo para determinar las causas que motivan las constantes fallas que se presentan a lo largo de éste, así como propner algunas alternativas de solución a este problema, evitando así gastos inútiles y cuantiosos en la conservación del

camino.

## 2. Localización del Camino.

La localización del camino en estudio se ubica geográficamente entre los paralelos 19º y 20º del hemisferio norte y entre los meridianos 99º y 101º; al oeste de la ciudad de Toluca. El estudio realizado comprende desde el kilómetro 8+000 hasta el 70+000 con origen en Toluca, tramo comprendido dentro de los límites del Estado de México.

En la fig. 4 se muestra un plano de localización del camino.

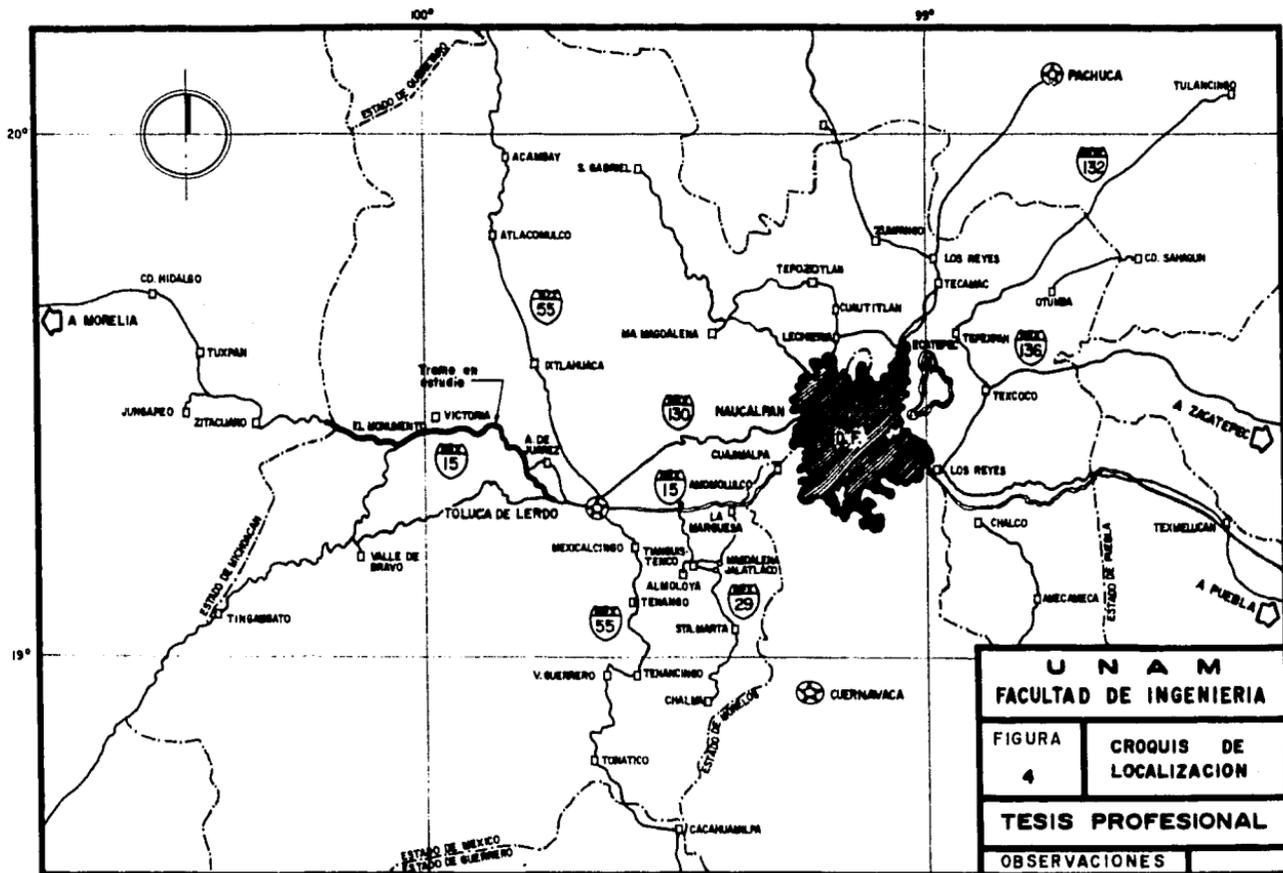
## 3. Topografía.

El desarrollo de la carretera en estudio se encuentra en su tramo inicial dentro del Valle de Toluca, formando éste parte de la Cuenca del Río Lerma.

La topografía en esta zona corresponde a un lome-río suave con pequeñas elevaciones que no provocan pendientes fuertes ni radios de curvatura pequeños en su diseño geométrico.

El segundo tramo se inicia en el kilómetro 40+000 aproximadamente, donde el camino empieza a internarse en un terreno montañoso, aunque en su diseño geométrico no se observan pendientes muy fuertes, sí existen desarrollos más largos.

A continuación citamos algunas altitudes sobre el nivel del mar, del camino con relación a su kilometraje.



<b>UNAM</b>	
<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>	
FIGURA	CROQUIS DE LOCALIZACION
4	
<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
OBSERVACIONES	

KILOMETRO	ALTITUD	REFERENCIA
8+000	2720	Desviación a Almoloya de Juárez
10+000	2720	Desviación a Sta. María del Monte
20+000	2570	Desviación a Almoloya de Juárez
30+000	2600	Cieneguillas
48+000	2640	Desviación a Villa Victoria
56+000	2630	Desviación a San Martín Obispo (Los Berros)
65+000	2560	Desviación a Villa de Allende (Bosencheve)
70+000	2790	Lengua de Vaca (límites estatales)

#### 4. Clima.

De acuerdo a las cartas de clima publicadas por DETENAL (Dirección de Estudios del Territorio Nacional), la carretera en estudio se encuentra en su totalidad dentro de la zona clasificada como C(W<sub>2</sub>) (W) bi (clasificación de climas según Koppen y modificada por E. García).

C.- Clima templado húmedo, con temperaturas del mes más frío entre -3° y 15° C, y temperatura en el mes más cálido mayor de 6.5° C.

W<sub>2</sub>.- El más húmedo de los templados subhúmedos con lluvias en verano, con un cociente P/T mayor de 55 mm/°C.

(P=precipitación anual en mm; T=temperatura media anual en °C).

W.- Porcentaje de lluvia invernal menor del 5% de la anual.

b.- Verano fresco, largo, temperatura media del mes más caliente entre 6.5 y 22° C.

i.- Oscilación isothermal menor de 5° C.

La temperatura media anual es de 14° C.

## 5. Geología.

Para tener una visión general de los problemas que se han generado en la zona, creemos necesario desarrollar el tema en la siguiente forma:

El camino en estudio queda comprendido dentro de la Provincia fisiográfica de la Faja Volcánica Transmexicana (Mooser 1960) o también conocida como Eje Neovolcánico (Ruiz 1948). Esta se caracteriza por ser una Provincia con derrames Volcánicos del Terciario y Cuaternario. Esta circunstancia ha provocado la existencia de grandes valles, o cuencas rodeadas por volcanes; los valles generalmente rellenos por grandes espesores de aluvión, producto de la erosión de los volcanes del Terciario y en menor aportación de los del Cuaternario.

El modelo tectónico propuesto actualmente presenta un enrejado de fallas Laterales, cuyas características principales son las de ser fallas Dextrales y orientadas de SW-NE; además existe un juego de fracturas simples orientadas de SE-NW (Perpendicular a las Laterales). Al occidente de la Provincia Fisiográfica encontramos otra zona de fracturamiento, en este caso concéntrico hacia el Pacífico, llamado Arco Tarasco. Por último en la zona sur de la Provincia, existe una serie de fallas paralelas con dirección E-W, coincidiendo con los grandes volcanes como son el Popocatepeti, Nevado de Toluca, Citlaltépeti, etc.

El camino en estudio atraviesa dos zonas características, producto del modelo tectónico antes mencionado. En la parte cercana a la ciudad de Toluca nos encontramos con una gran fosa tectónica rellena con tobas, aluviones

y areniscas, producto de la erosión de los volcanes circundantes, formando parte de la Cuenca del Río Lerma.

En la zona cercana a Zitácuaro el camino se inter-  
na en zonas de derrames volcánicos constituidos por mate-  
riales que van de ácidos a básicos. Cabe mencionar que  
en esta área se encuentran los mencionados derrames, tan-  
to del Terciario como del Cuaternario, presentando los  
primeros una serie de problemas en cuanto a estabilidad,  
debido a la alteración que han sufrido estos materiales,  
dando como resultado arcillas caoliníticas, materiales  
finos, etc. En cuanto a los derrames del Cuaternario, no  
presentan graves problemas.

#### 6. Hidrología.

En forma muy general podemos decir que el camino  
en estudio se encuentra en la Cuenca del Río Lerma, aunque  
atraviesa algunas cuencas de pequeñas dimensiones. Como  
mencionamos en el inciso "4", referente al Clima, nos en-  
contramos con una zona templada húmeda, clima que se ca-  
racteriza por una precipitación anual media, en este caso,  
llegando a cifras del orden de 1,000 mm. El mes más llu-  
vioso del año es julio, con una precipitación de 180 mm,  
y los meses de menor precipitación son febrero y marzo,  
llegando tan sólo a los 10 mm. Sin embargo, podemos men-  
cionar que es una zona en la que las lluvias están presen-  
tes en todas las épocas del año.

## CAPITULO III

### CONDICIONES ACTUALES

### III. CONDICIONES ACTUALES.

#### 1. Características del Camino.

##### A) Diseño Geométrico.

En general, el camino se encuentra, como ya se mencionó, en una zona que va de lomerío suave a montañoso, sin llegar a ser una topografía escarpada en ningún momento. Lo antes mencionado provocó en su diseño geométrico las siguientes características:

- a) Entre los kilómetros 8+000 y 45+000 aproximadamente, nos encontramos con un diseño geométrico caracterizado por curvas amplias correspondientes a radios de curvatura grandes, con pendientes suaves del orden del 5% como máximo, aunque en ocasiones sostenidas en grandes distancias. En general el diseño es bueno, cumpliendo con los requisitos de peralte, visibilidad, ampliaciones en curvas, etc.
- b) Entre los kilómetros 45+000 y 71+000, límite con el Estado de Michoacán, las características geométricas del camino se tornan un poco más severas con respecto a los radios de curvatura y a pendientes, consecuencia lógica, pues el camino penetra en la zona montañosa ya mencionada anteriormente.

Como datos adicionales, podemos mencionar que en todo el desarrollo del camino, los anchos de corona varían entre 6.00 m y 7.40 m. Originalmente el camino debió contar con un acotamiento mínimo de 0.50 m, aunque en la ac-

tualidad es prácticamente inexistente.

#### B) Tránsito.

A continuación presentamos un resumen de los datos viales obtenidos de la carretera en estudio en los años de 1974, 1975, 1976 y 1977. El resumen incluye el kilómetro donde fue realizado el aforo, el nombre del poblado más próximo, el tránsito promedio diario anual aforado en los años indicados, además la clasificación vehicular en algunos puntos de la carretera. La clasificación se presenta en la forma acostumbrada A-B-C, donde A es el porcentaje de automóviles, B el porcentaje de camiones de pasajeros y C el porcentaje de vehículos pesados.

Km	Lugar	T P D A				Clasif. Vehicular
		1974	1975	1976	1977	
		A	ñ	o	s	A B C %
7+440	Valle de Bravo	4250 3200	5000	7300 5200	5670 3458	53-16-31
18+000	San Miguel Arcángel		5200	5200		
23+000	San Pedro		3900	4100		
29+540	Tabernillas		4000	4050 3200		
33+088	Yeburcibi		3200	3200	3425	
36+010	La Gavia	2950 2500	3200		3275	
45+925	Villa Victoria		3200	3600 3200	2744 3468	67-12-21 48-14-38
53+820	Desv. Valle de Bravo		3400 2000	3600 2050	2704 2110	60-16-24
57+210	Loma de Juárez		1900 2200	2150 2050	2265	
63+420	San José Allende		2100	2800 2150	2205	
77+520	Macho de Agua	2300	2500 4500	4700 2800		

### C. Cortes y Terraplenes.

En relación a este punto, hemos tratado, como en casos anteriores, de zonificar el desarrollo de la vía. De una manera somera podemos decir que entre los kilómetros 8+000 y 45+000 aproximadamente, los cortes son en general pequeños, alcanzando los 2.00 m como máximo. Lo mismo podemos decir de los terraplenes, fueron construidos cumpliendo sólo con las normas de construcción, alcanzando valores del orden de 1.50 m, y en zonas muy localizadas, un poco más elevados.

En la zona entre los kilómetros 45+000 y los límites de Estados, con la topografía más difícil, se hizo necesaria la realización de cortes un poco más grandes, llegando a alturas no mayores de 6.00 m. En relación a los terraplenes, éstos también tuvieron que hacerse mayores, sobre todo en lugares donde fue necesaria la colocación de alcantarillas.

### 2. Estado actual.

El pavimento del tramo en estudio presenta en forma predominante agrietamientos y deformaciones, y en algunos tramos se nota el desprendimiento de agregados.

En lo que respecta al agrietamiento, puede decirse que éste es, en su mayor parte, del tipo poliédrico, conocido también como piel de cocodrilo, aunque también se presentan grietas longitudinales. Se presentan ligeras canalizaciones o roderas, hundimientos localizados y una gran cantidad de distorsiones debidas a inestabilidad en la carpeta.

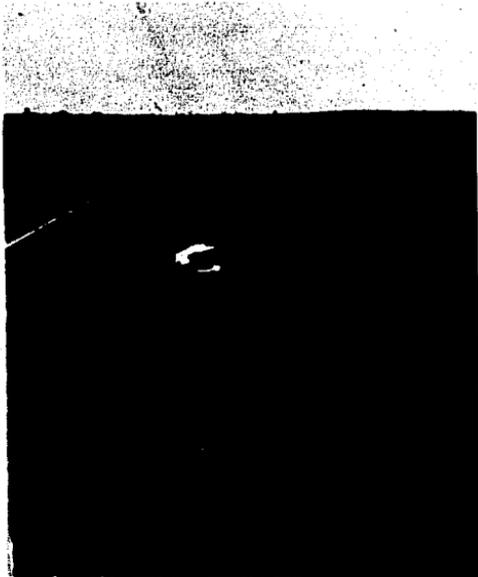


Foto N° 1. Km 14+400  
Bache en rodada exterior de reciente reparación.  
Carpeta con agregados de tezontle.  
Cunetas no revestidas.

Foto N° 2. Km 52+700  
Sobrccarpeta reciente aún en buenas condiciones. Cunetas no revestidas.



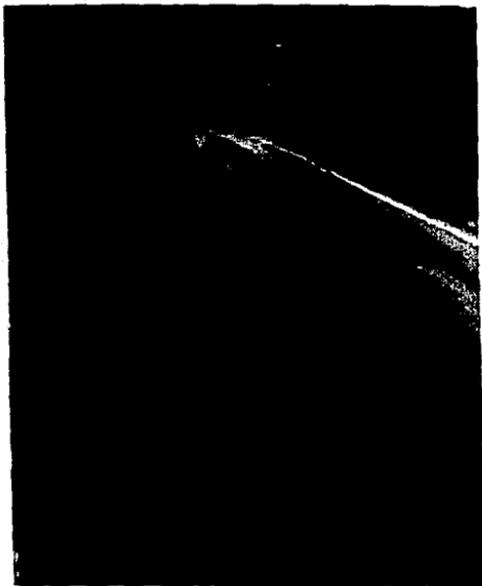


Foto Nº 3. Km 63+100  
Rodera exterior. Nó-  
tese el agrietamien-  
to en piel de cocodr-  
dilo y la deforma-  
ción sufrida.  
Sobre la línea blan-  
ca obsérvense las de-  
formaciones de la  
carpeta.  
Falta de mantenimien-  
to en cunetas no re-  
vestidas.

Foto Nº 4. Km 68+100  
Sobrecarpeta deformada por corrimiento de la  
misma, a causa de su mala construcción.



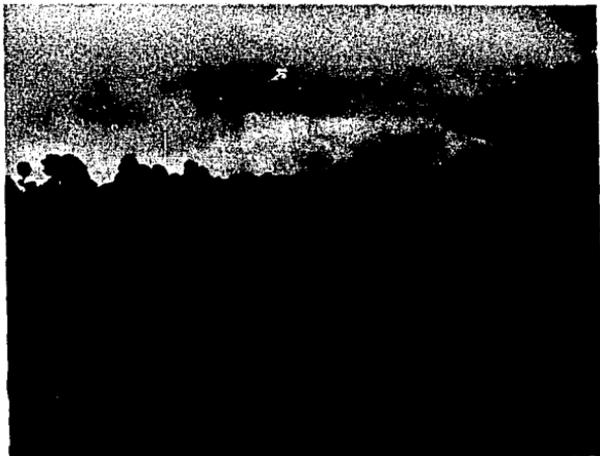


Foto Nº 5.  
Km 60+500  
Nótese el  
flujo de  
agua sobre  
la carpeta  
a causa de  
la mala  
ubicación  
y encauza-  
miento de  
las obras  
de drenaje.

Foto Nº 6.  
Detalle de la Foto Nº 5. Nótese la forma-  
ción de baches por efecto del paso de vehí-  
culos y el flujo de agua.



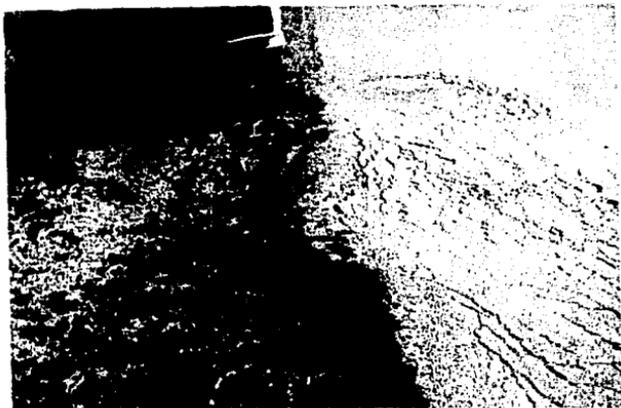
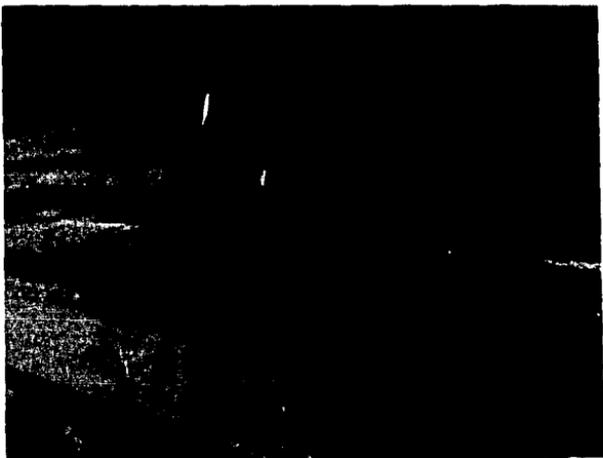


Foto N° 7.  
Km 65+140  
Desplazamiento de carpeta en la rodada exterior.

Foto N° 8. Km 71+100  
Carpeta aparentemente en buen estado con pequeños agrietamientos. Nótese el lloradero de agua a causa de la infiltración proveniente de las zonas altas.



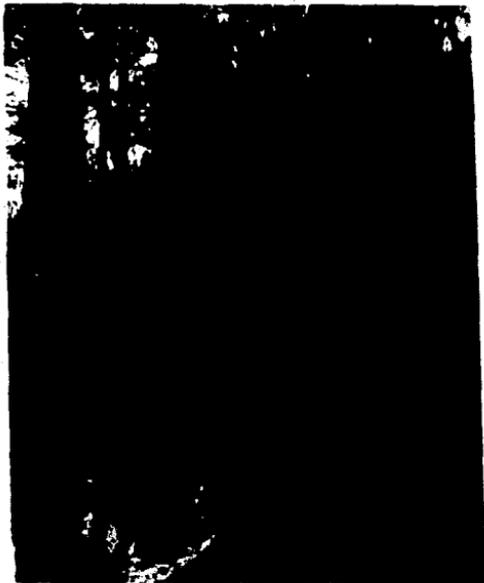
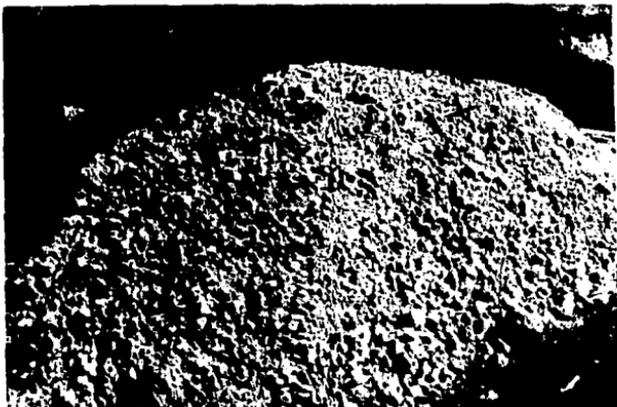


Foto Nº 9. Km 71+300  
Detalle de un corte  
característico de la  
zona en la que predomina  
los materiales poco densos (espumas  
volcánicas).

Foto Nº 10. Km 71+300  
Detalle de los materiales mostrados en la  
Foto Nº 9. Material usado para subrasante  
en esta zona.



En un gran porcentaje del tramo en estudio, se han colocado sobrecarpetas, lo que dificultó la observación directa del estado real de la estructura del pavimento. Por otro lado, cabe mencionar que se ha efectuado una labor intensa de bacheo a todo lo largo del camino, aunque dicho bacheo no ha sido suficiente en la solución del problema original, pues también se nota que las zonas reparadas presentan los mismos problemas.

Hacemos notar que en cuanto a las cunetas, éstas, en general, no son objeto de un mantenimiento adecuado, mencionando también que en ningún caso están revestidas y en ocasiones mal encauzadas, ocasionando erosiones e infiltraciones no deseadas. Además, en general podemos decir que las condiciones de drenaje y subdrenaje han sido un tanto precarias y es, sin duda, una de las principales causas del mal comportamiento de los pavimentos.

### 3. Conclusiones Preliminares.

A) Los daños superficiales observados son agrietamientos intensos, deformaciones permanentes, desprendimientos de carpeta y un drenaje deficiente.

- a) Deformaciones.- En casi toda la longitud del tramo en estudio existen deformaciones que coinciden con las rodadas de los vehículos, tanto en la rodada exterior como en la interior, aunque de mayor magnitud en la exterior. Estas deformaciones son típicas de secciones estructurales insuficientes para resistir las cargas impuestas, o bien, de sec

ciones estructurales que han llegado al final de su vida útil, debido a la acumulación de deformación permanente producida por un gran número de aplicaciones de carga. La mala calidad de las sobrecarpetas ha originado también la formación de corrugaciones en la superficie de rodamiento. Los materiales utilizados para el bacheo los hemos encontrado con los mismos defectos.

- b) Agrietamientos.- Todas las carpetas que no han sido cubiertas recientemente con sobrecarpetas muestran un patrón de agrietamiento intenso en forma de piel de cocodrilo. Este agrietamiento es típico de carpetas sobre estructuras deformables, lo que origina su fatiga a temprana edad. La causa parece estar precisamente en la deformabilidad de las estructuras, lo que propicia un fuerte agrietamiento en las carpetas y desencadena el mecanismo de formación de baches.
- c) Desprendimientos.- Pueden observarse dos tipos clásicos de desprendimientos: el desprendimiento de fragmentos en carpetas muy agrietadas y relativamente viejas, y el desprendimiento de sobrecarpetas mal ligadas a la carpeta que cubre.

En el primer caso las causas que provocan este problema son la consecuencia lógica del agrietamiento antes mencionado, aunado al mal drenaje con que cuenta el camino, provocando en ciertos casos el fenómeno de bombeo.

En el segundo caso, las causas se encuentran en los procedimientos de construcción. Suces-

de frecuentemente que sobre las carpetas con  
truidas bajo estrictas normas de calidad, se  
colocan sobrecarpetas de mucha menor calidad  
y no se ligan adecuadamente, por lo que pos-  
teriormente se deforman y desprenden.

B) El clima regional con lluvias en todo el año y  
el mal drenaje, provocan que exista en cualquier momento  
la posibilidad de flujo de agua dentro y bajo el pavimen-  
to.

C) Las costosas recnstrucciones y los elevados co  
tos de conservación, parecen justificar la adopción de so-  
luciones radicales en el camino en estudio. Lo anterior  
se refuerza con el hecho de que este camino es representa-  
tivo de un gran número de carreteras en la red nacional, y  
su reconstrucción y observación pueden proporcionar infor-  
mación fundamental para el tratamiento de otros caminos.

## CAPITULO IV

**TRABAJOS DE CAMPO**

#### IV. TRABAJOS DE CAMPO.

De acuerdo a nuestro programa general discutido en el Capítulo I, podemos decir que en base a las conclusiones preliminares obtenidas en el capítulo anterior debemos entrar a la siguiente etapa de investigación tendiente a mejorar y completar la información obtenida hasta ahora.

##### 1. Levantamiento detallado de daños.

A continuación nos hemos concretado a mostrar un listado o tabla en la que mencionamos el kilometraje relacionado con el daño o falla observados.

La finalidad de mostrar una tabla como la que presentamos a continuación es el poder ver en una forma objetiva los diferentes tramos en los que podremos subdividir el camino, con objeto de atacar problemas afines en dichos tramos.

## LEVANTAMIENTO DE DAÑOS

KM.	DAÑOS	OBSERVACIONES
8+000	Rodera exterior e interior leve, pavimento con textura abierta permeable.	
9+000	Pequeñas roderas de 1 cm de profundidad.	Cunetas no revestidas.
13+300	Baches localizados y de grandes dimensiones.	Cunetas no revestidas.
14+400	Bache con fuertes deformaciones hacia afuera del terraplén, no existen cunetas revestidas en zonas de baches, se nota poca afinidad de los materiales con el asfalto, agregados de tezontle, se nota disgregación.	
17+800	Baches mal reparados.	
18+150	Baches localizados y mal tratados con desprendimientos.	
21+000	Piel de cocodrilo en toda la carpeta, desprendimientos ligeros, sobrecarpeta de 8 cm, roderas poco marcadas.	Cunetas sin revestir
21+700	Bacheo intenso, deformación en el centro y en la parte exterior en la zona de roderas.	
24+900	Bacheo intenso con deformaciones hacia afuera del terraplén, principalmente en las curvas.	
28+600	"Cieneguillas". Bacheo intenso, piel de cocodrilo, deformaciones	
30+900	Deformaciones hacia el exterior del terraplén y bacheo intenso, falta de drenaje.	
40+100	Deformaciones en el centro del camino, afectando exclusivamente la carpeta. Zonas localizadas de desprendimientos.	
46+800	Villa Victoria. Se colocó un sello. Existen fuertes deformaciones localizadas, un pozo	

## LEVANTAMIENTO DE DAÑOS

KM.	DAÑOS	OBSERVACIONES
	una rodera continua: no existe desprendimiento.	
49+100	Comienza cambio de topografía y vegetación.	
52+700	Zona de baches con deformaciones "Sitos de Conasupo", sello recién construido, buena textura y sin deformaciones.	Pocas curvetas y sin revestir.
54+800	Desviación a Valle de Bravo. Termina sello recién construido.	
60+000	Pavimento en muy mal estado, deshecho, casi intransitable.	
60+400	Tramo en reparación, se pudo desprender la sobrecarpeta, ya que ésta no tiene cohesión y se desnaçe con la mano, falta de asfalto o penetración de él.	
60+500	La carpeta que quedó se ve sin muchos deterioros, por lo que puede decirse que se levantó la sobrecarpeta sin mucho trabajo, "falta de riego de liga".	
62+400	Bosencheve. Idem al anterior, aunque en algunos lugares no se ha levantado la sobrecarpeta, existiendo fuertes baches con bacheo mal realizado. Tramo en reparación con el problema descrito.	
63+100	Fuertes deformaciones, al igual que en todo el trayecto de Bosencheve, poca de cocodrilo, fuertes desprendimientos. Deformaciones en la carpeta, agrietamiento en ella y bacheo intenso.	
70+200	En las zonas de corte existen infiltraciones de agua en la carpeta, arrastrando material fino por entre las grietas que ésta presenta.	

## LEVANTAMIENTO DE DAÑOS

KM.	DAÑOS	OBSERVACIONES
71+100	<p>Existe sobrecarpeta de 10 cm de espesor que también está agrietada.</p> <p>Corte en material pumítico (ceniza volcánica) muy permeable, degradable.</p>	

Con base en las observaciones de campo y el análisis detallado de la tabla anterior, podemos subdividir al camino en tres tramos con características semejantes cada uno de ellos:

A) Entre los kilómetros 8+000 y 17+000 aproximadamente, el pavimento se encuentra en buenas condiciones, presentando pequeñas deformaciones, baches aislados y agrietamientos en forma de piel de cocodrilo.

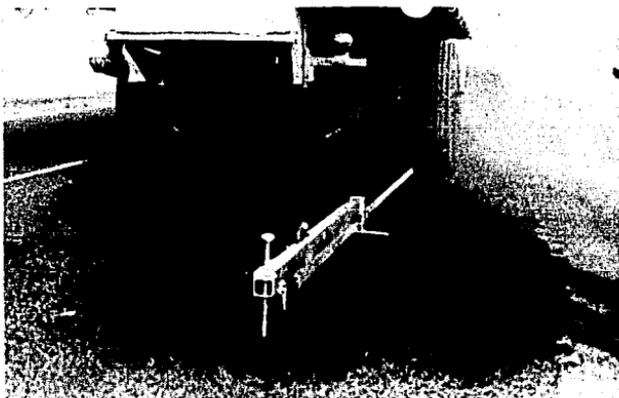
B) Del kilómetro 17+000 al 49+000, nos encontramos en una zona donde se presentan deformaciones longitudinales y transversales, con fuertes agrietamientos y baches mal tratados en sus reparaciones, principalmente en las curvas horizontales. Cabe aclarar que en este tramo existen pequeñas zonas sin problemas.

C) A partir del kilómetro 49+000, donde empieza la zona montañosa hasta el límite con el Estado de Michoacán, nos encontramos con un tramo en el que su pavimento se puede considerar fallado, debido a fuertes deformaciones, baches, agrietamientos, desprendimientos de carpeta y graves deficiencias en el drenaje y subdrenaje del camino.

## 2. Mediciones con Viga Benkelman.

Con la información obtenida de los recorridos efectuados, el camino en estudio se dividió en tramos con características semejantes; en cada uno de ellos se realizaron pruebas con Viga Benkelman con el fin de obtener medidas de deflexión con las cuales inferir las características estructurales del pavimento del camino y el posible refuerzo necesario.

Los tramos y mediciones obtenidos en ellos se muestran en las siguientes tablas, asimismo se presentan los análisis estadísticos y parámetros de diseño de pavimentos, tendientes a la aplicación de los mismos.



Detalle de la Prueba de Medición de deformaciones con VIGA BENKELMAN.

## V I G A   B E N K E L M A N

**CAMINO :** TOLUCA-MORELIA      |      **TRAMO :** TOLUCA-ZITACUARO  
**ORIGEN :** TOLUCA                      |      **TRAMO DE PRUEBA :** 8+500 A 9+000  
**CARRIL :** DERECHO                      |      **FECHA :** OCTUBRE 1978      **TABLA :** 1

KM.	RODADA	DEFORMACION 10 <sup>-3</sup> pulg.	TEMP. SUPERF.	TEMP. AMBIENTE	OBSERVACIONES
8+500	Ext.	36	20	13	
8+520	"	42	19	"	
8+540	"	36	19	"	
8+560	"	52	18	"	
8+580	"	34	18	"	
8+600	"	54	18	"	
8+620	"	46	18	"	
8+640	"	42	18	"	
8+660	"	34	18	"	
8+680	"	34	20	"	
8+700	"	56	19	"	
8+720	"	40	21	"	
8+740	"	46	20	"	
8+760	"	48	21	"	
8+780	"	48	20	"	
8+800	"	50	21	"	
8+820	"	52	20	"	
8+840	"	60	20	"	
8+860	"	64	20	"	
8+880	"	50	21	"	
8+900	"	52	20	"	
8+920	"	42	20	"	
8+940	"	28	21	"	
8+960	"	24	21	"	
8+980	"	32	21	"	
9+000	"	30	21	"	

**ANALISIS :**

$$n = 26$$

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = 43.538$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}} = 10.296$$

$$v = \frac{s}{\bar{x}} = 0.2364$$

$$\text{TEMP. SUP. MEDIA} = 20^{\circ} \text{ C} \quad c = 1$$

$$\text{TEMP. AMBIENTE} = 13^{\circ} \text{ C} \quad f = 1.03$$

$$d_{97} = (\bar{x} + 2\sigma) f_c = 66.05 \times 10^{-3} \text{ pulg.}$$

$$d_{90} = 52 \times 10^{-3} \text{ pulg.}$$

## V I G A   B E N K E L M A N

**CAMINO:** TOLUCA-MORELIA      |      **TRAMO:** TOLUCA-ZITACUARO  
**ORIGEN:** TOLUCA                      |      **TRAMO DE PRUEBA:** 14+000-A 14+500  
**CARRIL:** IZQUIERDO                  **FECHA:** FEBRERO 1979      **TABLA:** 2

KM.	RODADA	DEFORMACION 10 <sup>-3</sup> pulg.	TEMP. SUPERF.	TEMP. AMBIENTE	OBSERVACIONES
14+000	Ext.	48	21		
020	"	52	21		
040	"	52	21		
060	"	58	21		
080	"	44	21		
100	"	29	21		
120	"	32	21		
140	"	58	20		
160	"	58	20		
180	"	52	20		
200	"	54	21		
220	"	60	21		
240	"	74	21		
260	"	68	21		
280	"	84	21		
300	"	74	21		
320	"	60	21		
340	"	58	22		
360	"	58	22		
380	"	52	22		
400	"	54	22		
					PUENTE

**ANALISIS:**

$n = 21$ $\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = 57.52$ $S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}} = 11.04$ $V = \frac{S}{\bar{X}} = 0.1920$	<b>TEMP. SUP. MEDIA</b> = 21° C <b>c = 1</b> <b>TEMP. AMBIENTE</b> = <b>f = 1.0</b> $\delta_{97} = (\bar{X} + 2\sigma) / c = 84.81 \times 10^{-3}$ pulg. $\delta_{90} = 60 \times 10^{-3}$ pulg.
---	---

# V I G A   B E N K E L M A N

CAMINO : TOLUCA-MORELIA      TRAMO : TOLUCA-ZITAGUARO  
 ORIGEN : TOLUCA      TRAMO DE PRUEBA : 16+500 A 16+000  
 CARRIL : IZQUIERDO      FECHA : OCTUBRE 1976      TABLA : 3

KM.	RODADA	DEFORMACION 10 <sup>-3</sup> pulg.	TEMP. SUPERF.	TEMP. AMBIENTE	OBSERVACIONES
16+500	Ext.	54	29	13	
480	"	72	27	"	
460	"	60	"	"	
440	"	56	"	"	
420	"	48	26	"	
400	"	36	25	"	
380	"	32	27	"	
360	"	38	28	"	
340	"	30	"	"	
320	"	28	29	"	
300	"	36	28	"	
280	"	42	29	"	
260	"	62	"	"	
240	"	54	28	"	
220	"	64	29	"	
200	"	58	28	"	
180	"	56	27	"	
160	"	70	30	"	
140	"	40	"	"	
120	"	76	29	"	
100	"	56	28	"	
080	"	72	"	"	
060	"	60	30	"	
040	"	62	29	"	
020	"	80	28	"	
000	"	56	28	"	

### ANALISIS :

$$n = 16$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = 55.77$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}} = 14.71$$

$$V = \frac{S}{\bar{X}} = 0.2655$$

$$\text{TEMP. SUP. MEDIA} = 28.9 \text{ C} \quad c = 1$$

$$\text{TEMP. AMBIENTE} = 13.9 \text{ C} \quad f = 1.01$$

$$\sigma_{97} = (\bar{X} + 2 \sigma) f_c = 81.09 \times 10^{-3} \text{ pulg.}$$

$$\sigma_{90} = 63.5 \times 10^{-3} \text{ pulg.}$$

# V I G A   B E N K E L M A N

CAMINO : TOLUCA-MORELIA      TRAMO : TOLUCA-ZITACHARO  
 ORIGEN : TOLUCA                      TRAMO DE PRUEBA : 20+000 A 20+500  
 CARRIL : DERECHO                      FECHA : OCTUBRE 1978      TABLA : 4

KM.	RODADA	DEFORMACION 10 <sup>-3</sup> pulg.	TEMP. SUPERF.	TEMP. AMBIENTE	OBSERVACIONES
20+000	Ext.	88	20	13	
020	"	64	21	"	
040	"	58	"	"	
060	"	60	"	"	
080	"	42	"	"	
100	"	50	20	"	
120	"	60	"	"	
140	"	74	22	"	
160	"	86	"	"	
180	"	66	21	"	
200	"	72	20	"	
220	"	64	"	"	
240	"	42	21	"	
260	"	66	22	"	
280	"	40	"	"	
300	"	52	"	"	
320	"	38	"	"	
340	"	42	"	"	
360	"	48	20	"	
380	"			"	BACHE
400	"	44	21	"	
420	"	50	"	"	
440	"	42	22	"	
460	"	34	21	"	
480	"	40	22	"	
500	"	60	"	"	

**ANALISIS :**

$n = 25$

$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = 55.28$

$S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}} = 14.82$

$V = \frac{S}{\bar{X}} = 0.2681$

TEMP. SUP. MEDIA = 21.9 C

c = 1

TEMP. AMBIENTE = 13.9 C

f = 1.03

$\delta_{97} = (\bar{X} + 2\sigma) f_c = 84.7 \times 10^{-3}$  pulg.

$\delta_{90} = 66 \times 10^{-3}$  pulg.

# V I G A   B E N K E L M A N

**CAMINO :** TOLUCA-MORELIA      |      **TRAMO :** TOLUCA-ZITÁCUARO  
**ORIGEN :** TOLUCA                      |      **TRAMO DE PRUEBA :** 21+800 A 22+300  
**CARRIL :** IZQUIERDO                  |      **FECHA :** FEBRERO 1979      **TABLA :** 5

KM.	RODADA	DEFORMACION 10 <sup>-3</sup> pulg.	TEMP. SUPERF.	TEMP. AMBIENTE	OBSERVACIONES
21+800		34	25		
820		42	"		
840		36	"		
860		42	26		
880		44	"		
900		44	"		
920		64	"		
940		74	"		
960		70	"		
980		68	"		
000		38	"		
020		66	28		
040		40	"		
060		80	"		
080		60	"		
100		64	29		
120		76	"		
140			"		BACHE
160		70	"		
180		54	30		
200		40	"		
220		52	"		
240		44	"		
260		48	31		
280		54	"		
300		38	"		

**ANALISIS :**

$n = 25$ $\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = 53.68$ $S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}} = 14.29$ $V = \frac{S}{\bar{X}} = 0.2662$	<b>TEMP. SUP. MEDIA =</b> 26.65° C <b>c = 1</b> <b>TEMP. AMBIENTE =</b> <b>f = 0.96</b> $\delta_{97} = (\bar{X} + 2\sigma)fc = 76.87 \times 10^{-3}$ pulg. $\delta_{90} = 68 \times 10^{-3}$ pulg.
---	---

# V I G A B E N K E L M A N

CAMINO : TOLUCA-MORELIA | TRAMO : TOLUCA-ZITACUARO  
 ORIGEN : TOLUCA | TRAMO DE PRUEBA : 22+300 A 22+800  
 CARRIL : IZQUIERDO | FECHA : FEBRERO 1979 | TABLA : 6

KM.	RODADA	DEFORMACION 10 <sup>-3</sup> pulg.	TEMP. SUPERF.	TEMP. AMBIENTE	OBSERVACIONES
22+300		60	31		
320		72	"		
340		36	"		
360		58	33		
380		56	"		
400		44	"		
420		52	"		
440		54	"		
460		46	"		
480		44	34		
500		52	"		
520		50	"		
540		54	"		
560		62	"		
580		54	"		
600		42	"		
620		54	"		
640		46	"		
660		46	"		
680		58	"		
700		56	"		
720		60	35		
740		72	"		
760		64	"		
780		56	"		
800		54	"		

### ANALISIS :

$$n = 26$$

$$\bar{x} = \frac{\sum X}{n} = 53.92$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{x})^2}{n-1}} = 6.51$$

$$V = \frac{S}{\bar{x}} = 0.1579$$

$$\text{TEMP. SUP. MEDIA} = 32.2 \text{ C}$$

$$c = 1$$

$$\text{TEMP. AMBIENTE} =$$

$$f = 0.93$$

$$d_{97} = (\bar{x} + 2\sigma)fc = 65.97 \times 10^{-3} \text{ pulg.}$$

$$d_{90} = 60 \times 10^{-3} \text{ pulg.}$$

# V I G A   B E N K E L M A N

CAMINO : TOLUCA-MORELIA | TRAMO : TOLUCA-ZITACUARO  
 ORIGEN : TOLUCA | TRAMO DE PRUEBA : 25+000 A 24+500  
 CARRIL : IZQUIERDO | FECHA : OCTUBRE 1978 | TABLA : 7

KM.	RODADA	DEFORMACION 10 <sup>-3</sup> pulg.	TEMP. SUPERF.	TEMP. AMBIENTE	OBSERVACIONES
25+000	Ext.	54	25	13	
980	"	66	26	"	
960	"	44	"	"	
940	"	54	27	"	
920	"	72	25	"	
900	"	60	"	"	
880	"	44	26	"	
860	"	34	"	"	
840	"	72	28	"	
820	"	62	27	"	
800	"	50	"	"	
780	"	52	29	"	
760	"	40	"	"	
740	"	56	30	"	
720	"	38	29	"	
700	"	40	"	"	
680	"	30	"	"	
660	"	36	31	"	
640	"	46	30	"	
620	"	72	29	"	
600	"	48	30	"	
580	"			"	BACHE
560	"	60	28	"	
540	"	72	30	"	
520	"	62	"	"	
500	"	56	31	"	

### ANALISIS :

$$n = 25$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = 54.80$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}} = 12.91$$

$$V = \frac{S}{\bar{X}} = 0.2356$$

$$\text{TEMP. SUP. MEDIA} = 28.9 \text{ C} \quad c = 1$$

$$\text{TEMP. AMBIENTE} = 13.9 \text{ C} \quad f = 1.01$$

$$\delta_{97} = (\bar{X} + 2\sigma)fc = 81.0 \times 10^{-3} \text{ pulg.}$$

$$\delta_{90} = 66 \times 10^{-3} \text{ pulg.}$$

# V I G A   B E N K E L M A N

**CAMINO :** TOLUCA-MORELIA      **TRAMO :** TOLUCA-ZITACUARO  
**ORIGEN :** TOLUCA      **TRAMO DE PRUEBA :** 29+000 A 29+500  
**CARRIL :** DERECHO      **FECHA :** OCTUBRE 1978      **TABLA :** 8

KM.	RODADA	DEFORMACION 10 <sup>-3</sup> pulg.	TEMP. SUPERF.	TEMP. AMBIENTE	OBSERVACIONES
29+000	Ext.	42	29	13	
020	"	36	30	"	
040	"	40	"	"	
060	"	58	30	"	
080	"	66	"	"	
100	"	44	"	"	
120	"	40	"	"	
140	"	36	29	"	
160	"	48	31	"	
180	"	52	30	"	
200	"	42	30	"	
220	"	44	29	"	
240	"	54	"	"	
260	"	42	"	"	
280	"	60	30	"	
300	"	50	28	"	
320	"	50	29	"	
340	"	38	28	"	
360	"	74	29	"	
380	"	60	30	"	
400	"	38	"	"	
420	"	40	31	"	
440	"	46	"	"	
460	"	48	"	"	
480	"	54	29	"	
500	"	64	"	"	

**ANALISIS :**

$$n = 26$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = 51.30$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}} = 12.14$$

$$V = \frac{S}{\bar{X}} = 0.2365$$

$$\text{TEMP. SUP. MEDIA} = 30.4 \text{ C}$$

$$c = 1$$

$$\text{TEMP. AMBIENTE} = 13.1 \text{ C}$$

$$f = 1.01$$

$$\delta_{97} = (\bar{X} + 2\sigma)_{fc} = 76.55 \times 10^{-3} \text{ pulg.}$$

$$\delta_{90} = 51.5 \times 10^{-3} \text{ pulg.}$$

# V I G A B E N K E L M A N

CAMINO : TOLUCA-MORELIA | TRAMO : TOLUCA-ZITACUARO  
 ORIGEN : TOLUCA | TRAMO DE PRUEBA : 35+500 A 36+500  
 CARRIL : DERECHO | FECHA : OCTUBRE 1978 | TABLA : 9

KM.	RODADA	DEFORMACION 10 <sup>-3</sup> pulg.	TEMP. SUPERF.	TEMP. AMBIENTE	OBSERVACIONES
35+500	Ext.	66	25	13	
520	"	62	26	"	
540	"	76	"	"	
560	"	76	27	"	
580	"	74	28	"	
600	"	48	"	"	
620	"	46	"	"	
640	"	44	"	"	
660	"			"	BACHE
680	"			"	BACHE
700	"	72	27	"	
720	"	60	"	"	
740	"	76	"	"	
760	"	78	"	"	
780	"	44	28	"	
800	"	52	"	"	
820	"	54	"	"	
840	"	30	"	"	
860	"	54	29	"	
880	"	58	28	"	
900	"	46	"	"	
920	"	68	"	"	
940	"	58	27	"	
960	"	64	"	"	
980	"	56	28	"	
000	"	58	"	"	

**ANALISIS :**

$n = 20$  | TEMP. SUP. P'EDIA = 27.0 C |  $c = 1$   
 $\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = 57.27$  | TEMP. AMBIENTE = 13.0 C |  $f = 1.01$   
 $S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}} = 11.03$  |  $\sigma_{97} = (\bar{X} + 2\sigma) \cdot c = 89.74 \times 10^{-3}$  |  $14.1$   
 $V = \frac{S}{\bar{X}} = 0.1925$  |  $\sigma_{90} = 77.0 \times 10^{-3}$  |  $12.7$

# V I G A   B E N K E L M A N

 CAMINO : TOLUCA-MORELIA

 TRAMO : TOLUCA-SITICUARO

 ORIGEN : TOLUCA

 TRAMO DE PRUEBA : 39+500 A 39+000

 CARRIL : IZQUIERDO

 FECHA : OCTUBRE 1978

 TABLA : 10

KM.	RODADA	DEFORMACION 10 <sup>-3</sup> pulg.	TEMP. SUPERF.	TEMP. AMBIENTE	OBSERVACIONES
39+500					BACHE
400	Ext.	30	28	13	
380	"	60	"	"	
360	"	38	29	"	
340	"	40	27	"	
320	"	54	29	"	
300	"	36	27	"	
280	"	44	"	"	
260	"	26	30	"	
240	"	36	29	"	
220	"	28	"	"	
200	"	30	"	"	
180	"	36	28	"	
160	"	42	"	"	
140	"	40	"	"	
120	"	40	"	"	
100	"	56	"	"	
080	"	62	29	"	
060	"	48	30	"	
040	"	60	"	"	
020	"	98	31	"	
000	"	60	30	"	

**ANALISIS :**

$$n = 21$$

TEMP. SUP. MEDIA = 29.2 C

$c = 1$

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = 46.85$$

TEMP. AMBIENTE = 13.8 C

$f = 1.01$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}} = 16.47$$

$$\sigma_{97} = (\bar{X} + 2\sigma) f_c = 74.51 \times 10^{-3} \text{ pulg.}$$

$$V = \frac{S}{X} = 0.3516$$

$$\sigma_{90} = 54 \times 10^{-3} \text{ pulg.}$$

# V I G A   B E N K E L M A N

CAMINO : TOLUCA-MORELIA      TRAMO : TOLUCA-ZITAGUARO  
 ORIGEN : TOLUCA                      TRAMO DE PRUEBA : 41+500 A 41+700  
 CARRIL : IZQUIERDO                  FECHA : FEBRERO 1972      TABLA : 11

KM.	RODADA	DEFORMACION 10 <sup>-3</sup> pulg.	TEMP. SUPERF.	TEMP. AMBIENTE	OBSERVACIONES
41+500		74	32		
520		84	"		
540		96	"		
560		100	"		
580		100	"		
600		94	33		
620		94	"		
640		66	"		
660		74	"		
680					FUENTE
700					FUENTE

**ANALISIS :**

$n = 9$ $\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = 95.11$ $S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}} = 23.08$ $V = \frac{S}{\bar{X}} = 0.2427$	TEMP. SUP. MEDIA = 32.58 C      c = 1 TEMP. AMBIENTE =                      f = 0.93 $\delta_{97} = (\bar{X} + 2\sigma) (c) = 156.11 \times 10^{-3}$ INCH. $\delta_{90} = 100 \times 10^{-3}$ INCH.
--	--

## V I G A   B E N K E L M A N

CAMINO : TOLUCA-MORELIA      TRAMO : TOLUCA-ZITACUARO  
 ORIGEN : TOLUCA                      TRAMO DE PRUEBA : 41+720 A 42+000  
 CARRIL : IZQUIERDO                      FECHA : FEBRERO 1979      TABLA : 12

KM.	RODADA	DEFORMACION 10 <sup>-3</sup> pulg.	TEMP. SUPERF.	TEMP. AMBIENTE	OBSERVACIONES
41+720		64	32		
740		50	"		
760		66	30		
780		58	32		
800		58	"		
820		66	"		
840		60	33		
860		74	"		
880		38	"		
900		30	"		
920		28	"		
940		42	32		
960		38	"		
980		24	"		
42+000		32	"		

### ANALISIS :

$$n = 15$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = 48.53$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}} = 16.00$$

$$V = \frac{S}{\bar{X}} = 0.3357$$

$$\text{TEMP. SUP. MEDIA} = 32.59 \text{ C} \quad c = 1$$

$$\text{TEMP. AMBIENTE} = \quad \quad \quad t = 0.93$$

$$\delta_{97} = (\bar{X} + 2\sigma) f_c = 69.46 \times 10^{-3} \text{ pulg.}$$

$$\delta_{90} = 64 \times 10^{-3} \text{ pulg.}$$

# V I G A B E N K E L M A N

CAMINO : TOLUCA-MORELIA | TRAMO : TOLUCA-ZITACHUARO  
 ORIGEN : TOLUCA | TRAMO DE PRUEBA : 44+000 A 44+500  
 CARRIL : DERECHO | FECHA : OCTUBRE 1978 | TABLA : 13

KM.	RODADA	DEFORMACION 10 <sup>-3</sup> pulg.	TEMP. SUPERF.	TEMP. AMBIENTE	OBSERVACIONES
44+000	Ext.	66	26	13	
020	"	72	27	"	
040	"	44	"	"	
060	"	38	29	"	
080	"	42	33	"	
100	"	42	31	"	
120	"	24	"	"	
140	"	48	30	"	
160	"	52	"	"	
180	"	40	31	"	
200	"	32	29	"	
220	"	42	"	"	
240	"	48	27	"	
260	"	38	28	"	
280	"	40	"	"	
300	"	42	29	"	
320	"	50	"	"	
340	"	59	28	"	
360	"	40	"	"	
380	"	60	29	"	
400	"	48	30	"	
420	"	54	28	"	
440	"	43	"	"	
460	"	44	29	"	
480	"	40	30	"	
500	"			"	BACHE

**ANALISIS :**

$n = 25$

$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = 45.32$

$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}} = 10.35$

$V = \frac{S}{\bar{X}} = 0.2245$

TEMP. SUP. MEDIA = 29º C

$c = 1$

TEMP. AMBIENTE = 13º C

$f = 1.01$

$\delta_{97} = (\bar{X} + 2\sigma) \cdot f_c = 63.55 \times 10^{-3}$  pulg.

$\delta_{90} = 52 \times 10^{-3}$  pulg.

# V I G A   B E N K E L M A N

CAMINO : TOLUCA-MORELIA      TRAMO : TOLUCA-ZITACUARO  
 ORIGEN : TOLUCA                      TRAMO DE PRUEBA : 52+000 A 52+500  
 CARRIL : DERECHO                      FECHA : OCTUBRE 1978      TABLA : 14

KM.	RODADA	DEFORMACION 10 <sup>-3</sup> pulg.	TEMP. SUPERF.	TEMP. AMBIENTE	OBSERVACIONES
52+000	Ext.	56	26	13	
020	"	62	29	"	
040	"	60	"	"	
060	"	58	28	"	
080	"	83	"	"	
100	"	80	27	"	
120	"	86	28	"	
140	"	74	29	"	
160	"			"	BACHE
180	"			"	BACHE
200	"	80	30	"	
220	"	72	"	"	
240	"			"	BACHE
260	"	56	28	"	
280	"	76	29	"	
300	"	66	"	"	
320	"	50	"	"	
340	"	52	30	"	
360	"	60	31	"	
380	"	42	"	"	
400	"	62	30	"	
420	"	38	"	"	
440	"	50	29	"	
460	"	56	28	"	
480	"	69	"	"	
500	"			"	BACHE

**ANALISIS :**

$n = 22$

$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = 63.0$

$S = \sqrt{\frac{\sum [X - \bar{X}]^2}{n-1}} = 13.07$

$V = \frac{S}{\bar{X}} = 0.2075$

TEMP. SUP. MEDIA = 29e c

$c = 1$

TEMP. AMBIENTE = 13e c

$f = 1.01$

$\delta_{97} = (\bar{X} + 2\sigma)fc = 93.98 \times 10^{-3}$  pulg.

$\delta_{90} = 73.2 \times 10^{-3}$  pulg.

## V I G A   B E N K E L M A N

CAMINO : TOLUCA-MORELIA      TRAMO : TOLUCA-ZITAGUARO  
 ORIGEN : TOLUCA                      TRAMO DE PRUEBA : 57+000 A 57+500  
 CARRIL : DERECHO                      FECHA : OCTUBRE 1976      TABLA : 15

KM.	RODADA	DEFORMACION 10 <sup>-3</sup> pulg.	TEMP. SUPERF.	TEMP. AMBIENTE	OBSERVACIONES
57+000	Ext.	84	28	13	
020	"	86	29	"	
040	"	108	"	"	
060	"	174	30	"	
080	"	132	28	"	
100	"	166	29	"	
120	"	152	31	"	
140					
160	"	120	28	"	ZONA SATURADA DE
180	"	98	30	"	BACHES EN AMBOS
200	"	232	29	"	SENTIDOS.
220	"	226	30	"	
240	"	214	"	"	
260	"	224	29	"	
280					
300	"	228	28	"	
320	"	84	29	"	
340	"	72	"	"	
360					BACHE
380	"	150	29	"	
400	"	146	31	"	
420					
440					BACHE
460	"	34	29	"	BACHE
480	"	32	"	"	
500	"	88	"	"	

**ANALISIS :**

$n = 21$

$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = 140.47$

$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}} = 56.79$

$V = \frac{S}{\bar{X}} = 0.4042$

TEMP. SUP. MEDIA = 29.9 C

$c = 1$

TEMP. AMBIENTE = 13.9 C

$f = 1.01$

$f_{97} = (\bar{X} + 2\sigma) / c = 221.03 \times 10^{-3}$  pulg.

$f_{80} = 206 \times 10^{-3}$  pulg.

# V I G A   B E N K E L M A N

CAMINO : TOLUCA-MORELIA      TRAMO : TOLUCA-ZITACHARO  
 ORIGEN : TOLUCA                      TRAMO DE PRUEBA : 64+000 A 64+500  
 CARRIL : IZQUIERDO                  FECHA : OCTUBRE 1978      TABLA : 16

KM.	RODADA	DEFORMACION 10 <sup>-3</sup> pulg.	TEMP. SUPERF.	TEMP. AMBIENTE	OBSERVACIONES
64+000	Ext.	38	18	13	BACHE
020	"	66	"	"	
040	"		"	"	
060	"	88	20	"	
080	"	56	"	"	
100	"	80	"	"	
120	"	76	21	"	
140	"	124	19	"	
160	"	76	20	"	
180	"	70	19	"	
200	"	58	20	"	
220	"	78	"	"	
240	"	36	"	"	
260	"	53	"	"	
280	"	110	"	"	
300	"	34	"	"	
320	"	46	"	"	
340	"	106	21	"	
360	"	88	23	"	
380	"	132	22	"	
400	"	54	21	"	
420	"	36	20	"	
440	"	46	"	"	
460	"	90	"	"	
480	"	84	"	"	
500	"	98	"	"	

**ANALISIS :**

$n = 25$

$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = 72.98$

$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}} = 27.71$

$V = \frac{S}{\bar{X}} = 0.3803$

TEMP. SUP. MEDIA = 20.2 C

$c = 1$

TEMP. AMBIENTE = 13.2 C

$f = 1.03$

$\delta_{97} = (\bar{X} + 2\sigma)tc = 115.62 \times 10^{-3}$  pulg.

$\delta_{80} = 98 \times 10^{-3}$  pulg.

# V I G A   B E N K E L M A N

 CAMINO : TOLUCA-MORELIA

 TRAMO : TOLUCA-ZITACUARO

 ORIGEN : TOLUCA

 TRAMO DE PRUEBA : 68+700 A 69+200

 CARRIL : DERECHO

 FECHA : OCTUBRE 1978      TABLA : 17

KM.	RODADA	DEFORMACION 10 <sup>-3</sup> pulg.	TEMP. SUPERF.	TEMP. AMBIENTE	OBSERVACIONES
68+700	Ext.	110	24	13	
720	"	92	"	"	
740	"	134	"	"	
760	"	50	26	"	
780	"	148	"	"	
800	"			"	BACHE
820	"	146	29	"	
840	"	80	28	"	
860	"	106	"	"	
880	"	92	27	"	
900	"	48	26	"	
920	"	74	25	"	
940	"	90	27	"	
960	"	132	26	"	
980	"	122	24	"	
69+000	"	170	23	"	
020	"	108	"	"	
040	"	108	25	"	
060	"	112	27	"	
080	"	110	26	"	
100	"	84	"	"	
120	"			"	BACHE
140	"	78	26	"	
160	"	62	25	"	
180	"	80	22	"	
200	"	62	23	"	

**ANALISIS :**

$$n = 24$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = 10.92$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}} = 3.264$$

$$V = \frac{S}{\bar{X}} = 0.3007$$

TEMP. SUP. MEDIA = 26.2 C

$c = 1$

TEMP. AMBIENTE = 13.2 C

$f = 1.0$

$\delta_{97} = (\bar{X} + 2\sigma) / c = 194.14 \times 10^{-3} \text{ pulg.}$

$\delta_{90} = 144.5 \times 10^{-3} \text{ pulg.}$

### 3. Exploración de Campo.

- A) Sondeos, extracción de muestras, estudio de espesores y VRS.

La exploración de campo realizada, consistió básicamente en la obtención de muestras tanto alteradas como inalteradas de 90 sondeos realizados, del tipo pozo a cielo abierto, hasta una profundidad máxima de 1.00 m realizados éstos a lo largo del camino, procurando en todos los casos, cubrir las zonas donde se veía la posibilidad de presentarse algún problema. Además se obtuvieron algunas de las características geométricas del camino, como son los anchos de carpeta a lo largo del mismo.

En seguida presentamos un resumen de los resultados que arrojan las muestras en cuanto a espesores de pavimento, anchos de carpeta y VRS realizados en las muestras obtenidas.

### RESUMEN DE ESPESORES Y V.R.S.

CAMINO: TOLUCA-MORELIA ORIGEN: TOLUCA FECHA: ENERO 1979 TABLA: 18

K.M.	ANCHO CARPETA	LADO	SUB BASE	BASE	CARPETA	SOBRE CARPETA	TOTAL	VRS LUGAR S-RASANTE	VRS INALTERADO S-RASANTE	VRS ESTAND. S-RASANTE	VRS ESTAND. S-BASE	VRS ESTAND. BASE
8+000	6.9											
8+500	7.05	I	9	26	5	10	50					
9+100	6	D	19	14	6	10	49	22	27.9	13.2	132.3	169
9+600	6.6	D	11	10	5	10	36					
10+100	6.8	I	21	20	4	7	52					
10+600	6.8	I		13	4	19	36					
11+100	6.2	D		39	6	11	56	2		30.2		125
11+800	6.3	D	9	9	6	9	33					
12+500	6.6	I	29	15	6	8	58					
13+000	7.0											
13+200	7.0	I	20	8	5	8	41					
13+500	6.7											
14+100	6.8	D	19	10	6	10	45	2	13.9	36.8	35.6	118
14+900	6.6	D	18	12	4	6	40					
15+700	7.0	I		27	11	6	44					
16+000	7.5											
16+600	6.8	D	14	18	4	6	42	10.1		50.7	111.8	93
17+500	7.4	D	23	9	6	8	46					
18+600	7.4	I	11	12	6	10	39	7.8		26	91.8	158
19+700	6.4	D	23	13	4	6	46					

## RESUMEN DE ESPESORES Y V.R.S.

 CAMINO: TOLUCA-MORELIA

 ORIGEN: TOLUCA

 FECHA: ENERO 1979

 TABLA: 19

K.M.	ANCHO CARPETA	LADO	SUB BASE	BASE	CARPETA	SOBRE CARPETA	TOTAL	VRS LUGAR S-RASANTE	VRS INALTERADO S-RASANTE	VRS ESTAND. S-RASANTE	VRS ESTAND. S-BASE	VRS ESTAND. BASE
40+750	6.4	I	9	9	5	11	34			8.1	82.3	122
21+300	7.2	D	18	6	6	12	42	5.8		10.8		63
22+100	6.4	D	27	6	5	12	50					
23+000	6.1	D	20	7	8	20	55	15.2	16.5	17.3	86	176
23+500	6.3	I	32	9	6	16	57					
24+300	6.7	D	29	10	8	10	57	7.8		9.6	161.7	174
25+200	7.1	D		19	6	11	36			80.8		191
26+200	6.1	I	27	10	6	12	55					
27+300	6.6	I	12	11	5	12	40	26.8		77.3	154.5	162
27+450	6.6	D	27	17	6	22	66	3.3		4.4	103	89
28+250	6.5	I	28	9	7	15	59					
29+900	6.5	I	30	9	5	10	54					
30+000	6.5	D	14	10	6	10	40			88.3	176	199
30+800	6.6	I	27	12	4	10	53					
31+500	6.4	I	13	14	4	10	37	5.1		16.9	64	136
32+200	7.3	I	15	8	5	8	36					
32+300	6.8	D	15	12	6	8	41					
33+500	6.8	I	13	20	5	10	48					
34+000	6.5	D	10	17	6	12	45			27.6	55	125
35+000	6.4	D	6	29	5	10	50					

### RESUMEN DE ESPESORES Y V.R.S.

 CAMINO: TOLUCA-MORELIA

 ORIGEN: TOLUCA

 FECHA: ENERO 1979

 TABLA: 20

KM.	ANCHO CARPETA	LADO	SUB BASE	BASE	CARPETA	SOBRE CARPETA	TOTAL	VRS LUGAR S-RASANTE	VRS INALTERADO S-RASANTE	VRS ESTAND. S-RASANTE	VRS ESTAND. S- BASE	VRS ESTAND. BASE
35+700	6.7	I	16	10	7	10	43					
36+500	6.8	D	13	28	7	10	58	2.9		33.1	107	100
37+000	6.7	D	16	11	4	9	40					
37+800	6.5	D	26	16	4	7	53					
38+500	7.0	I	22	13	4	7	46					
39+100	6.7	D		30	6	6	42	15		8.8		147
39+800	6.2	D	7	11	5	8	31					
40+500	6.7	I	8	11	5	9	33					
41+120	7.0	D	10	12	5	4	31			26.8	66	139
41+800	7.0	D	24	12	4	7	47					
42+400	6.5	I	10	12	5	8	35					
43+000	6.5	I	22	11	4	3	40	2.6		27.5	103	156
43+700	6.3	D	23	9	7	6	45					
44+500	6.4	D	29	12	6	5	52					
45+300	6.5	I	11	10	6	8	35					
46+000	6.5	I	12	16	6	10	44	5.1		15.4		103
46+800	6.3	D	8	12	5	7	32			27.2		
47+500	6.3	D	8	17	5	8	38					
48+200	6.0	I	7	15	5	5	32					
49+000	6.7	I	13	13	6	6	38	2.6		44.2	8	154

**RESUMEN DE ESPESORES Y V.R.S.**

CAMINO: TOLUCA-MORELIA    ORIGEN: TOLUCA    FECHA: ENERO 1979    TABLA: 21

K.M.	ANCHO CARPETA	LADO	SUB BASE	BASE	CARPETA	SOBRE CARPETA	TOTAL	VRS LUGAR S-RASANTE	VRS INALTERADO S-RASANTE	VRS ESTAND. S-RASANTE	VRS ESTAND. S-BASE	VRS ESTAND. BASE
49+700	6.6	D	8	13	5	7	33					
50+400	8.0	D	10	16	5	8	39					
51+000	7.2	I	20	17	4	4	45					
51+840	6.2	D	8	18	6	13	45			36.8		120
52+700	6.5	D	12	12	8	12	44	3.3		117.6	139	1765
53+500	6.8	I	11	13	11	5	40					
54+250	6.2	D	10	16	5	8	39	3.7		33.1	143	123
55+050	6.4	I	7	10	10	9	36	5.1		34.5		125
55+800	6.0	I	7	6	7	11	30	12.1		60.3		165
56+600	6.6	D	9	6	7	10	31	11.4		73.5	103	110
57+400	6.8	D	18	11	4		33			14	125	107
58+000	7.0	I	10	10	10	14	44	13.2		22.1		
58+600	7.0	D	6	10	6		22	9.6		83.5		87
59+400	6.6	D	9	6	5		21	14		77.3		59
60+300	6.4	I	17	10	5		32	16.5		76.5	80.8	84.5
60+400	7.0	D	15	10	5		30	30.8		80.9	12.5	136
61+000	6.5	I	15	8	5	11	39					
61+500	6.8	D	17	10	10	10	47			92		92
62+150	7.0	I	25	13	5	8	51	12.5		81	107	96
62+600	6.8	D	20	10	5	7	42					

## RESUMEN DE ESPESORES Y V.R.S.

CAMINO: TOLUCA-MORELIA

ORIGEN: TOLUCA

FECHA: ENERO 1979

TABLA: 22

K.M.	ANCHO CARPETA	LADO	SUB BASE	BASE	CARPETA	SOBRE CARPETA	TOTAL	VRS LUGAR S-RASANTE	VRS INALTERADO S-RASANTE	VRS ESTAND. S-RASANTE	VRS ESTAND. S-BASE	VRS ESTAND. BASE
63+100	7.0	I	10	8	10	10	38	25.1		110.2		
63+550	6.6	D	16	8	9	9	42	7.3		27.6		103
64+000	7.3	D	7	6	3	12	28					
64+500	6.8	D	10	14	4	9	37	25.2		103		114
65+400	6.4	D	13	12	8		33	8.8		81.7	96	107
66+000	7.0	D	10	8	13		31					
66+660	6.8	I		14	10	16	40	37.5		89.6		143
67+000	6.8	I	10	8	19	10	47					
67+600	6.6	I	13	8	17	12	50			66.1	95	173
68+200	6.5	D	10	10	13	15	48	22		61.7		132
69+000	6.6	D	13	12	15	14	54	7.1		95.2		117
69+600	7.0	I	12	9	10	10	41			53		125
70+180	7.0	D	8	10	11	10	39					

## CAPITULO V

**TRABAJOS DE  
LABORATORIO**

## V. TRABAJOS DE LABORATORIO.

Los trabajos de laboratorio se centraron en la obtención de los parámetros índice, que permiten clasificar los suelos al juzgar su granulometría y su plasticidad. Asimismo, se determinó el peso volumétrico seco máximo y el VRS estándar, como índices de resistencia.

Las muestras obtenidas se sometieron al siguiente programa de laboratorio:

- A) A todas las muestras, excepto de carpetas.
  - a) Humedad natural.
  - b) Límite líquido.
  - c) Límite plástico.
  - d) Granulometría.
  - e) Peso volumétrico seco máximo.
  - f) Humedad óptima.
  - g) Contracción lineal.
- B) A los materiales de base y sub-base.
  - a) Equivalente de arena.
  - b) VRS estándar y humedad óptima.
- C) A las muestras inalteradas.
  - a) Límite de contracción al suelo inalterado.
  - b) Límite de contracción al suelo remoldeado con humedad correspondiente al límite líquido.
  - c) Compresión simple.
  - d) Pruebas especiales en cuanto a estabilización de suelos con cemento.

Producto de los análisis realizados en el laboratorio, son las tablas siguientes:

## RESUMEN DE RESULTADOS MATERIAL DE SUBRASANTE

K.M.	% QUE PASA LA MALLA Nº 4	% QUE PASA LA MALLA Nº 200	LIMITE LIQUIDO	INDICE PLASTICO	% HUMEDAD NATURAL	% HUMEDAD OPTIMA	% DE CONTRACCION EN EL LUGAR	% DE EXPANSION	CLASIFICACION S.U.C.S.	CONTRACCION LINEAL
9+100	94	51	32	17	24	18	92	2.2	CL	8.5
11+100	98	62	32	11	25	18	92	0.7	CL	4.5
14+100	99	52	28	12	23.5	16.5	87	0.6	CL	5.4
16+600	94	36	25	11	13.3	14.5	98	0.80	SC	3.5
18+600	98	46	31	16	19.8	17.5	99	0.6	SC	8.4
20+750	100	63	28	12	17.0	18.5	95	3.9	CL	5.4
21+300	99	58	36	18	24.9	17.3	89	3.5	CL	10.8
23+000	99	61	31	14	24.7	18.3	90	1.6	CL	5.8
24+300	98	53	29	17	21.2	17.0	76	4.8	CL	7.9
25+200	76	19	39	21	31.7	17.8	94	0.70	SC	6.0
27+300	70	27	38	12	18.7	18.1	97	0.7	SM	6.5
27+450	99	68	52	39	30.5	25.0	89	7.3	CH	10.3
30+000	77	25	35	18	31.4	18.0	87	0.2	SC	5.3
31+500	97	51	32	15	18.4	15.5	88	2.6	CL	6.6
34+000	99	61	31	13	20.1	17.5	109	0.9	CL	5.2
36+500	99	61	36	15	33.3	22.0	87	0.8	CL	5.9
39+100	92	51	53	30	27.9	28.0	90	3.8	CH	10.4
41+120	69	30	48	22	21.3	22.6	101	1.6	SC	7.5
43+000	98	60	38	20	32.3	22.9	83	0.9	CL	10.6
45+000	99	77	43	24	24.0	24.2	66	2.3	CL	11.3

## RESUMEN DE RESULTADOS MATERIAL DE SUBRASANTE

K.M.	% QUE PASA LA MALLA N° 4	% QUE PASA LA MALLA N° 200	LIMITE LIQUIDO	INDICE PLASTICO	% HUMEDAD NATURAL	% HUMEDAD OPTIMA	% DE COMPACTACION EN EL LUGAR	% DE EXPANSION	CLASIFICACION S.U.C.S.	CONTRACCION LINEAL
46+000	81	57	48	29	29.5	23.9	81	3.0	CL	11.4
47+000	99	67	32	17	27.0	19.8	60	0.1	CL	7.4
49+000	92	62	79	32	50.8	54.2	67	1.3	MH <sub>1</sub>	7.4
51+840	94	61	69	20	33.0	51.5	94	1.0	MH <sub>1</sub>	7.0
52+400	99	86	51	26	30	49.2	91	3.2	CH <sub>1</sub>	9.3
52+700	100	58	67	26	47.1	49.2	62	1.1	MH <sub>1</sub>	6.7
54+250	97	63	60	16	53.5	47.0	94	1.5	MH <sub>1</sub>	7.9
55+050	97	75	55	27	41.3	28.8	89	1.47	CH <sub>1</sub>	10.1
55+800	98	52	56	23	46.6	46.5	89	0.48	MH <sub>1</sub>	9.1
56+600	95	58	64	15	52.9	49.5	93	0.45	MH <sub>1</sub>	6.2
57+400	97	65	40	18	30.7	25.0	85	2.36	CL <sub>1</sub>	9.6
58+000	93	55	44	21	30.5	25.0	84	1.86	CL	8.7
58+600	98	56	73	17	44.9	63.0	88	0.63	MH <sub>1</sub>	5.9
59+400	99	33	70	24	54	49	87	0.33	SM	6.3
60+000	38	55	72	17	58	65	76	0.79	MH <sub>1</sub>	6.1
60+400	97	51	69	16	47	78	95	2.11	MH <sub>1</sub>	5.12
61+500	97	40	82	16	50	77	82	0.39	SM	5.8
62+150	95	51	45	12	48	36	89	0.55	ML	4.4
63+100	90	36	60	17	37	37	80	0.0	SM	5.4
63+550	91	60	58	29	47.5	37	78	1.9	CH	10.4

## RESUMEN DE RESULTADOS MATERIAL DE SUBRASANTE

K.M.	% QUE PASA LA MALLA Nº 4	% QUE PASA LA MALLA Nº 200	LIMITE LIQUIDO	INDICE PLASTICO	% HUMEDAD NATURAL	% HUMEDAD OPTIMA	% DE COMPACTACION EN EL LUGAR	% DE EXPANSION	CLASIFICACION S.U.C.S.	CONTRACCION LINEAL
64+500	41	12	33	9	18	17	92	0.0	GM	4.3
65+400	82	33	91	29	48	45	88	0.10	SM	8.5
66+660	84	32	40	8	22	21	90	1.69	SM	3.6
67+600	82	20	35	LNAP	14	18	87	0.4	SM	1.5
68+200	90	41	76	19	37	54	81	0.39	SM	5.7
69+000	67	24	65	17	76	32	62	0.4	SM	4.7
69+600	61	33	47	18	23	19	96	1.68	GC	6.4

## CAPITULO VI

### **ANALISIS DE RESULTADOS**

## VI. ANALISIS DE RESULTADOS.

### 1. Características de los materiales de las diferentes capas.

#### A) Capa subrasante.

De acuerdo a las pruebas de laboratorio efectuadas, según se pudo observar, existe una marcada diferencia entre los materiales constitutivos de esta capa de acuerdo a la zona en la que el camino atraviesa; así pues, desde el Km 8+000 hasta el Km 45+000 aproximadamente, se nota que en cuanto a límite líquido (menor de 50%), VRS estándar (mayor de 5%) y su expansión (menor de 5%), cumplen en todos los casos con las especificaciones de construcción que la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas marca. Sin embargo, en cuanto a compactación se refiere, en la mayoría de los casos observados no cumplen con el 95% mínimo que dichas especificaciones marcan. Desde el Km 45+000 al 70+000, se observó que los parámetros límite líquido y compactación no cumplen con especificaciones, aunque VRS estándar y expansión se encuentran dentro de los límites antes mencionados.

Cabe aquí un comentario de carácter general. De las experiencias obtenidas en la pista circular de pruebas en el Instituto de Ingeniería, se sabe que la capacidad estructural de un pavimento depende en gran parte de la calidad de las terracerías, especialmente de la capa subrasante. A pesar de lo anterior, en nuestro medio es usual seguir el criterio de costo mínimo en la construcción, llevando esto a la aceptación de materiales inadecuados en las terracerías y subrasantes de nuestros cami-

nos, lo que hace inútil cualquier esfuerzo por lograr un pavimento durable sobre ellas y, a largo plazo, impide cualquier mejoramiento substancial en la capacidad estructural por el procedimiento de refuerzo superficial. De esta manera la inversión hecha en conservación es prácticamente inútil, y a pesar de ser generosa, los caminos sistemáticamente se encuentran siempre con índices de ser vicio bajos.

En este camino existen terraplenes construidos con arcillas y limos mal compactados, sobre un terreno arcilloso. Una sección estructural de este tipo debería ser estabilizada antes de colocar un pavimento cualquiera sobre ella. En muchos casos, dicha estabilización es anti-económica o casi imposible, por lo que habrá que decidir entre dejar el camino a nivel de revestimiento y construir un nuevo camino, o aprovechar el derecho de vía existente y reconstruir las terracerías de manera que proporcionen un apoyo adecuado al pavimento.

#### B) Sub-base.

La sub-base está constituida por gravas arcillosas o arenas arcillosas (GC, SC), cuyo equivalente de arena promedio es 20%, también en este caso las características de plasticidad quedan fuera de especificaciones, y los valores relativos de soporte dan un valor promedio de 103%, superior al 50% especificado, aunque su dispersión es grande, presentando valores del orden de 13 en el límite inferior y 177% en el superior.

El grado de compactación varió entre 70% y 118% con un promedio de 95%, mínimo especificado. El espesor de es

ta capa varió de 6 cm a 3.2 cm. En cuanto a los pesos vo lumétricos secos, los valores encontrados varían desde 1370 kg/m<sup>3</sup> a 2180 kg/m<sup>3</sup>.

Esta heterogeneidad de valores encontrados, habla claramente de un control de calidad deficiente durante la construcción. Sin embargo, probablemente el aspecto más trascendental lo constituye el contenido de finos en el material de sub-base y el consecuente equivalente de arena tan bajo.

### C) Base.

El material que constituye la base es una grava ar cillosa (GC), cuyo equivalente de arena promedio resultó ser de 19%, valor muy por abajo del mínimo especificado que es del 40% en bases y sub-bases. De la misma manera, el grado de compactación promedio es superior al mínimo especificado que es de 95%, teniendo como valores máximo y mínimo de 118% y 86%, respectivamente. Los pesos volumétricos secos determinados en el camino varían entre 2350 kg/m<sup>3</sup> y 1680 kg/m<sup>3</sup>. Se nota un alto contenido de fi nos en esta capa, con los problemas que ésto acarrea. La humedad natural encontrada varía desde 5.3% hasta 18.3%. Finalmente, los espesores de base también presentan varia ciones importantes, habiéndose encontrado valores tan pequeños como los 6 cm y tan grandes como 29 cm.

Manejando estadísticamente los resultados de laboratorio y las mediciones realizadas, hemos elaborado un resumen de estos datos, además de algunos otros que no se presentaron en una forma exhaustiva.

Concepto	Media $\bar{X}$	Desviación Estándar S	Coefficiente de Variación $\frac{S}{\bar{X}}$	Valores Máx - Mín
Ancho de carpeta (m)	6.66	0.39	0.058	7.6 - 5.8
Espesores de Pavimento (cm)	42.2	8.8	0.208	66 - 21
VRS en la sub-base (%)	102.9	36.1	0.350	76.5 - 12.5
Humedad en el lugar, capa subrasante (%)	35.9	17.3	0.481	94.2 - 14.5
Humedad óptima en la capa sub rasante (%)	31.4	17.3	0.552	81 - 14.5
Peso volúme- trico seco del lugar en la capa subrasan- te (tn/m <sup>3</sup> )	1.28	0.34	0.264	0.6 - 1.8
(%) de compac- tación en el lugar en la capa subrasan- te	86.6	10.7	0.120	109 - 51

Cabe aclarar que los valores encontrados con máxima humedad, mínimo PVS, mínimo % de compactación en la subrasante, corresponden a la misma estación Km 54+250.

2. Refuerzo requerido en el pavimento actual utilizando la información de Vega Benkelman.

Existen varios métodos para diseño de refuerzos que utilizan esta información. Dadas las características de los pavimentos en México, creemos que el método más adecua

do para esta circunstancia, es el que propone el Instituto Norteamericano del Asfalto.

El método está basado en el establecimiento de un límite de deflexión a la estructura del pavimento, el cual es función del número e intensidad de aplicaciones de carga a que estará sujeto dicho pavimento.

El primer paso para la aplicación de este método, consiste en determinar el NTD (número de tránsito para diseño).

La siguiente etapa es obtener las deflexiones del pavimento que se tiene en estudio mediante la Viga Benkelman, u otro equipo similar (Dynalect). Esta información se deberá manejar estadísticamente, de donde la deflexión característica de diseño se establece según el Instituto del Asfalto, mediante la ecuación  $f_{97} = (\bar{x} + 2S) fc$ , que representa aproximadamente el 97 percentil, donde:

$f_{97}$  = Deflexión característica

$\bar{x}$  = Media de los valores obtenidos

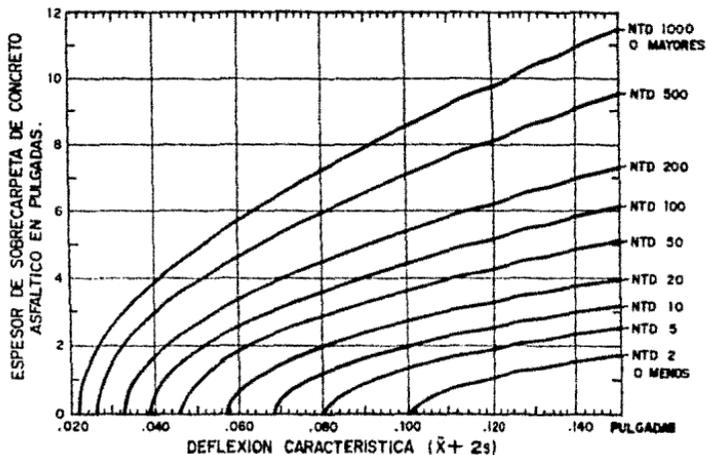
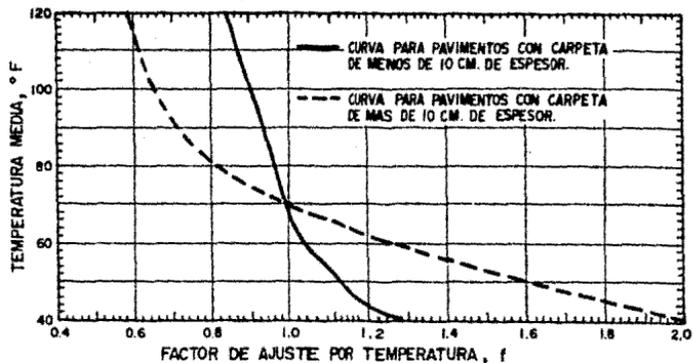
S = Desviación estándar

f = Factor en función de la temperatura de la carpeta. Fig. 5 (referencia 11, fig. III 4 y III 5)

c = Factor en función del período del año en el cual se realizan las mediciones.

c = 1 para el período más crítico.

La deflexión, así encontrada, y el NTD, son los parámetros requeridos para el diseño del refuerzo según este método. La gráfica que permite valuar el refuerzo se encuentra en la Fig. 5 (referencia 11, fig. IV 3).



U N A M  
FACULTAD DE INGENIERIA

FIGURA  
5

GRAFICAS DISEÑO  
INST. DEL ASFALTO

TESIS PROFESIONAL

OBSERVACIONES REF. 11

La metodología presentada hasta ahora, la desarrollamos a continuación para el problema en estudio.

Primero, para el cálculo del NTD, es necesario valorar una tasa de crecimiento anual en función de los datos de tránsito de años anteriores. De la tabla mostrada en el inciso 1 del Capítulo III de este trabajo, se tomaron datos y efectuaron los cálculos necesarios para establecer la mencionada tasa de crecimiento, haciendo uso de la técnica de mínimos cuadrados en una correlación lineal, se llegó a una tasa del 9% anual de crecimiento, resultando un tránsito diario inicial para 1979 = 3600 vehículos diarios.

De acuerdo con la distribución vehicular y a todos los datos presentados hasta ahora, creemos necesario hacer una división del camino en 2 tramos con características similares, que son: del Km 8+000 al 45+000 y del 45+001 al 71+000.

En base a los tramos propuestos, las características vehiculares por tramo son las siguientes:

Tramo 1 del Km 8+000 al 45+000

Tipo Vehículo	Nº Veh. l Sentido	% Veh. c/1000	Nº Veh. c/1000	Peso x eje lbs.	Factor equiv. 18,000 lbs.	Eje equiv. 18,000 lbs/1,000 veh.
A	1,098	61	610	2,200-1 2,200-2		0 0
B	234	13	130	9,060-1 18,300-2	0.11 1.31	14.3 170.3
C <sub>2</sub>	270	15	150	5,500-1 15,000-2	0.76	0 114
C <sub>3</sub>	90	5	50	5,730-1 30,800-2-3	0.92	0 46
C <sub>4</sub>	72	4	40	8,800-1 18,700-2	0.11 1.31	4.4 52.4
T <sub>2</sub> -S <sub>2</sub>				26,700-3-4	0.57	22.8
C <sub>5</sub>	36	2	20	8,600-1 28,600-2-3	0.11 0.57	2.2 11.4
T <sub>3</sub> -S <sub>2</sub>				26,650-4-5	0.57	11.4
<b>TOTAL</b>	<b>1,800</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>			<b>449.2</b>

Factor de carga para 1979  $F_1' = \frac{449.2}{1000} = 0.4492$

Factor de carga para 1980 con una tasa de crecimiento del 9% anual  $F_1 = 0.4492 \times 1.09 = 0.4896$

Factor de volumen de tránsito para 1980  $F_5 = 3600 \times 1.09 = 3.924$

Factor distribución por carril  $F_4 = 0.5$

Factor de ajuste para diseño a 10 años

El Instituto Norteamericano del Asfalto utiliza gráficas de diseño para 20 años, por tanto, es necesario un ajuste para diseño de otros períodos

$$F_3 = \frac{10}{20} = 0.5$$

Factor de crecimiento  $F_2 = \frac{1 + (1 + 0.09 \times 10)}{2} = 1.45$

∴ NTD =  $F_1 F_2 F_3 F_4 F_5 = 0.4896 \times 1.45 \times 0.5 \times 0.5 \times 3.924 = \underline{696.43}$

En la gráfica de la fig. 5 (referencia 11) con una deflexión característica promedio del tramo ( $\bar{z} \frac{d^2}{n}$  del tramo)  $\bar{z} = 75.89 \times 10^{-3}$  pulg., y con NTD = 696.43, se obtiene un espesor de refuerzo de pavimento asfáltico de 6.5 pulg = 16.51 cm equivalentes.

Tramo 2 del Km 45+001 al 71+000

Tipo Vehículo	Nº Veh. l Sentido	% Veh. c/1000	Nº Veh. c/1000	Peso x eje lbs.	Factor equiv. 18,000 lbs.	Eje equiv. 18,000 lbs/1,000 veh.
A	972	54	540	2,200 2,200		0 0
B	252	14	140	9,260-1 18,300-2	0.11 1.31	15.4 183.4
C <sub>2</sub>	342	19	190	5,500-1 15,000-2	0.76	0 144.4
C <sub>3</sub>	126	7	70	5,750-1 30,800-2	0.92	0 64.4
C <sub>4</sub>	72	4	40	8,800-1 18,700-2	0.11 1.31	4.4 52.4
T <sub>2</sub> -S <sub>2</sub>				26,700-3-4	0.57	22.8
C <sub>5</sub>	36	2	20	8,600 28,600-2-3	0.11 0.57	2.2 11.4
T <sub>3</sub> -S <sub>2</sub>				26,650-4-5	0.57	11.4
TOTAL	1800					511.2

Factor de carga para 1979  $F_1' = \frac{511.2}{1000} = 0.5112$

Factor de carga para 1980 con una tasa de crecimiento del 9% anual  $F_1 = 0.5112 \times 1.09 = 0.5572$

Factor de volumen de tránsito para 1980  $F_5 = 3600 \times 1.09 = 3.924$

Factor de distribución por carril  $F_4 = 0.5$

Factor de ajuste para diseño a 10 años

$$F_3 = \frac{10}{20} = 0.5$$

Factor de crecimiento  $F_2 = \frac{1 + (1 + 0.09 \times 10)}{2}$

$$F_2 = 1.45$$

$$\therefore \text{NTD} = F_1 F_2 F_3 F_4 F_5 = 0.5572 \times 1.45 \times 0.5 \times 0.5 \times 3.924 = \underline{792.6}$$

En gráfica de la fig. 5 (IV 3 de la referencia 11) con una deflexión característica promedio del tramo ( $\sum \frac{\delta_i}{n}$  del tramo)  $\delta_{av} = 134.46$ , y con NTD = 792.6, se obtiene un espesor de refuerzo del pavimento asfáltico de 10 pulg = 25.4 cm equivalentes.

Nota.- Los factores de equivalencia a eje de 18,000 lbs. fueron tomados de los propuestos por la AASHTO y modificados por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, para Carreteras Nacionales.

### 3. Espesores requeridos utilizando la información de las pruebas de VRS.

Existen diferentes modalidades en la forma de aplicar esta información en el mundo, aunque en general todas ellas conceptualmente similares.

En este trabajo manejaremos el método usado por el Instituto Norteamericano del Asfalto.

El método del Instituto del Asfalto, utilizando la información del VRS, es prácticamente similar al Método por Deflexiones del mismo Instituto.

Como primer paso es necesario calcular el número de tránsito de diseño NTD; después, con un VRS de diseño representativo del tramo, se entra al nomograma de la fig. 6 propuesto por el propio Instituto, y se encuentra un espesor total de pavimento asfáltico.

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

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

1" de concreto asfáltico = 2" de base

✓ 1" de concreto asfáltico = 1.3" base negra

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

En el inciso 2 de este capítulo se ha encontrado el NTD tanto para el tramo 1 como para el tramo 2 del camino; así pues, con un VRS de diseño de 2.6 para el tramo 1 y 11.6 para el 2, calculados éstos mediante un análisis estadístico y utilizando el percentil 30, se entra en el nomograma de la fig. 6 (referencia 12), y se encuentra un espesor total de pavimento asfáltico de:

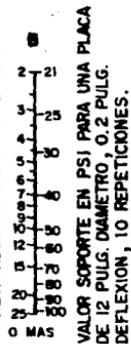
Tramo 1 = 14" = 35.56 cm

Tramo 2 = 8" = 20.32 cm

ESPESOR TOTAL EN PULGADAS DE CONCRETO ASFALTICO  
APARTIR DE LA SUBRASANTE "TA"

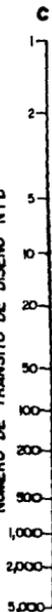


VALOR RELATIVO DE SOPORTE V.R.S.



VALOR SOPORTE EN PSI PARA UNA PLACA  
DE 12 PULG. DIAMETRO, 0.2 PULG.  
DEFLEXION, 10 REPETICIONES.

NUMERO DE TRANSITO DE DISEÑO NTD



NOMOGRAMA PARA EL DISEÑO DE ESPESORES EN ESTRUCTURAS  
CON PAVIMENTO ASFALTICO, UTILIZANDO VRS DE LA SUB--  
RASANTE O VALORES OBTENIDOS EN PRUEBAS DE PLACA.

NOTA: ESTE NOMOGRAMA ESTA REALIZADO PARA UN PERIODO  
DE DISEÑO DE 20 AÑOS; PARA OTROS PERIODOS DE  
DISEÑO ES NECESARIO USAR LOS FACTORES DE ---  
AJUSTE ADECUADOS ANTES DE ENTRAR A LA --  
GRAFICA.

<b>U N A M</b>	
<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>	
FIGURA 6	NOMOGRAMA DE DISEÑO INST. DEL ASFALTO
<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
OBSERVACIONES	REF. 12

Para poder hacer las comparaciones, es necesario transformar a espesor de concreto equivalente para el tramo 1.

		Tramo 2
<u>Carpeta</u>	$3.6" \div 1.3 = 2.7"$	<u>Carpeta</u> $3.8" \div 1.3 = 2.92"$
<u>Base</u>	$5.4" \div 2.0 = 2.7"$	<u>Base</u> $3.6" \div 2 = 1.81"$
<u>Sub-base</u>	$6.4" \div 2.7 = 2.3"$	<u>Sub-base</u> $4.8" \div 2.7 = 1.77"$
Espesor equivalente <u>19.55 cm</u>		Espesor equivalente <u>16.51 cm</u>

Observando estos resultados y haciendo una comparación, podemos decir:

Para el tramo 1 se tiene 19.55 cm de espesor actual y 35.56 cm como necesario; por lo tanto, el refuerzo sería de 16 cm de concreto asfáltico equivalente.

Para el tramo 2 se tiene 16.51 cm de espesor actual y 20.32 cm como necesario; por lo tanto, el refuerzo requerido sería de 3.81 cm de concreto asfáltico equivalente.

#### 4. Espesores requeridos utilizando el método del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

En México se utiliza predominantemente el VRS como base en los métodos de diseño en los pavimentos carreteros. El más importante de ellos es el desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México; por tanto, creemos que este método es actualmente el más adecuado, pues ha sido desarrollado pensando en los problemas y carencias que se tienen en nuestro país.

El método consiste básicamente en la obtención de 3 conceptos:

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

Para encontrar el número de repeticiones de carga o tránsito acumulado ( $\Sigma L$ ), es necesario contar con un análisis de tránsito y sus coeficientes de daño. La información anterior se maneja como se muestra en las siguientes tablas.

Carretera TOLUCA - MORELIA Tramo R+000 a 55+000 Fecha Sept. 1979

Notas Se consideran todos los vehículos cargados.

TIPO DE VEHICULO	Número de vehículos en ambas direcciones	Coeficiente de distribución	Número de vehículos en el carril de proyecto	Coeficiente de vehículos cargados o vacíos por carril $N_c, N_v$	Coeficientes de daño por tránsito, $F_1, F_2$		Número de ejes equivalentes de 8.2 ton, $N_1, N_2$	
					$z=0$ cm	$z=15$ cm	$z=0$ cm	$z=15$ cm
Ap 	2196	0.5	1098	C: 1.0	0.005	0	6.0	0
V:				0.005	0			
Ac 				C:	0.34	0.042		
V:				0.34	0.001			
B 	468	0.5	234	C: 1.0	2.0	1.150	468	269
V:				2.0	0.640			
C2 	540	0.5	270	C: 1.0	0.88	0.465	36	1.6
V:				0.88	0.027			
C3 	180	0.5	90	C: 1.0	0.88	0.675	79	61
V:				0.88	0.044			
T2-S1 				C:	3.0	1.740		
V:				3.0	0.140			
T2-S2 	144	0.5	72	C: 1.0	4.0	1.570	288	113
V:				4.0	0.210			
T3-S2 	72	0.5	36	C: 1.0	5.0	1.300	180	41
V:				5.0	0.150			
Total			1800	$T_0, T_0'$ : Tránsito equivalente inicial		2200	116	

NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES	COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN PARA EL CARRIL DE PROYECTO
2	0.5
4	0.25-0.50
6 o más	0.10-0.40

Años de servicio,  $n = 0$  Tasa de crecimiento anual,  $r = 0$  %

Coeficiente de acumulación del tránsito,  $C = 1.740$

Tránsito acumulado,  $\sum L_n = CT_0 = 7.176 \times 10^6$   $\sum L_n' = CT_0' = 3.3 \times 10^6$

Tabla para cálculo del tránsito acumulado en función de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton

Carretera TOLUCA - MORELIA Tramo 55+000 a 74+000 Fecha Sept. 1972

Notas Se consideraron todos los vehículos cargados.

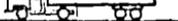
TIPO DE VEHICULO	Número de vehículos en ambas direcciones	Coeficiente de distribución	Número de vehículos en el carril de proyecto	Coeficiente de vehículos cargados o vacíos	Número de vehículos cargados o vacíos por carril $N_i, N_j$	Coeficientes de daño por tránsito, F <sub>i</sub> , F <sub>j</sub>		Número de ejes equivalentes de 8.2 ton, NF <sub>i</sub> , NF <sub>j</sub>									
						z=0 cm	z=15 cm	z=0 cm	z=15 cm								
A <sub>p</sub> 	1944	0.5	972	C= 1.0 V=		0.005 0	0 0	10 0	0								
A <sub>c</sub> 				C=		0.34 0.042											
B 	504	0.5	252	C= 1.0 V=		2.0 2.0	1.150 0.640	1000 500	500								
C2 	684	0.5	342	C= 1.0 V=		0.88 0.027	0.465	600	300								
C3 	252	0.5	126	C= 1.0 V=		0.88 0.044	0.675	222	110								
T2-S1 				C=		3.0 1.740											
T2-S2 	144	0.5	72	C= 1.0 V=		4.0 0.210	1.570	570	285								
T3-S2 	72	0.5	36	C= 1.0 V=		5.0 0.150	1.300	300	150								
			Total	180			$T_0, T_0'$ : Tránsito equivalente inicial		450	1700							
<table border="1"> <tr> <td>NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES</td> <td>COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN PARA EL CARRIL DE PROYECTO, %</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>40-50</td> </tr> <tr> <td>6 o más</td> <td>30-40</td> </tr> </table>		NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES	COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN PARA EL CARRIL DE PROYECTO, %	2	50	4	40-50	6 o más	30-40							Años de servicio, n: <u>0</u> Tasa de crecimiento anual, r: <u>0</u> %	
NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES	COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN PARA EL CARRIL DE PROYECTO, %																
2	50																
4	40-50																
6 o más	30-40																
								Coeficiente de acumulación del tránsito, C: <u>5700</u>									
								Tránsito acumulado, $\sum L_n \cdot C T_0$ : <u><math>1.63 \times 10^7</math></u> $\sum L_n \cdot C T_0'$ : <u><math>7.1 \times 10^7</math></u>									

Tabla para cálculo del tránsito acumulado en función de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton

Para encontrar el VRS de diseño, fue necesario tratar los datos obtenidos en el campo en una forma estadística de la manera como lo indica el Instituto de Ingeniería (I.I.).

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

$\text{VRS}_D$  = Valor relativo de soporte de diseño

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

C = Factor que depende del nivel de confianza establecido (en nuestro caso el 80% ;  
C = 0.842)

V = Coeficiente de variación del VRS en el campo

$$V = \frac{S}{\overline{\text{VRS}}} \quad S = \text{Desviación estándar}$$

De esta manera tenemos,

Para el tramo 1

$$\text{VRS}_D = 2.16$$

Para el tramo 2

$$\text{VRS}_D = 5.05$$

Con los datos anteriores se entra en la gráfica de diseño fig. 7, tal como lo indica el(I. I.).

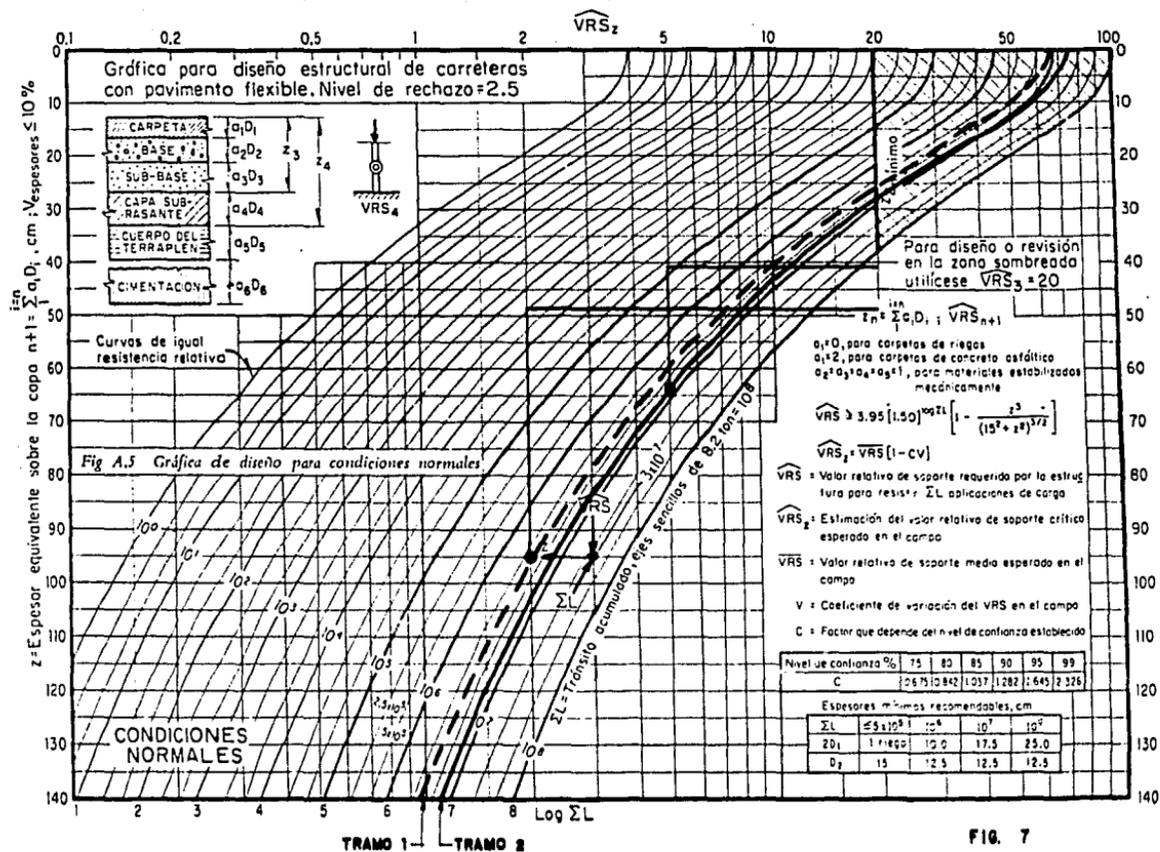
Obtenemos

Espesor total requerido

tramo 1 = 95 cm

tramo 2 = 65 cm

Comparándolo con el existente, tomando en cuenta las equivalencias de las capas, según lo marca el (I. I.).



Tramo 1

Carpeta 9.1 cm x 2 = 18 cm

Base 13 cm x 1 = 13 cm

Sub-base 16 cm x 1 = 16 cm

Espesor total equivalente 47 cm, lo que nos indica un re-  
fuerzo de 48 cm.  $95 - 47 = 48$  cm

Tramo 2

Carpeta 10 cm x 2 = 20 cm

Base 9 cm x 1 = 9 cm

Sub-base 13 cm x 1 = 13 cm

Espesor total equivalente 42 cm, lo que nos indica un re-  
fuerzo de 23 cm.  $65 - 42 = 23$  cm

## CAPITULO VII

**CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES**

## VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 1. Conclusiones.

Resultado de los análisis realizados a los datos de laboratorio y los recabados en el campo, así como a la necesidad de reacondicionar el camino y teniendo siempre presente el estado económico que priva en nuestro país, presentamos las siguientes conclusiones tratando sólo los aspectos más relevantes.

A. En las condiciones actuales esta carretera requiere anualmente de fuertes inversiones en conservación, que ni la mejoran estructuralmente de manera que pudiera preverse un refuerzo efectivo en el futuro, ni elevan el índice de servicio durante mucho tiempo, pues las sobrecarpas y trabajos de bacheo se pierden rápidamente.

B. El tramo en estudio, de una longitud total de 63 km, lo hemos dividido para su análisis en dos subtramos de 37 y 26 km cada uno. Esta subdivisión se basó en aspectos como son la topografía, daños que presenta el pavimento, deflexiones medidas con Viga Benkelman y VRS en el lugar. Cada uno de estos subtramos presentan características diferentes entre ellos, por lo tanto, requerirán de soluciones diferentes.

C. De acuerdo a los resultados obtenidos en el diseño del refuerzo necesario con cada uno de los métodos usados y para hacer una comparación de ellos, hemos realizado un resumen que presentamos a continuación.

Método	Refuerzo necesario en Centímetros		Observaciones
	Tramo 1	Tramo 2	
Instituto del Asfalto Viga Benkelman	16.5	25.5	Espesor en asfalto
Instituto del Asfalto Valor relativo de soporte	16.0	4.0	Espesor en asfalto
Instituto de Ingeniería UNAM Valor relativo de soporte	48.0	23.0	Espesor en grava equivalente

Como puede observarse, existen marcadas diferencias entre los refuerzos necesarios en los tramos estudiados; por otro lado, si vemos las características de calidad de los materiales constitutivos de la sub-base y subrasante para los dos casos tratados, podemos decir que las causas que originan los problemas en los tramos, son diferentes.

Para el tramo 1 los espesores de refuerzo requeridos, en general son mayores, y más aún en el método del Instituto de Ingeniería, que utiliza como información básica para el diseño el VRS de la subrasante. Así pues, creemos que la colocación de un refuerzo del orden de 50 cm de grava equivalente o del orden de 16 cm de asfalto, no serían una solución aceptable, pues en el caso de colocar 50 cm adicionales sobre la estructura actual del pavimento, produciría una reducción en el ancho de la corona del camino de aproximadamente 1.50 m. Por otro lado, la colocación de una sobrecarpeta de 16 cm no sería en ningún caso una solución económica.

Para el tramo 2, el espesor requerido de refuerzo, en el caso del método del Instituto del Asfalto, es del orden de 25 cm de asfalto y de 23 cm de grava equivalente

en el método del Instituto de Ingeniería. La discrepancia entre los resultados obtenidos se debe, principalmente, a que los materiales que constituyen la subrasante y terreno natural son del tipo reciente, lo que significa que al ser aplicada una carga transitoria, presentan grandes deformaciones elásticas, provocando con ésto la fatiga de los materiales superiores. Además, la resistencia de estos materiales en particular es alta, como se puede observar en los resultados de las pruebas de VRS realizadas.

D. La solución que se plantea mediante el método del Instituto del Asfalto, garantiza una estructura adecuada, aunque sumamente costosa.

E. El método del Instituto de Ingeniería presenta una solución aceptable, pero no garantiza el agrietamiento de la carpeta del pavimento causado por la fatiga de los materiales que la forman.

F. Uno de los aspectos que han influido en forma determinante en el proceso de deterioro del pavimento, es la carencia de un eficiente drenaje superficial y subdrenaje adecuado, haciéndose crítica en el tramo 2, sin dejar de ser importante en el primero.

## 2. Recomendaciones.

Tomando como base los trabajos hasta aquí realizados para la rehabilitación del camino, proporcionamos las siguientes recomendaciones para la solución del problema.

De acuerdo a los análisis efectuados, creemos que

existen 2 posibles formas de solución que nos conducen a la rehabilitación de esta vía.

- A. Una solución a corto y mediano plazo.
- B. Una solución a largo plazo.

Cada una de estas opciones presenta ventajas y desventajas como soluciones probables, las cuales plantearemos en forma breve.

A. A corto y mediano plazo.

Uno de los principales problemas a los que se enfrenta la rehabilitación de un camino, es seguir dando niveles de servicio adecuados al camino, además de que la circulación de vehículos no se vea interrumpida en ningún momento, ya sea mediante ampliaciones a la misma o por desviaciones que se contruyan exprofeso para tal fin; o bien, trabajar en tramos cortos atacando sólo un lado del camino y posteriormente el otro.

En forma general, y para todo el camino, proponemos:

- a) Construir las obras de drenaje complementarias, así como las de subdrenaje necesarias. Es importante reacondicionar las existentes, pues como hemos visto, la mayoría de ellas no se encuentran trabajando satisfactoriamente.
- b) Eliminar la carpeta y sobrecarpeta actual.

Para el tramo 1,

- c) Recompactar superficialmente el material que

constituye la base actual del pavimento con objeto de que dicho material pase a constituir la sub-base del nuevo pavimento. Es aconsejable que el proceso de compactación se efectúe mediante compactadores vibratorios con el fin de lograr una recompactación que llegue a capas inferiores.

- d) En los sitios donde existen baches y deformaciones fuertes, será necesario realizar una excavación en forma de caja, teniendo cuidado de que ésta drene hacia afuera del pavimento, hasta una profundidad tal, que asegure haber retirado la capa fallada; posteriormente se rellenará dicha excavación con material que cumpla con las características de base, compactándolo hasta que alcance el 95% de su peso volumétrico seco máximo determinado en el laboratorio, según la prueba AASHTO T-180-70.
  
- e) Después de haber realizado lo anterior, se procederá a colocar material de banco que cumpla con las características de material de base, en un espesor de 15 cm compactado al 100% de su peso volumétrico seco máximo, según la prueba antes mencionada.
  
- f) Colocar una carpeta de concreto asfáltico elaborada en Planta en caliente, en un espesor de 10 cm y compactada al 100% con respecto a la prueba Marshal con 75 golpes por cara.

Hacemos notar que la estructuración del pavimento

to aquí propuesto fue el resultado de un análisis utilizando el método del Instituto de Ingeniería de la UNAM; además, podemos notar que al eliminar la carpeta y recompactar el material existente para formar la sub-base, la colocación de la nueva base no implica una reducción considerable en el ancho de la corona del camino.

Para el tramo 2,

- g) Como hemos visto, en este tramo el pavimento se encuentra en muy malas condiciones, así pues, el material de base y sub-base actual, deberá sustituirse por un material con características de sub-base de textura cerrada. Deberá tener un espesor de 30 cm y ser compactada al 95% de su peso volumétrico seco máximo determinado en el laboratorio, según la prueba AASHTO T-180-70.
- h) Sobre la capa antes mencionada se podrá colocar una base de textura abierta y que no contenga finos, utilizando material de banco que cumpla con las características de ésta, en un espesor de 15 cm, compactado al 100% de su peso volumétrico seco máximo, según la prueba ya mencionada.
- i) Finalmente se podrá colocar una carpeta de concreto asfáltico elaborada en Planta, que cumpla con las características de la propuesta para el tramo 1, en un espesor de 7.5 cm.

En esta ocasión, la estructuración del pavimento

propuesta, también fue el resultado de un análisis usando el método del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Como hemos mencionado al inicio de este inciso, la solución que estamos proponiendo no cumple del todo con las condiciones de diseño, pues analizando la estructura que estamos proponiendo para el tramo 1, sólo nos cubre un período de diseño de escasamente 4 años, lapso suficiente para realizar todos los estudios complementarios, y poder iniciar el proyecto que contempla la alternativa a largo plazo. Por otro lado, el diseño propuesto para el tramo 2, sí cumple con las condiciones de diseño propuestas, cubriendo un período de 8 a 10 años.

#### B. A largo plazo.

En esta alternativa hemos considerado que para lograr una vida útil de 10 años o más, será necesario darle un mejor apoyo a la estructura del pavimento. Este objetivo podrá ser alcanzado, pensando en la estabilización de los materiales de la subrasante y sub-base mediante el uso de algún aglutinante, que bien pudiera ser cemento. Esta alternativa obviamente es mucho más costosa, sin embargo, dando una alta calidad al apoyo del pavimento, sobre todo en el tramo 1, se reducirán al mínimo todos los problemas.

En la solución de este problema creemos que sería necesaria la realización de otro estudio complementario, en el que el objetivo principal sería poder definir el aglutinante óptimo, las cantidades y forma de agregarlo.

## BIBLIOGRAFIA

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

1. Asociación Mexicana de Caminos  
"Carreteras y Transporte de México"  
México, D. F.
2. S.O.P.  
"Camino y Desarrollo México 1925-1975"  
Primera edición S.O.P. 1975
3. Sánchez Rosado, Domingo  
"Causas e Identificación de fallas en los Pavimentos"  
Procedimientos de Rehabilitación.  
Apuntes del curso impartido en el Centro de Educación  
Continua UNAM  
México, D. F., 1974
4. Rico Rodríguez, A. y Del Castillo Mejía, H.  
"La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres"  
Tomo II  
Ed. Limusa, 1a. edición 1977
5. DETENAL  
"Cartas Topográficas, Geológicas y de Climas"  
DETENAL, México, D. F.
6. Comunicación personal con el Geólogo Leonardo Triay C.
7. Comunicación personal con el M. en I. J. Manuel Orozco y O.
8. Comunicación personal con el M. en C. Carlos Fernández L.

9. S.O.P.  
"Datos Viales" 1965, 1966, 1967 y 1968  
México, D. F.
10. Corro C., Santiago y Prado O., Guillermo  
"Diseño estructural de Carreteras con Pavimento Flexible"  
Instituto de Ingeniería UNAM. #325, 1974
11. The Asphalt Institute  
"Asphalt Overlays and Pavement Rehabilitation"  
Manual serie #17 (MS-17), la. edición 1969
12. The Asphalt Institute  
"Thickness Design"  
Manual serie # 1 (MS-1), 1969