

27  
21



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ACATLAN"

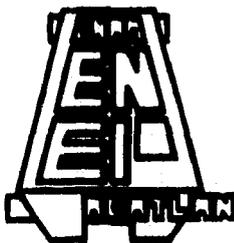
ESTUDIO GEOTECNICO Y DE PAVIMENTO  
DE LA AUTOPISTA CELAYA-SAN MIGUEL  
DE ALLENDE

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
LICENCIADO EN INGENIERIA CIVIL

P R E S E N T A

JOSE L OLAYA HERNANDEZ



MEXICO, D. F.



JULIO DE 1996.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## AGRADECIMIENTOS

- A Dios: Por darnos la vida
- A mis Padres: Por su apoyo incondicional y comprensión que siempre me han brindado.
- A mis hermanos: Que siempre han estado conmigo.
- A mis maestros: Por transmitirme sus conocimientos y apoyo.
- A mis amigos: Por apoyarme y motivarme durante mi época de estudiante.

<b>INDICE</b>	<b>PAGS.</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>ANTECEDENTES</b>	<b>4</b>
<b>CAPITULO I.- GENERALIDADES</b>	
1.1 Objetivo de los estudios	12
1.2 Localización	12
1.3 Condiciones naturales	14
1.3.1 Topografía	14
1.3.2 Clima	14
1.3.3 Geología	15
1.3.4 Drenaje	16
<b>CAPITULO II.- CARACTERISTICAS GEOTECNICAS</b>	
2.1 Generalidades	17
2.2 Recorrido previo	18
2.3 Recorrido definitivo	18
2.4 Exploración y muestreo	18
2.5 Localización de bancos de material	20
2.6 Ensayes de laboratorio	24
2.6.1 Normas de calidad para los materiales	24
2.7 Recopilación de información geotécnica	27

2.7.1	Curva masa	27
2.7.2	Tablas con datos para el cálculo de curva masa	29
2.7.3	Observaciones a los datos de tablas para el cálculo de curva masa	41
2.8	Recomendaciones para todo el tramo	42
2.9	Relación de cruces	43
2.10	Obras complementarias de drenaje	44
<b>CAPITULO III.- EVALUACION DEL PAVIMENTO EXISTENTE</b>		
3.1	Generalidades	47
3.2	Criterio de deflexiones	47
3.3	Refuerzo requerido en el pavimento actual utilizando la información de la viga benkelman	48
3.3.1	Método del Instituto Norteamericano del Asfalto	48
3.3.2	Cálculo de la cantidad de ejes equivalentes (CEE)	50
3.3.3	Cálculo de la deflexión característica	54
3.3.4	Cálculo del refuerzo requerido	67
<b>CAPITULO IV.- ESTUDIO DE PAVIMENTO</b>		
4.1	Conceptos generales	68
4.2	Localización de bancos de material	69

para pavimento	
4.3 Ensayes de laboratorio	69
4.4 Datos de tránsito	69
4.5 Método de diseño	73
4.5.1 Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM	73
4.6 Diseño de pavimento	75
4.6.1 Cálculo del tránsito equivalente	77
4.6.2 Cálculo del espesor requerido	84
4.7 Recomendaciones	86
4.8 Procedimientos de construcción	87
<b>CAPITULO V.- ESTUDIO ECONOMICO</b>	
5.1 Conceptos generales	91
5.2 Índice de Servicio Actual	91
5.3 Costo de operación	93
5.4 Costo de construcción	98
5.5 Análisis económico	100
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>105</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	

## INTRODUCCION.-

En los últimos años el gobierno de la República ha desarrollado un programa de construcción de autopistas concesionadas que supera los 5,000 Km hasta 1996, con esto se pretende comunicar a los principales puntos industriales y turísticos de nuestro país, reduciendo los tiempos de recorrido y aumentando la seguridad de los usuarios. Un caso particular de este programa es la autopista Celaya - San Miguel de Allende que es principalmente una vía turística perteneciente al estado de Guanajuato, y se pretende construir en los próximos años.

Para la construcción de una carretera o autopista es necesario realizar el proyecto geométrico el cual consiste en realizar el trazo preliminar, el definitivo, seccionamiento, levantamiento de obras de drenaje, cálculo de la curva masa, etc., estudios complementarios como son el geotécnico, de pavimento, topohidráulicos, de cimentación y estructurales (para puentes o viaductos). El presente trabajo trata del estudio geotécnico y de pavimento en lo que se refiere a la parte de gabinete principalmente, ya que la realización de los trabajos de campo y laboratorio serían sumamente costosos, por lo que dicha información fue proporcionada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Antes de entrar en materia, se presentan las características generales de una carretera.

Los elementos fundamentales en la estructura de una carretera son:

- A) Terreno natural o superficie de apoyo.
  - B) Terracerfas.
  - C) Pavimento (rígido o flexible).
  - D) Obras complementarias de drenaje superficial y subdrenaje.
- 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 ésto el nivel adecuado para el desarrollo del proyecto. Los materiales utilizados en ésta 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 en esta capa deberán cumplir con ciertos requisitos de calidad.
- C) Pavimento.- En la práctica se acostumbra subdividir a los pavimentos en dos grupos: los pavimentos rígidos y lo 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 subbase.- 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, compactada 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.

Una vez presentadas las principales características de una carretera se describe a continuación, el contenido de cada uno de los capítulos que integran el presente trabajo:

En el capítulo I se describen los aspectos generales del camino en estudio como son la localización, topografía, clima, geología y drenaje.

En el capítulo II se presenta la metodología para desarrollar el estudio geotécnico, en donde se obtienen las características principales de los suelos que servirán de soporte al camino y poder proporcionar las recomendaciones necesarias. Por otra parte se incluyen la relación de cruces y de obras complementarias de drenaje.

El capítulo III presenta una evaluación del pavimento de los tramos de carretera existentes que formarán parte de la autopista; mediante la evaluación del pavimento podemos saber si es necesario reforzar la estructura o no para que funcione adecuadamente durante el período proyectado.

En el capítulo IV se elabora el estudio de pavimento de la autopista, es decir se analizan las características del tránsito, se estudian los posibles bancos de material y se diseña el pavimento.

Por último en el capítulo V se elaboró un estudio económico para evaluar la factibilidad del proyecto.

## **ANTECEDENTES.-**

En la actualidad existe una carretera que une a las ciudades de Celaya y San Miguel de Allende, presenta un Tránsito Diario Promedio Anual (\*TDPA) de 2800 vehículos, cuenta con una sección existente de 2 carriles de circulación sin acotamientos, con ancho de corona de 7.0 m y una longitud de 60 Km, lo que significa mas de una hora de recorrido para trasladarse de una ciudad a otra.

Como muchos otros casos se pretende mejorar esta ruta, en este caso se consideró que es conveniente construir una autopista de 4 carriles de circulación con altas especificaciones para ofrecer la comunicación entre la ciudad de Celaya y San Miguel de Allende con mayor seguridad y en un menor tiempo de recorrido del que se realiza actualmente. Por lo tanto es necesario realizar los proyectos ejecutivos para la construcción de esta obra.

Como ya se mencionó en la introducción, este trabajo se abocará a la realización del estudio geotécnico y de pavimento para lo cual previamente es necesario contar con el eje de trazo definitivo, las características de las secciones transversales que tendrá la autopista, las obras de drenaje, etc., en este caso se aprovechará en algunos tramos el cuerpo de la carretera actual y en otros tramos se construirá uno o dos cuerpos nuevos. En los siguientes párrafos se presentan las secciones que tendrá la autopista.

Existen diferentes clasificaciones de las carreteras que varía desde un camino tipo "A" hasta uno tipo "E", siendo el primero el de mayores especificaciones y el segundo el de mas bajas especificaciones. Para este proyecto, se trata de una autopista que debe de proyectarse como camino tipo "A".

Para este proyecto se consideraron dos tipos de secciones A4 y A4S, la primera significa que es un camino tipo "A" con cuatro carriles de circulación alojados en un solo cuerpo, la segunda también es un camino

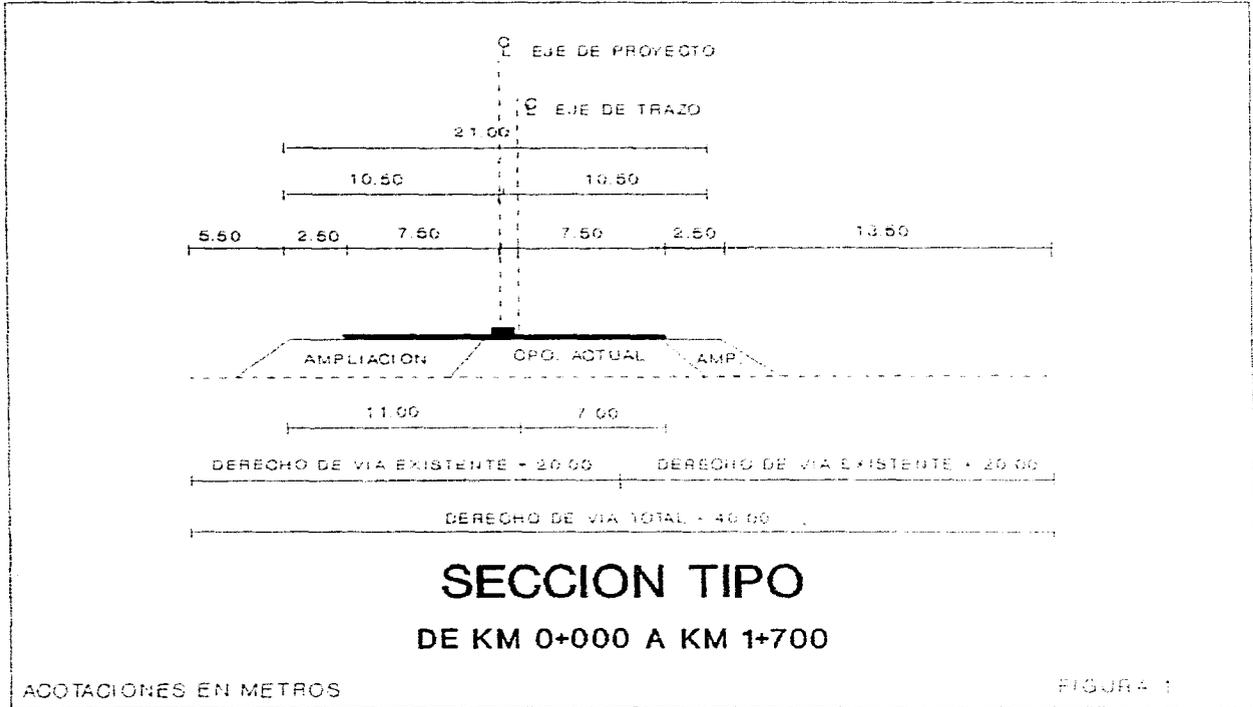
\* El TDPA, es el tránsito promedio anual que circula diariamente por la carretera en ambas direcciones, se obtiene de los aforos realizados en distintos puntos de la misma, estos aforos están registrados en los manuales de datos viales que edita la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

tipo "A" con cuatro carriles de circulación pero con cuerpos separados.

Los diferentes tramos en los que se divide la autopista, de acuerdo al tipo de sección que presentan, son los siguientes:

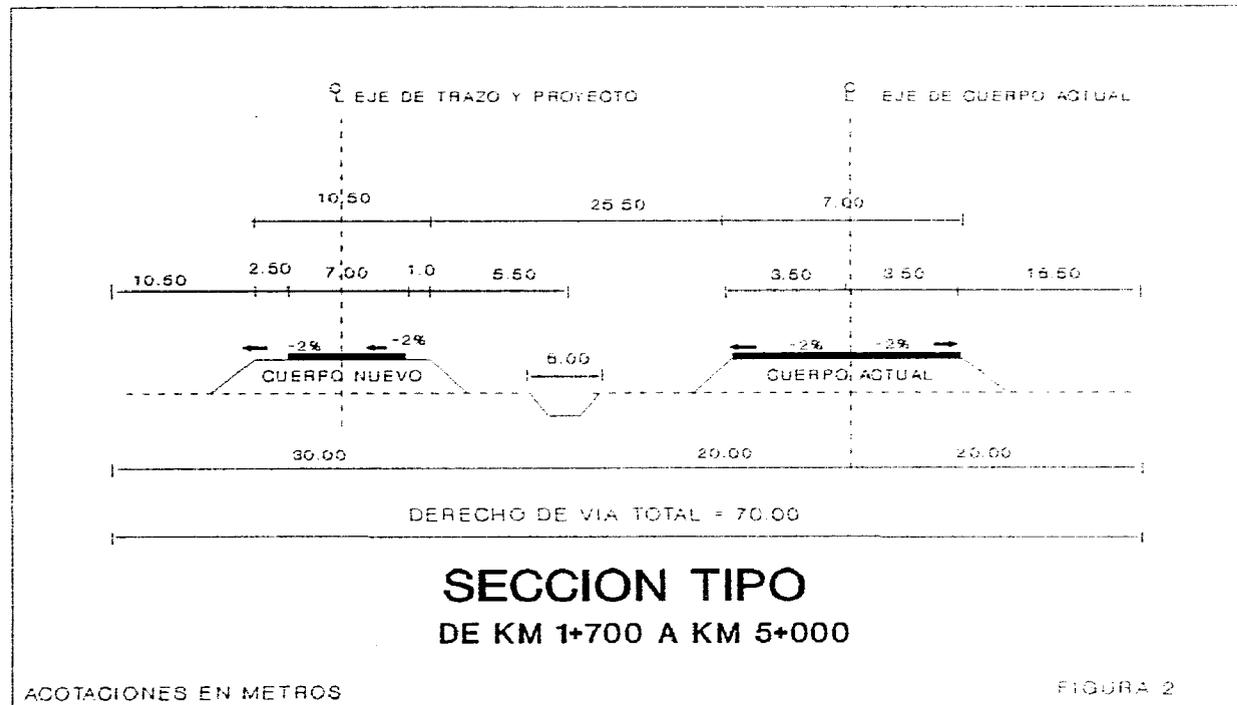
De Km a Km	Cuerpo Actual	Ampliación y/o Cuerpo nuevo
0+000 - 1+700	Se aprovecha el cuerpo actual	Construir ampliación en ambos lados para formar sección "A4" (figura 1)
1+700 - 5+000	Se aprovecha el cuerpo actual	Construir cuerpo nuevo para formar sección "A4S" (figura 2)
5+000 - 9+400 14+400 - 20+000	---	Construir dos cuerpos para formar sección "A4S" (figura 3)
9+400 - 14+400 20+000 - 32+500	---	Construir un cuerpo para formar sección "A4" (figura 4)
32+500 - 36+500	Se aprovecha el cuerpo actual	Construir cuerpo nuevo para formar sección "A4S" (figura 5)
36+500 - 40+000	Se aprovecha el cuerpo actual	Construir ampliación en ambos lados para formar sección "A4" (figura 6)

Las secciones descritas se proyectan para una velocidad de 110 Km/h.



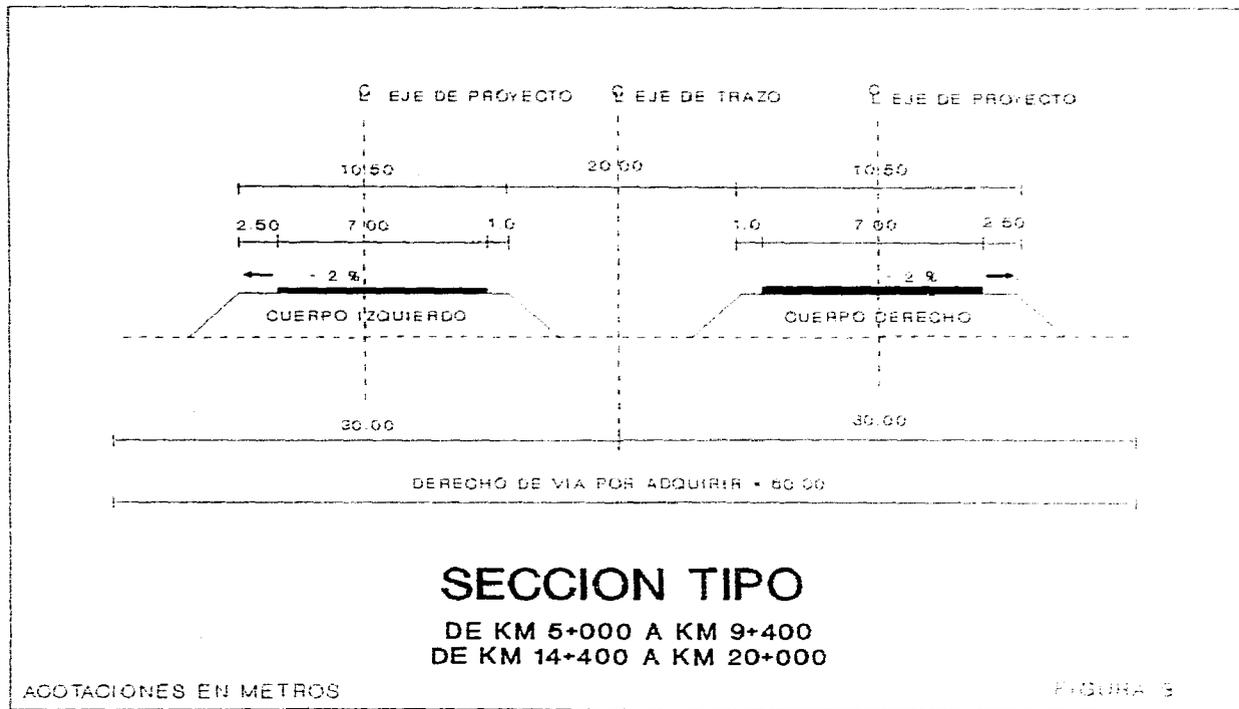
AUTOPISTA: CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE  
 KM: 0+000 A 40+000  
 ORIGEN: KM 44+100 DE AUT. QUERETARO - IRAPUATO

**UNAM**  
 ENER ACATLAN  
 TESIS PROFESIONAL



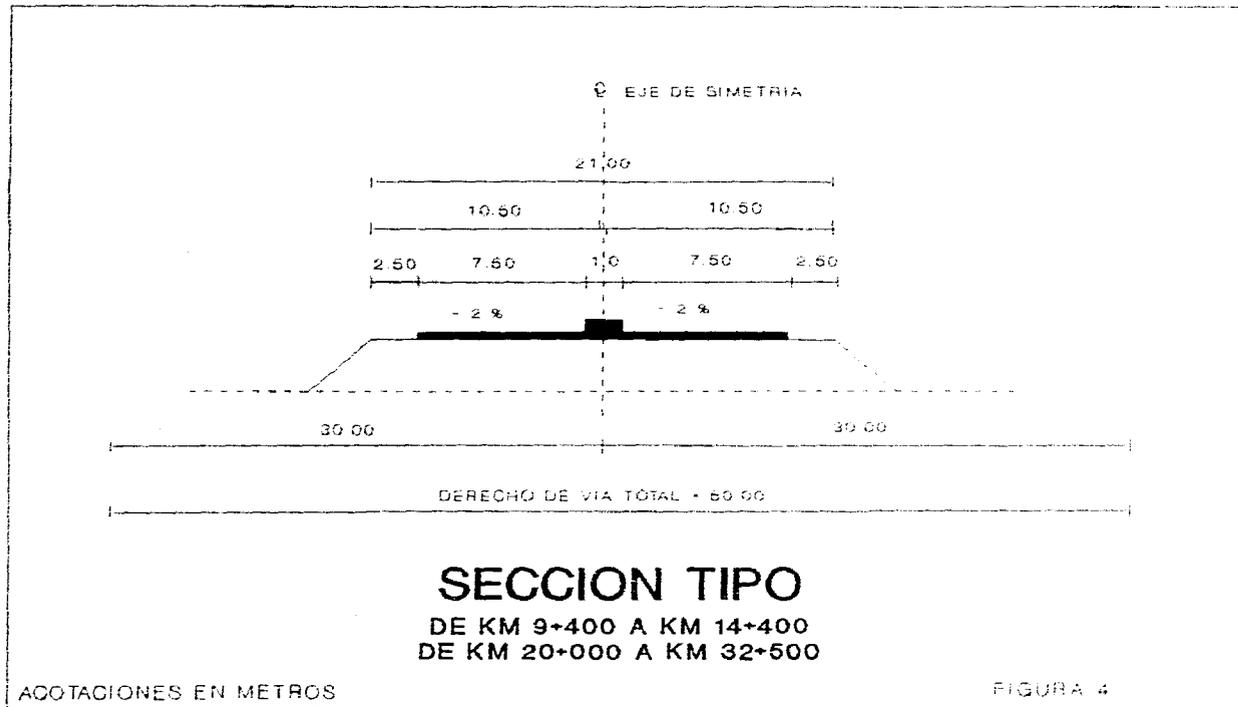
AUTOPISTA: CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE  
 KM: 0+000 A 40+000  
 ORIGEN: KM 44+100 DE AUT. QUERETARO - IRAPUATO

**UNAM**  
 ENEP ACATLAN  
 TESIS PROFESIONAL



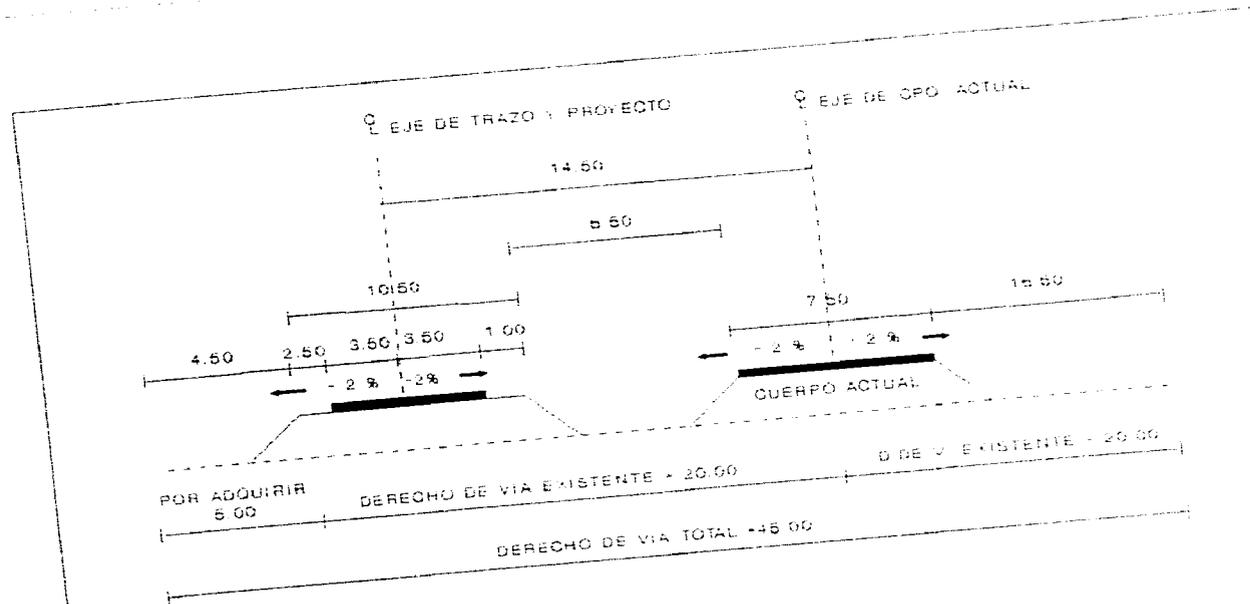
AUTOPISTA: CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE  
 KM: 0+000 A 40+000  
 ORIGEN: KM 44+100 DE AUT. QUERETARO - IRAPUATO

**UNAM**  
 ENER ACATLAN  
 TESIS PROFESIONAL



AUTOPISTA: CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE  
 KM: 0+000 A 40+000  
 ORIGEN: KM 44+100 DE AUT. QUERETARO - IRAPUATO

**UNAM**  
 ENEP ACATLAN  
 TESIS PROFESIONAL



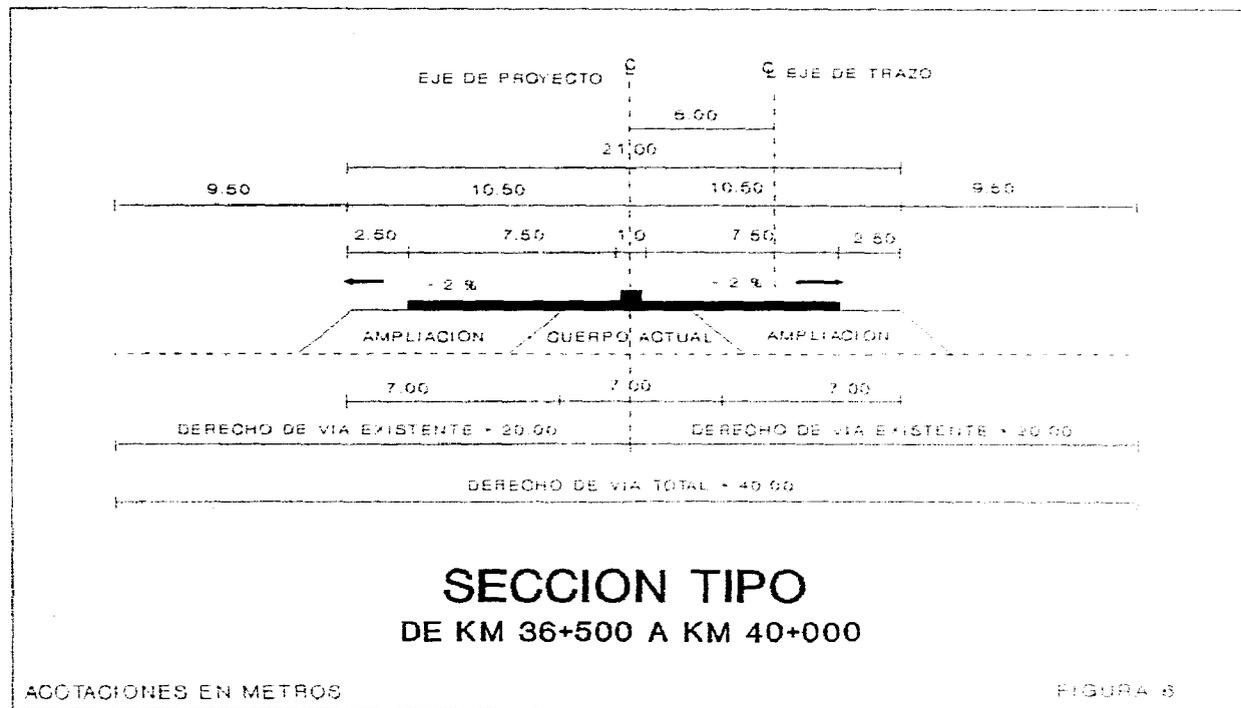
**SECCION TIPO  
DE KM 32+500 A KM 36+500**

FIGURA 5

ACOTACIONES EN METROS

AUTOPISTA: CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE  
 KM: 0+000 A 40+000  
 ORIGEN: KM 44+100 DE AUT. QUERETARO - IRAPUATO

**UNAM**  
 FINEP ACATLAN  
 TECNICO PROFESIONAL



AUTOPISTA: OELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE  
 KM: 0+000 A 40+000  
 ORIGEN: KM 44+100 DE AUT. QUERE TARO - IRAPUATO

**UNAM**  
 FNER ACATLAN  
 TESIS PROFESIONAL

## **CAPITULO I.- GENERALIDADES.**

### **1.1 OBJETIVO DE LOS ESTUDIOS.-**

Como se mencionó al principio del presente trabajo, el objetivo de éste es la elaboración del estudio Geotécnico y de Pavimento de la Autopista Celaya - San Miguel de Allende. La realización del estudio geotécnico incluye la exploración y análisis de los materiales que constituirán el suelo de cimentación donde se aljará la autopista, así como el estudio de los bancos de material para terracerías y pavimento. Con toda la información recabada se podrán elaborar las recomendaciones necesarias para la construcción de la obra.

Por otra parte se realizó el estudio de pavimento analizando las resistencias esperadas de los materiales que se utilizarán en la construcción del pavimento, y los requerimientos de tránsito que tendrá la autopista en un cierto período de tiempo; con esos datos se diseñará la estructura de pavimento mas conveniente para que funcione adecuadamente durante el tiempo esperado de diseño. Como se mencionó en los antecedentes, existen algunas zonas en las que se aprovechará la estructura de pavimento existente por lo que será necesario evaluar las condiciones del pavimento actual para determinar si es suficiente para funcionar durante el período de diseño o si requiere de algún refuerzo en su estructura. El nuevo trazo en las zonas donde no se aprovecha la sección existente, permitió obtener un ahorro en longitud de aproximadamente 20 Km.

### **1.2 LOCALIZACION.-**

El tramo estudiado se localiza al Noreste de la ciudad de Celaya, Gto. y al suroeste de la población de San Miguel de Allende, Gto., entre los paralelos  $20^{\circ}33'$  y  $20^{\circ}55'$  y los meridianos  $100^{\circ}44'$  y  $100^{\circ}50'$ . Tendrá una longitud de 40 Km. En la figura 1.1 se presenta el croquis de localización y el trazo definitivo de la autopista.

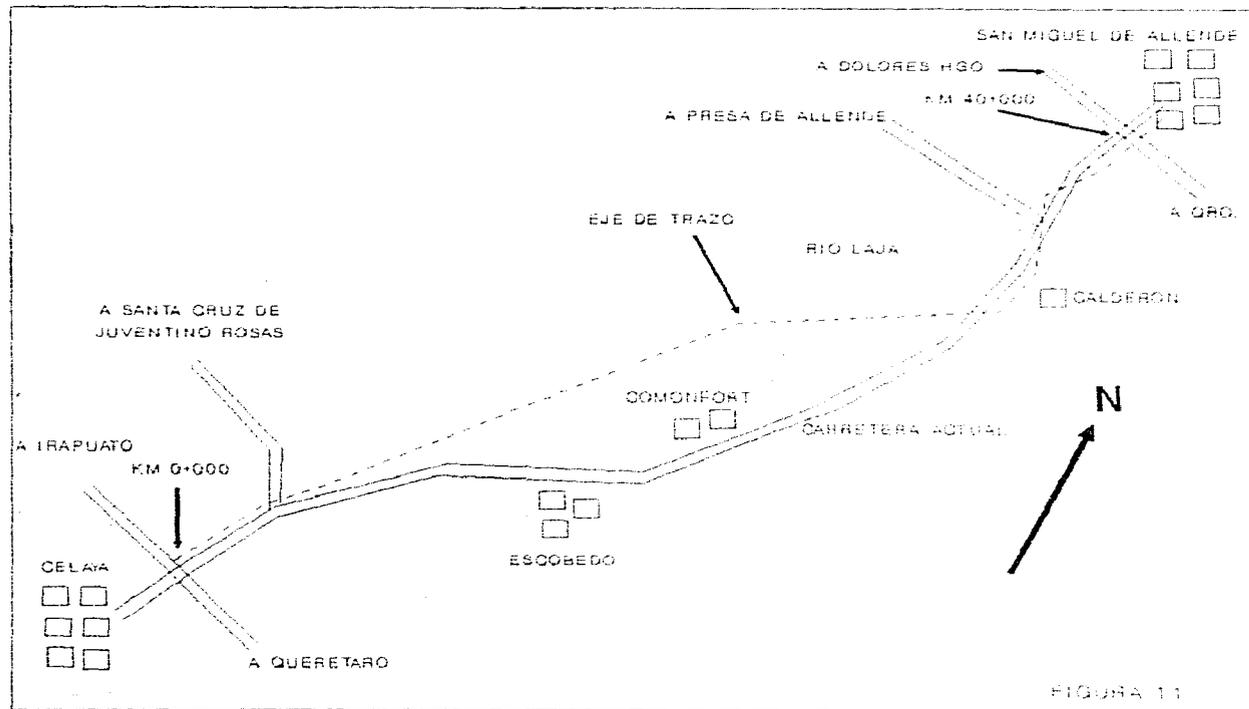


FIGURA 1.1

AUTOPISTA: CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE  
 KM: 0+000 A 40+000  
 ORIGEN: KM 44+100 DE AUT. QUERETARO - IRAPUATO

**UNAM**  
 ENER ACARLAN  
 TESIS PROFESIONAL

### 1.3 CONDICIONES NATURALES.-

#### 1.3.1 TOPOGRAFIA.-

De acuerdo a las características topográficas del terreno que atraviese una carretera se puede considerar los siguientes tipos de terreno: Plano, lomerío y montañoso. En este caso la autopista proyectada se aloja sobre terreno plano en un 50% de la longitud, y el resto en lomerío.

#### 1.3.2 CLIMA.-

De acuerdo a las cartas publicadas por el INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática), la autopista en estudio atraviesa por tres diferentes tipos de climas según el sistema de W. Köppen Geiger modificado por E. García. En los primeros 20 Km, iniciando en la Cd. de Celaya, se presenta un clima clasificado como BS<sub>1</sub>hw(w) donde:

- B .- Grupo de los climas secos
- S<sub>1</sub> .- Tipo semiseco
- hw.- Subtipo semiseco semicálido con lluvias en verano.
  
- (w).- Porcentaje de precipitación invernal menor de 5, invierno fresco. Precipitación media anual de 596 mm. y temperatura media anual de 19°C.

En los siguientes 10 km se presenta un clima clasificado como(A)C(wo)(w):

- C.- Grupo de clima templado
- (A).- Subgrupo de clima semicálido
- (wo).- Tipo semicálido subhúmedo (agrupa los subtipos menos húmedos de los semicálidos subhúmedos).
- (w).- Con porcentaje de lluvia invernal menor a 5. Presenta una precipitación media anual de 694 mm y una temperatura media de 19°C.

En los últimos 10 km se presenta un clima clasificado como BS<sub>1</sub>kw(w):

- B.- Grupo de climas seco
- S<sub>1</sub>.- Tipo semiseco
- kw(w).- Subtipo semiseco templado con lluvias en verano.
- (w).- Porcentaje de precipitación invernal menor de 5, verano cálido. Precipitación media de 516 mm. y temperatura media de 17°C.

### 1.3.3 GEOLOGIA.-

El proyecto se encuentra en los límites de las provincias fisiográficas del Eje Neovolcánico y la Mesa Central, observándose afloramientos de rocas ígneas extrusivas: riolitas, basaltos, brechas volcánicas y tobas. También afloran rocas sedimentarias: areniscas, conglomerados y calizas, presentando todas éstas diferentes grados de alteración, cementación y fracturamiento.

Hacia el norte de la ciudad de Celaya, Gto., los rellenos descansan sobre una secuencia formada por rocas calcáreas de edad Cretácica y Jurásica, afectadas por intrusivas granodioríticas que les provocaron el metamorfismo y mineralización, los cuales están parcialmente cubiertos por sedimentos continentales y tobas riolíticas de edad Terciaria. El valle del Bajío está integrado por rellenos lacustres y aluviales de edad terciario Superior representados los primeros por arenas y arcillas; los segundos por arenas limosas y limos.

Los materiales que componen el terreno donde se alojará la autopista son principalmente arcillas (CH), arenas limosas, arcillosas y fragmentos chicos, medianos y grandes de roca ígnea extrusiva (principalmente riolita). Estos fragmentos en ocasiones se encuentran muy alterados, formando estratos de gravas con arenas. Las zonas donde predominan las arcillas (CH) deben de considerarse con detalle ya que pueden ocasionar problemas a la carretera.

#### **1.3.4 DRENAJE.-**

La región del Bajío pertenece a la Cuenca Hidrológica del Río Lerma, el área de Celaya queda comprendida en la subcuenca del Río La Laja. Esta área se encuentra fuertemente sobreexplotada debido al bombeo intensivo de numerosos pozos y a la captura de corrientes superficiales mediante la construcción de presas, lo que ha provocado un descenso del nivel freático por lo que se observa un abatimiento de 30 m aproximadamente del año 1959 a 1996. Esta información fué proporcionada por gente que habita en la región por lo que es aproximada pero sí nos indica que la zona se encuentra sobreexplotada en cuanto a extracción de agua.

## **CAPITULO II.- CARACTERISTICAS GEOTECNICAS.**

### **2.1 GENERALIDADES.-**

Para el proyecto de una vía terrestre es necesario realizar un estudio geotécnico, el cual se puede definir como el conjunto de estudios de campo y laboratorio, recorridos, inspecciones, análisis y cálculos, que conducen al conjunto de recomendaciones y conclusiones necesarias para establecer las normas geotécnicas a que han de ceñirse los proyectos y los procedimientos de construcción de tales vías terrestres.

El estudio geotécnico deberá incluir toda la información relevante sobre el terreno de cimentación, tipos de materiales a emplear en la construcción de las terracerías y capa subrasante y su uso conveniente, señalando su probable comportamiento futuro y los tratamientos que se requerirán en todos los suelos y rocas por usar, así como los procedimientos de construcción idóneos. También se incluyen la relación de obras complementarias de drenaje y recomendaciones de cimentación para obras menores de drenaje.

En la elaboración de un estudio geotécnico pueden distinguirse dos etapas. La primera comprende reconocimientos de campo, exploración y muestreo, levantamiento de datos y las pruebas de laboratorio. En la segunda se recopila la información disponible, se analiza y se establecen las recomendaciones detalladas y concretas para la correcta utilización de los materiales en la construcción de la autopista.

Dentro de la realización del estudio es necesario identificar problemas geotécnicos especiales; la detección de estos problemas es muy importante desde el punto de vista de análisis de alternativas de trazo. Es muy común que estos problemas especiales requieran estudios de detalle para obtener un nivel de información necesario; con frecuencia, estos estudios deben ser sumamente minuciosos, sobre todo en lo que se refiere a zonas lacustres o pantanosas, fuente de problemas de inestabilidad y asentamiento de terraplenes sobre suelos blandos; laderas inestables que pueden requerir métodos de construcción muy especiales, en las que el conocer la naturaleza, movimientos y tendencias futuras de las zonas falladas puede exigir

programas de mediciones de campo dilatados y costosos. Las zonas de inundación de ríos de importancia suelen demandar largos trechos de terracerías protegidas, puentes y obras de drenaje auxiliares. En este estudio no se detectó ningún problema geotécnico especial.

Todas las etapas que constituyen el estudio se analizan en los siguientes incisos.

## **2.2 RECORRIDO PREVIO.-**

Se realizó un recorrido a lo largo del eje de proyecto, en ése recorrido se elaboró una zonificación geotécnica general, así como la identificación de los posibles bancos para terracerías y la programación de sondeos para clasificar los materiales existentes que constituyen la zona donde se ubica la autopista. De este recorrido se obtuvo una zonificación preliminar comprendida de la forma siguiente: Del Km 0+000 al Km 9+500 se presentan arcillas y arenas limosas (CH Y SM); del Km 9+500 al Km 11+000 afloran fragmentos de roca ígnea extrusiva.

Por otra parte se propuso realizar un sondeo a cada 2.5 Km, esta distancia se ajustará durante la ejecución de los sondeos de acuerdo a los diferentes materiales que se vayan encontrando.

## **2.3 RECORRIDO DEFINITIVO.-**

Con la información preliminar recabada en el recorrido previo se realizó un segundo recorrido en el cual se efectuaron los pozos a cielo abierto para obtener los espesores y las características de los materiales que forman el perfil estratigráfico del terreno. La distancia entre los pozos dependió de los cambios geotécnicos detectados durante el recorrido previo.

## **2.4 EXPLORACIÓN Y MUESTREO.-**

Como se mencionó en el inciso anterior se efectuó una exploración a los materiales que integran el terreno de cimentación donde se construirá la autopista, mediante pozos a cielo abierto (P.C.A.) que generalmente alcanzan 1.5 m de profundidad con la finalidad siguiente:

- a) Definir el perfil de suelos del terreno de cimentación donde se alojará la autopista.
- b) Obtener muestras correspondientes a estos sondeos con el objeto de definir las propiedades mecánicas de los materiales de cimentación.
- c) Definir los coeficientes de variación volumétrica de los materiales encontrados para fines de presupuesto.
- d) Generalmente esta profundidad es suficiente para detectar la calidad de los materiales de los estratos en donde influirá en forma importante los esfuerzos producidos al terreno por la acción del tránsito sobre la carretera.

El muestreo se realizó de acuerdo con las especificaciones de la S.C.T.; en términos generales se describe a continuación el criterio de muestreo seguido en esta etapa:

Las muestras extraídas de los pozos a cielo abierto se obtuvieron cada vez que apareció un cambio de estrato, atendiendo a las características físicas de los materiales tales como son, tamaño de los granos, color, apariencia, etc.

Las muestras que se obtuvieron son del tipo no representativas, que son aquellas que están constituidas por el material disgregado o en fragmentos en los que no se toman precauciones especiales para conservar las características de estructura y humedad.

Los materiales encontrados en los sondeos se clasificaron al tacto y ocularmente, además se obtuvieron muestras alteradas para efectuarles sus pruebas índice en el laboratorio.

Como se mencionó al principio del trabajo, estas actividades de campo fueron realizadas por personal de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, quien proporcionó la información recabada.

## 2.5 LOCALIZACION DE BANCOS DE MATERIAL.-

Se realizó un estudio para localizar bancos para cuerpo de terraplén, capa subrasante y pavimento, estos últimos se analizan en el capítulo siguiente, en cada uno de ellos se obtuvieron muestras para su posterior análisis y clasificación en el laboratorio, también se obtuvo el volumen aprovechable.

En la figura 2.1 se presenta el croquis de localización de los bancos y en la tabla 2.1 se presentan las características principales de los bancos como localizados, su utilización y características de sus materiales. El significado de la nomenclatura utilizada en las tablas es el siguiente:

En la columna de localización se utilizo D/I y D/D

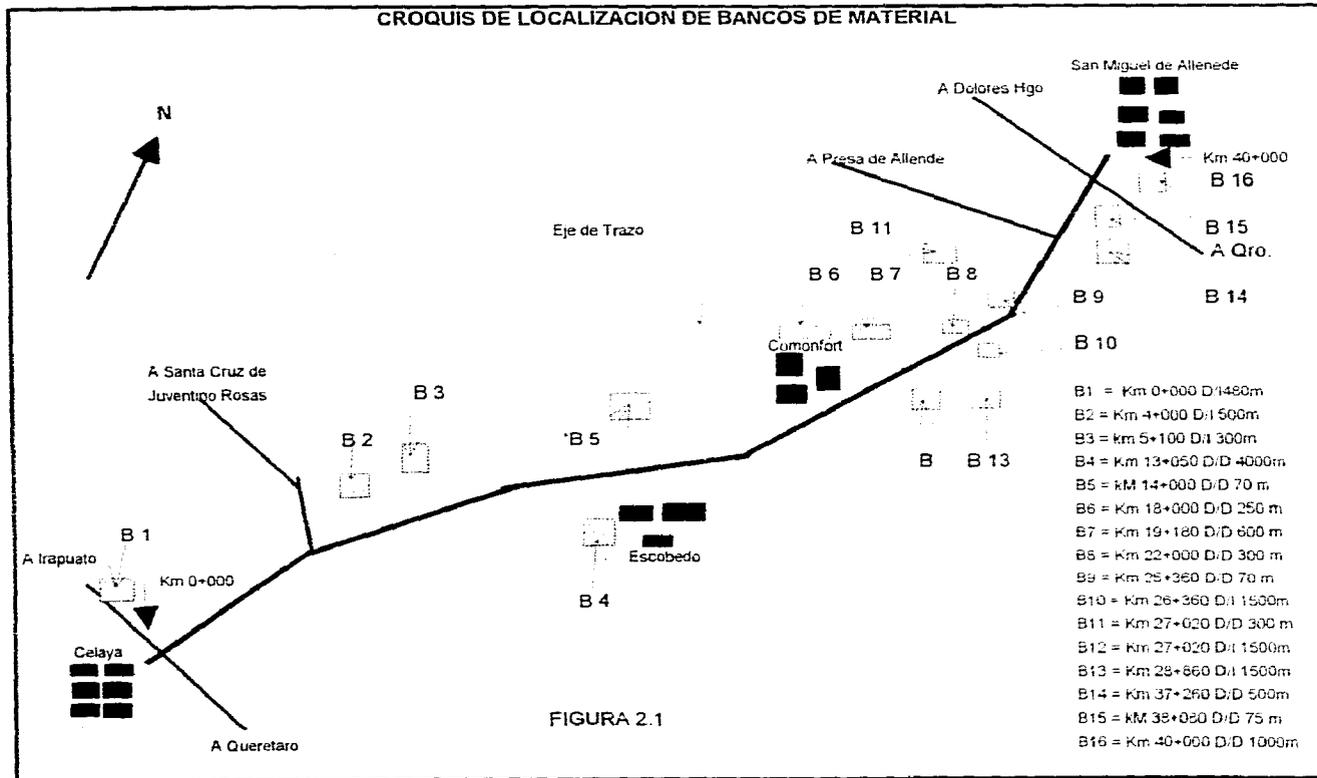
D/I	desviación izquierda
D/D	desviación derecha

Los valores que se encuentran en la columna de clasificación para presupuesto corresponden a la asignación de porcentajes según sea material tipo A, B ó C; donde el material tipo A es aquel que puede ser atacado con facilidad mediante pico, pala de mano, escrepa o pala mecánica de cualquier capacidad; además son los suelos poco o nada cementados, con partículas hasta de 7.5 cm.

El material B es aquel que requiere ser atacado mediante arado o explosivos ligeros, considerándose también las piedras sueltas mayores de 7.5 y menores de 75 cm.

Por último el material C es aquel que solamente puede ser atacado mediante explosivos, requiriendo para su remoción el uso de pala mecánica de gran capacidad.

En la columna de tratamiento probable, como su nombre lo indica, se indica el tratamiento que se le puede dar al material encontrado, ya sea ninguno, despalme, compactación ó bandeado (bandeado es el tratamiento mecánico que se aplica con equipo pesado de construcción, al material que por las dimensiones de sus fragmentos no se puede considerar susceptible de compactación normal).



AUTOPISTA: CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE  
 KM: 0+000 A 40+000  
 ORIGEN: KM 44+100 DE AUT. QUERETARO - IRAPUATO

UNAM  
 ENEP ACATLAN  
 TESIS PROFESIONAL

### BANCOS DE MATERIAL PARA TERRACERIAS Y CAPA SUBRASANTE

No.	DENOMINACION	LOCALIZACION	CLASIFICACION GEOLOGICA	CLASIFICACION PRESUPUESTO	DESPALME (m)	TRATAMIENTO	UTILIZACION	VOL. APROX. BANCO (m3)
1	El charco	Km 0+000 D/I 480 m	Arena bien graduada	40-60-00	0.50	Compactado	Cpo. de terraplén y capa subrasante	90,000
2	Plancarte	Km 4+000 D/I 500 m	Arena limosa	80-20-00	0.30	Compactado	Cpo. de terraplén y capa subrasante	450,000
3	San Cayetano	Km 5+100 D/I 300 m	Arena mal graduada	70-30-00	0.80	Compactado	Cpo. de terraplén y capa subrasante	160,000
4	Soria (frente tres)	Km 13+050 D/D 4000 m	Arena limosa	40-60-00	0.30	Compactado	Cpo. de terraplén y capa subrasante	160,000
5	San Nicolas	Km 14+000 D/D 70 m	Arena limosa	20-80-00	0.30	Compactado	Cpo. de terraplén y capa subrasante	300,000
6	La Laguna	Km 18+000 D/D 250 m	Arena limosa	40-60-00	1.00	Compactado	Cpo. de terraplén y capa subrasante	150,000
7	Virela	Km 19+180 D/D 600 m	Arena limosa	20-80-00	0.30	Compactado	Cpo. de terraplén y capa subrasante	300,000
8	Orduña de abajo	Km 22+000 D/D 300 m	Arena limosa	40-60-00	1.00	Compactado	Cpo. de terraplén y capa subrasante	200,000
9	Sin nombre	Km 25+360 D/D 70 m	Arena arcillosa con grava	20-80-00	0.20	Compactado	Cpo. de terraplén	50,000

TABLA 2.1

### BANCOS DE MATERIAL PARA TERRACERIAS Y CAPA SUBRASANTE

No.	DENOMINACION	LOCALIZACION	CLASIFICACION GEOLOGICA	CLASIFICACION PRESUPUESTO	DESPALME (m)	TRATAMIENTO	UTILIZACION	VOL. APROX. BANCO (m3)
10	Sin nombre	Km 26+360 D/I 1500 m	Arena limosa	40-60-00	0.20	Compactado	Cpo. de terraplén y capa subrasante	200,000
11	Sin nombre	Km 27+020 D/D 300 m	Arena limosa	20-80-00	0.20	Compactado	Cpo. de terraplén y capa subrasante	200,000
12	Sin nombre	Km 27+020 D/I 1500 m	Aren bien graduada limosa	20-80-00	0.20	Compactado	Cpo. de terraplén	200,000
13	Sin nombre	Km 28+860 D/I 1500 m	Arena limosa	40-60-00	0.20	Compactado	Cpo. de terraplén	100,000
14	La Presa	Km 37+260 D/D 500 m	Arena arcillosa con gravas	00-100-00	0.20	Compactado	Cpo. de terraplén	200,000
15	Sin nombre	Km 38+080 D/D 75 m	Arena arcillosa	40-60-00	0.20	Compactado	Cpo. de terraplén	100,000
16	San Miguel de Allende	Km 40+000 D/D 1000 m	Arena arcillosa	40-60-00	0.20	Compactado	Cpo. de terraplén	100,000

TABLA 2.1

## **2.6 ENSAYES DE LABORATORIO.-**

Las pruebas que se realizaron a las muestras obtenidas en los bancos mencionados en el inciso anterior fueron:

Granulometria simplificada

Límites de Atterberg

Equivalente de arena

Contenido de humedad natural

Contenido de humedad óptimo

Peso volumétrico seco máximo

Valor relativo de soporte estándar

En la tabla 2.2 se presenta el resumen de resultados de ensayos de laboratorio.

### **2.6.1 NORMAS DE CALIDAD PARA LOS MATERIALES.-**

La Calidad de los materiales debe cumplir los requerimientos establecidos en las Normas de Calidad de los Materiales parte 4.01 "Carreteras y Aeropistas" editado por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes en 1986.

Actualmente el Instituto Mexicano del Transporte (I.M.T.) ha propuesto otras especificaciones más exigentes que las establecidas por la S.C.T., que deben cumplir los materiales a ser utilizados en la construcción de terracerías y pavimentos. A continuación se presenta una tabla que incluye las normas de calidad para terracerías y pavimento, tanto de la S.C.T como del I.M.T.

## NORMAS DE CALIDAD PARA TERRACERIAS Y PAVIMENTO

CAPA	NORMAS S.C.T.		I.M.T.		
	CARACTERÍSTICAS	VALOR	DESEABLE	ADICUADA	TOLERABLE
CUBRISO DE TERRAPLEN	TAMAÑO MAX. mm	---	---	150	300
	ϕ < MALLA No. 200	No hay límite	30 Máx.	40 Máx.	40 Máx.
	IP %	---	12 Máx.	20 Máx.	25 Máx.
	LL %	< 100	40 Máx.	50 Máx.	60 Máx.
	COMPACTACION %	90 Mín.	25 Mín. AASHTO est.	40 Mín. AASHTO est.	40 Mín. AASHTO est.
	VRS %	> 10	15 Mín.	30 Mín.	30 Mín.
	EXPANSION %	< 1	---	---	3 Máx.
SUBRANANTE	TAMAÑO MAX. mm	76	76	76	76
	ϕ < MALLA No. 200	No hay límite	25 Máx.	35 Máx.	40 Máx.
	IP %	---	10 Máx.	20 Máx.	25 Máx.
	LL %	< 100	30 Máx.	40 Máx.	50 Máx.
	COMPACTACION %	95 Mín.	100 Mín. AASHTO est.	100 Mín. AASHTO est.	100 Mín. AASHTO est.
	VRS %	> 20	20 Mín.	15 Mín.	15 Mín.
	EXPANSION %	< 1	---	---	---
SUBBASE	TAMAÑO MAX. mm	51	76	76	
	ϕ < MALLA No. 200	25 Máx.	15 Mín.	20 Máx.	
	ZONA GRANULOMETRICA	1 y 3	1 - 2	1 a 3	
	IP %	---	10 Máx.	12 Máx.	
	LL %	---	25 Máx.	30 Máx.	
	E.A. %	20 Mín.	40 Mín.	30 Mín.	
	COMPACTACION %	95 Mín.	100 Mín. AASHTO mod.	100 Mín. AASHTO mod.	
	VRS %	90 Mín.	40 Mín.	30 Mín.	
EXPANSION %	---	40 Máx.	---		
BASE	TAMAÑO MAX. mm	50	50	50	
	ϕ < MALLA No. 200	25 Máx.	10 Máx.	15 Máx.	
	ZONA GRANULOMETRICA	1 y 3	1 y 2	1 y 2	
	IP %	---	6 Máx.	6 Máx.	
	LL %	30 Máx.	25 Máx.	30 Máx.	
	COMPACTACION %	100 Mín.	100 Mín. AASHTO mod.	100 Mín. AASHTO mod.	
	VRS %	100 Mín.	100 Mín.	100 Mín.	
	DESOCIATE DE LOS ANG.	---	40 Máx.	40 Máx.	
CARPETA	TAMAÑO MAX. mm	ret. en No. 40	25	25	
	ϕ < MALLA No. 200	8 Máx.	4 Máx.	8 Máx.	
	IP %	---	0	5 Máx.	
	E.A. %	55 Mín.	60 Mín.	55 Mín.	
	DESOCIATE DE LOS ANG.	40 Máx.	30 Mín.	40 Mín.	
	P&NT. ALARO. Y/O LAJA	35 % Máx.	25 % Máx.	50 % Máx.	

## RESULTADOS DE ENSAYES DE LABORATORIO

DENOMINACION	LOCALIZACION	%G	%A	%F	LL%	IP%	PESM (Kglm <sup>3</sup> )	W opt %	W nat. %	VRS std %	E.A. %	% Expan.
El charco	Km 0-000 D/I 480 m	21	75	4	26	11	1893	5.6	3	40	34	0.4
Plancarte	Km 4-000 D/I 500 m	4	96	0	25	N.P.	1635	11		33	62	0.0
San Cayetano	Km 5-100 D/I 300 m	19	80	1	20	N.P.	1862	4.3	7	25	74	0.2
oria (frente tres)	Km 13-050 D/D 4000m	2	88	10	25	N.P.	1499	24	42	36	83	0.54
San Nicolas	Km 14-000 D/D 70 m	4	90	6	26	N.P.	1500	17	7	35	64	0.27
La Laguna	Km 18-000 D/D 250 m	1	81	18	18	N.P.	1447	26	14	36	61	0.17
Virela	Km 19-180 D/D 600 m	16	63	21	20	N.P.	1595	19	16	35	31	0.29
Orduña de abajo	Km 22-000 D/D 300 m	5	90	5	28	N.P.	1476	24	37	40	70	0.16
Sin nombre	Km 25-360 D/D 70 m	5	69	26	47	20	1613	23	21	40	47	0.00
Sin nombre	Km 26-360 D/I 1500 m	3	79	18	25	N.P.	1468	13	25	37	70	0.40
Sin nombre	Km 27-020 D/D 300 m	28	56	16	27	7	1800	16	13	34	56	0.50
Sin nombre	Km 27-020 D/I 1500 m	13	77	10	52	16	1563	22	4	54	56	0.40
Sin nombre	Km 28-860 D/I 1500 m	9	46	45	50	18	1772	18	15	31	32	2.00
La Presa	Km 37-260 D/D 500 m	0	52	48	30	8	1704	16	15	34	44	0.30
Sin nombre	Km 38-080 D/D 75 m	0	73	27	41	21	1405	28	37	32	28	0.00
San Miguel de Atlande	Km 40-000 D/D 1000 m	10	66	24	67	38	1841	16	10	25	41	0.10

**TABLA 2.2**

## 2.7 RECOPIACION DE INFORMACION GEOTECNICA.-

Como se mencionó al principio de este capítulo la segunda etapa de un estudio geotécnico consiste en recopilar la información obtenida para poder analizarla y elaborar las recomendaciones necesarias, se acostumbra presentar la información en tablas con datos para el cálculo de curva masa. En el inciso siguiente se describe brevemente el significado de la curva masa y la finalidad de cada uno de los datos que se presentan en dichas tablas.

### 2.7.1 CURVA MASA

Los volúmenes, ya sean de corte o préstamo, deben ser transportados para formar los terraplenes; sin embargo, en algunos casos, parte de los volúmenes de corte deben desperdiciarse, para lo cual se transporta a lugares convenientes fuera del camino. El diagrama de curva masa es un instrumento que sirve para determinar todos estos movimientos de terracerfás a un costo mínimo.

El diagrama de masas es la curva resultante de unir todos los puntos dados por las ordenadas de curva masa en una estación determinada, las que se obtienen mediante la suma algebraica de los volúmenes de terraplén y de corte, estos afectados por su coeficiente de variación volumétrica. Se establece que los volúmenes de corte son positivos y los de terraplén negativos.

Para poder obtener el diagrama de masas es necesario contar con la información geotécnica recabada, la cual se presenta en tablas, a continuación se describe el significado de cada columna de estas tablas y se anexan las tablas con la información recabada en este trabajo.

La primera columna de la tabla indica los kilómetros que abarca el subtramo analizado el cual presenta características geotécnicas similares. En la segunda columna se anota el número de estrato encontrado y su espesor, en la siguiente columna se describe la clasificación del material encontrado en cada estrato.

En la columna de tratamiento probable, como su nombre lo indica, se

indica el tratamiento que se le puede dar al material encontrado, ya sea ninguno, despalme, compactación ó bandeado (bandeado es el tratamiento mecánico que se aplica con equipo pesado de construcción, al material que por las dimensiones de sus fragmentos no se puede considerar susceptible de compactación normal).

En la columna siguiente se indican los coeficientes de variación volumétrica obtenidos para distintos por cientos de compactación. Estos coeficientes se presentan debido a que el material ya sea de corte o de préstamo empleado en la formación de los terraplenes, experimentan un cambio de volumen al pasar de su estado natural a formar parte del terraplén, siendo esencial el conocimiento de este cambio para la correcta determinación de los volúmenes y de los movimientos de tierra correspondientes. El coeficiente de variación volumétrica es la relación que existe entre el peso volumétrico en su estado natural y el peso volumétrico que ese mismo material tiene al formar parte del terraplén. Este coeficiente se aplica al volumen del material en su estado natural para obtener su volumen en el terraplén. Por otra parte si el material no es compactable y su tratamiento es el bandeado se anota el coeficiente de variación volumétrica que tendrá este material después de ser tratado, en la columna correspondiente.

En la siguiente columna se anota la clasificación para presupuesto que es la asignación de porcentajes según sea material tipo A, B ó C; donde el material tipo A es aquel que puede ser atacado con facilidad mediante pico, pala de mano, escrepa o pala mecánica de cualquier capacidad; además son los suelos poco o nada cementados, con partículas hasta de 7.5 cm.

El material B es aquel que requiere ser atacado mediante arado o explosivos ligeros, considerándose también las piedras sueltas mayores de 7.5 y menores de 75 cm.

Por último el material C es aquel que solamente puede ser atacado mediante explosivos, requiriendo para su remoción el uso de pala mecánica de gran capacidad.

Las siguientes dos columnas presentan la altura máxima de corte o de terraplén que va a existir (según el perfil del proyecto) y el talud que

se recomienda para que sea estable.

En la última columna se indican las observaciones que se hacen a cada estrato de material analizado.

#### **2.7.2.- TABLAS CON DATOS PARA EL CALCULO DE CURVA MASA**

Las tablas que contienen la información geotécnica y sus recomendaciones son las siguientes:

KM A KM	ESTRATO		CLASIFICACION	TRATAMIENTO PROBABLE	COEFICIENTES DE VARIACION VOLUMETRICA				CLASIFICA CION PRESUPUESTO A-B-C	CORTE		TERRAPLEN		OBSERVA CIONES
	No	ESPEJOR (m)			90 %	95 %	100 %	BANDEADO		ALTURA MAXIMA	TALUD	ALTURA MAXIMA	TALUD	
0+000 A 0+800	1	0.20	Suelo vegetal	Despalme					100-00-00					A
	2	Indef.	Arena arcillosa, gris clara, medianamente compacta, húmeda (SC)	Compactado	0.95	0.90	0.85		40-60-00					D.G
0+800 A 2+200	1	0.20	Suelo vegetal	Despalme					100-00-00					A
	2	Indef.	Arcilla negra, de consistencia media, húmeda (CH)	Ninguno					80-20-00			1.6	1.5:1	B.F
2+200 A 4+200	1	0.20	Suelo vegetal	Despalme					100-00-00					A
	2	Indef.	Arena limosa, gris medianamente compacta, húmeda (SM)	Compactado	0.95	0.90	0.85		40-60-00	0.3	1:1	2.0	1.5:1	D.G
4+200 A 5+000	1	0.20	Suelo vegetal	Despalme					100-00-00					A
	2	Indef.	Arcilla con poca arena, café obscura, de consistencia media (CH)	Ninguno					80-20-00			1.8	1.5:1	B.F
5+000 A 6+200	1	0.20	Suelo vegetal	Despalme					100-00-00					A
	2	Indef.	Arcilla negra, de consistencia media húmeda (CH)	Ninguno					80-20-00			2.2	1.5:1	B.F

KM A KM	ESTRATO		CLASIFICACION	TRATAMIENTO PROBABLE	COEFICIENTES DE VARIACION VOLUMETRICA				CLASIFICA- CION PRESUPUESTO A-B-C	CORTE		TERRAPLEN		OBSERVA CIONES
	No	ESPEJOR (m)			90 %	95 %	100 %	BANDEADO		ALTURA MAXIMA	TALUD	ALTURA MAXIMA	TALUD	
6+200 A 7+800	1	0.30	Suelo vegetal	Despalme					100-00-00					A
	2	Indef.	Arena limosa, medianamente compacta, húmeda (SM)	Compactado	0.95	0.90	0.85		40-60-00	0.6	1:1	7.0	1.5:1	D.G
7+800 A 9+500	1	0.20	Suelo vegetal	Despalme					100-00-00					A
	2	Indef.	Arcilla negra, de consistencia media, húmeda (CH)	Ninguno					80-20-00			8.6	1.5:1	B.F
9+500 A 10+960	1	0.60	Suelo vegetal:arcilla negra empacando fragmentos chicos, medianos y grandes en un 40% de roca ígnea extrusiva (OH-Fcmg)	Despalme					80-20-00					A
	2	Indef.	Fragmentos chicos, medianos y grandes de roca ígnea extrusiva, empacados en arcilla (Fcmg-CH)	Bandeado				1.10	00-100-00	9.0	1:1	8.6	1.5:1	C.E

KM A KM	ESTRATO		CLASIFICACION	TRATAMIENTO PROBABLE	COEFICIENTES DE VARIACION VOLUMETRICA				CLASIFICA- CION PRESUPUESTO A-B-C	CORTE		TERRAPLEN		OBSERVA CIONES
	No	ESPEJOR (m)			90 %	95 %	100 %	BANDEADO		ALTURA MAXIMA	TALUD	ALTURA MAXIMA	TALUD	
10+960 A 12+640	1	0.60	Suelo vegetal:arcilla negra empacando fragmentos chicos y medianos en un 30% de roca ígnea extrusiva (OH-Fcm)	Despalme					80-20-00					A
	2	Indef.	Arcilla poco arenosa, con intercalaciones calichosas, firme, poco húmeda (CL)	Compactado	1.00	0.95	0.90		40-60-00	3.4	1:1	2.0	1.5:1	C,E
12+640 A 13+500	1	0.50	Suelo vegetal:arcilla negra empacando fragmentos chicos y medianos en un 30% de roca ígnea extrusiva (OH-Fcm)	Despalme					80-20-00					A
	2	Indef.	Arcilla negra, húmeda de consistencia media empacando fragmentos chicos, medianos y grandes en un 30% de roca ígnea extrusiva (CH-Fcmg)	Ninguno					40-60-00	0.4	1:1	3.8	1.5:1	B,F

KM A KM	ESTRATO		CLASIFICACION	TRATAMIENTO PROBABLE	COEFICIENTES DE VARIACION VOLUMETRICA				CLASIFICA- CION PRESUPUESTO A-B-C	CORTE		TERRAPLEN		OBSERVA CIONES
	No	ESPEJOR (m)			90 %	95 %	100 %	BANDEADO		ALTURA MAXIMA	TALUD	ALTURA MAXIMA	TALUD	
13+500 A 14+400	1	0.30	Suelo vegetal:arcilla negra empacando fragmentos chicos y medianos en un 30% de roca ígnea extrusiva (OH-Fcm)	Despalme					80-20-00					A
	2	Indef.	Arena limosa, café clara, compacta, poco húmeda (SM)	Compactado	1.00	0.95	0.90		20-80-00	19	1:1 < h/2 3/4.1 > h/2	7.0	1.5:1	D,G
14+400 A 15+780	1	0.20	Suelo vegetal	Despalme					100-00-00					A
	2	Indef.	Arena limosa con gravas aisladas, medianamente compacta, húmeda (SM)	Compactado	0.95	0.90	0.85		40-60-00			10.0	1.5:1	D,G
15+780 A 16+740	1	0.20	Suelo vegetal	Despalme					100-00-00					A
	2	Indef.	Arena limosa,café, húmeda, compacta, empacando fragmentos chicos y medianos aislados de roca ígnea extrusiva (SM)	Compactado	1.00	0.95	0.90		20-80-00	2.4	1:1	1.9	1.5:1	D,G

KM A KM	ESTRATO		CLASIFICACION	TRATAMIENTO PROBABLE	COEFICIENTES DE VARIACION VOLUMETRICA				CLASIFICA- CION PRESUPUESTO A-B-C	CORTE		TERRAPLEN		OBSERVA CIONES
	No	ESPEJOR (m)			90 %	95 %	100 %	BANDEADO		ALTURA MAXIMA	TALUD	ALTURA MAXIMA	TALUD	
16+740 A 18+120	1	0.50	Suelo vegetal:arcilla café, húmeda (OH)	Despalme					100-00-00					A
	2	Indef.	Limo arenoso, café, medianamente compacto, húmedo (ML)	Compactado	1.00	0.95	0.90		60-40-00	1.0	1:1	2.6	1.5:1	C,E
18+120 A 19+200	1	1.00	Suelo vegetal:arcilla negra empacando fragmentos chicos y medianos en un 20% de roca ígnea extrusiva (OH-Fcm)	Despalme					80-20-00					A
	2	Indef.	Arena limosa, gris, medianamente compacta, húmeda (SM)	Compactado	0.95	0.90	0.85		40-60-00	1.8	1:1	1.9	1.5:1	D,G
19+200 A 20+800	1	0.60	Suelo vegetal:arcilla negra, húmeda (OH)	Despalme					100-00-00					A
	2	Indef.	Grava areno arcillosa, gris, compacta, húmeda, empacando fragmentos chicos y medianos aislados de roca ígnea extrusiva (GC)	Compactado	1.00	0.95	0.90		20-80-00	2.7	1:1	1.4	1.5:1	D,G

KM A KM	ESTRATO		CLASIFICACION	TRATAMIENTO PROBABLE	COEFICIENTES DE VARIACION VOLUMETRICA				CLASIFICA- CION PRESUPUESTO A-B-C	CORTE		TERRAPLEN		OBSERVA CIONES
	No	ESPEJOR (m)			90 %	95 %	100 %	BANDEADO		ALTURA MAXIMA	TALUD	ALTURA MAXIMA	TALUD	
20+800 A 23+500	1	0.20	Suelo vegetal: arcilla café, húmeda (OH)	Despalme					100-00-00					A
	2	Indef.	Arena limosa, café clara medianamente compacta, húmeda (SM)	Compactado	0.95	0.90	0.85		40-60-00	5.4	1:1	3.6	1.5:1	D.G
23+500 A 23+780	1	0.20	Suelo vegetal: arena limosa, gris con gravas aisladas (SM)	Despalme					100-00-00					A
	2	Indef.	Arcilla arenosa, negra, de consistencia blanda, húmeda (CH)	Ninguno					100-00-00	0.2	1:1	2.6	1.5:1	B.F
23+780 A 24+120	1	0.20	Suelo vegetal: arcilla gris con fragmentos chicos y medianos en un 20% (OH-Fcm)	Despalme					80-20-00					A
	2	Indef.	Roca ígnea extr. (Rie), fracturada, poco alterada (Riolita); al atacarla se obtendrá fragmentos chicos, medianos, grandes y arenas limosas (Fcmg-SM)	Bandeado				1.07	00-60-40			11.2	1.5:1	C.E

KM A KM	ESTRATO		CLASIFICACION	TRATAMIENTO PROBABLE	COEFICIENTES DE VARIACION VOLUMETRICA				CLASIFICA CION PRESUPUESTO A-B-C	CORTE		TERRAPLEN		OBSERVA CIONES
	No	ESPEJOR (m)			90 %	95 %	100 %	BANDEADO		ALTURA MAXIMA	TALUD	ALTURA MAXIMA	TALUD	
24+120 A 24+460	1	0.80	Suelo vegetal:arcilla negra, de consistencia media, húmeda (OH)	Despalme					100-00-00					A
	2	Indef.	Grava arcillosa, café, medianamente compacta, húmeda (GC)	Compactado	0.95	0.90	0.85		20-80-00	1.0	1:1	4.8	1.5:1	D,G
24+460 A 25+200	1	0.10	Suelo vegetal	Despalme					100-00-00					A
	2	Indef.	Limo poco arenoso, gris claro, medianamente compacto, húmedo (ML)	Compactado	0.95	0.90	0.85		60-40-00	5.4	1:1	4.8	1.5:1	C,E
25+200 A 26+760	1	0.10	Suelo vegetal	Despalme					100-00-00					A
	2	Indef.	Arena arcillosa, café claro, compacta, húmeda (SC)	Compactado	1.00	0.95	0.90		40-60-00	1.0	1:1	1.5	1.5:1	D,G
26+760 A 28+900	1	0.20	Suelo vegetal	Despalme					100-00-00					A
	2	Indef.	Grava areno limosa,café claro, medianamente compacta, húmeda (GP-SM)	Compactado	0.95	0.90	0.85		20-80-00	8.8	1:1	13.0	1.5:1	D,G

KM A KM	ESTRATO		CLASIFICACION	TRATAMIENTO PROBABLE	COEFICIENTES DE VARIACION VOLUMETRICA				CLASIFICA- CION PRESUPUESTO A-B-C	CORTE		TERRAPLEN		OBSERVA CIONES
	No	ESPEJOR (m)			90 %	95 %	100 %	BANDEADO		ALTURA MAXIMA	TALUD	ALTURA MAXIMA	TALUD	
28+900 A 29+500	1	0.20	Suelo vegetal: arcilla con fragmentos chicos en un 20 % (OH-Fc)	Despalme					80-20-00					A
	2	Indef.	Fragmentos medianos, chicos y grandes de roca ígnea extrusiva (Riolita) empacados en limo café (Fmcg-MH)	Bandeado				1.07	00-100-00	16.6	1:1 > h/2 3/4:1 < h/2	31.2	1.5:1	C.E
29+500 A 30+080	1	0.20	Suelo vegetal: arcilla negra, con fragmentos chicos en un 10% (OH)	Despalme					90-10-00					A
	2	Indef.	Grava areno limosa, café, compacta, húmeda (GP-SM)	Compactado	1.00	0.95	0.90		20-80-00	16.6	1:1 > h/2 3/4:1 < h/2	9.6	1.5:1	C.E

KM A KM	ESTRATO		CLASIFICACION	TRATAMIENTO PROBABLE	COEFICIENTES DE VARIACION VOLUMETRICA				CLASIFICA- CION PRESUPUESTO A-B-C	CORTE		TERRAPLEN		OBSERVA CIONES
	No	ESPESOR (m)			90 %	95 %	100 %	BANDEADO		ALTURA MAXIMA	TALUD	ALTURA MAXIMA	TALUD	
30+080 A 32+320	1	0.20	Suelo vegetal: arcilla negra, con fragmentos chicos en un 10% (OH)	Despalme					90-10-00					A
	2	0.60	Fragmentos chicos y medianos de roca ígnea extrusiva (Riolita) empacados en limo gris claro (Fcm-ML)	Bandeado				1.00	00-100-00					C.E
	3	Indef.	Roca ígnea extrusiva (Riolita) fracturada, poca alterada; al atacarla se obtendrán fragmentos chicos, medianos, grandes y arenas limosas (Fcmg-GP)	Bandeado				1.10	00-50-40	19.3	3/4:1 > h/2 1/2:1 < h/2	9.6	1.5:1	C.E
32+320 A 35+900	1	0.20	Suelo vegetal	Despalme					100-00-00					A
	2	Indef.	Arena limosa, café, medianamente compacta, húmeda (SM)	Compactado	0.95	0.90	0.85		40-50-00	6.0	1:1	5.6	1.5:1	D.G

KM A KM	ESTRATO		CLASIFICACION	TRATAMIENTO PROBABLE	COEFICIENTES DE VARIACION VOLUMETRICA				CLASIFICA- CION PRESUPUESTO A-B-C	CORTE		TERRAPLEN		OBSERVA CIONES
	No	ESPESOR (m)			90 %	95 %	100 %	BANDEADO		ALTURA MAXIMA	TALUD	ALTURA MAXIMA	TALUD	
35+900 A 36+420	1	0.20	Suelo vegetal	Despalme					100-00-00					A
	2	Indef.	Arena arcillosa, café, compacta, húmeda, empacando fragmentos chicos aislados (SC)	Compactado	1.00	0.95	0.90		00-100-00	2.2	1:1	6.8	1.5:1	D.G
36+420 A 37+480	1	0.20	Suelo vegetal	Despalme					100-00-00					A
	2	Indef.	Arena limosa café clara, compacta, húmeda (SM)	Compactado	1.00	0.95	0.90		20-80-00	8.0	1:1	6.0	1.5:1	D.G
37+480 A 39+120	1	0.20	Suelo vegetal	Despalme					100-00-00					A
	2	Indef.	Arena arcillosa, café con gravas aisladas, compacta, húmeda (SC)	Compactado	1.00	0.95	0.90		20-80-00	8.0	1:1	2.2	1.5:1	D.G
39+120 A 39+200	1	0.20	Suelo vegetal	Despalme					100-00-00					A
	2	Indef.	Arcilla arenosa, café clara, de consistencia firme, húmeda (CL)	Compactado	1.00	0.95	0.90		40-60-00	0.7	1:1			C.E

KM A KM	ESTRATO		CLASIFICACION	TRATAMIENTO PROBABLE	COEFICIENTES DE VARIACION VOLUMETRICA				CLASIFICA- CION PRESUPUESTO A-B-C	CORTE		TERRAPLEN		OBSERVA CIONES
	No	ESPESOR (m)			90 %	95 %	100 %	BANDEADO		ALTURA MAXIMA	TALUD	ALTURA MAXIMA	TALUD	
39+120 A 39+200	1	0.20	Suelo vegetal	Despalme					100-00-00					A
	2	Indef.	Arcilla arenosa, café clara, de consistencia firme, húmeda (CL)	Compactado	1.00	0.95	0.90		40-60-00	0.7	1:1			C.E
39+200 A 40+000	1	0.20	Suelo vegetal	Despalme					100-00-00					A
	2	Indef.	Arena arcillosa, café, medianamente compacta, húmeda (SC)	Compactado	0.95	0.90	0.85		40-60-00	6.8	1:1	1.6	1.5:1	D.G

### 2.7.3.- OBSERVACIONES PARA EL CALCULO DE LA CURVA MASA

- A) Material que por sus características no debe utilizarse ni en la construcción del cuerpo del terraplén.
- B) Material que podrá utilizarse en la formación del cuerpo del terraplén, excepto en sus 0.60 m superiores, bandeándolo en capas de espesor igual al tamaño de los fragmentos o compactándolo al 90% del PVSM obtenido en la prueba Próctor estándar.
- C) Material adecuado para construir el cuerpo del terraplén y sus 0.60 m superiores, compactándolo al 90 y 95% del PVSM Próctor estándar respectivamente, o bandeándolo en capas de espesor igual al tamaño de los fragmentos. La capa subrasante se podrá formar con material de banco.
- D) Material que podrá utilizarse en la construcción del cuerpo del terraplén y sus 0.60 m superiores, así como en la capa subrasante, compactándolo al 90, 95 y 100% del PVSM, respectivamente obtenido en la prueba Próctor estándar.
- E) En terraplenes desplantados sobre este material con altura menor a un metro, el cuerpo del terraplén o la capa subrasante podrá apoyarse sobre dicho material según lo requiera el proyecto geométrico. Los cortes abiertos en este material se llevarán a una profundidad tal que permita la colocación de la capa subrasante.
- F) En terraplenes sobre este material con altura menor a un metro, se deberá abrir caja del espesor necesario para garantizar que el cuerpo del terraplén tenga un espesor mínimo de 0.60 m. En cortes abiertos en este material se deberá remover los 0.30 m superiores de la cama del corte. En ambos casos los materiales empleados para reponer el material excavado, serán del banco más próximo y compactados al 95% del PVSM obtenido mediante la prueba Próctor estándar. La capa subrasante se

podrá formar con material de banco.

- G) Los terraplenes sobre este material se recomienda apoyarlos directamente sobre él, al igual que la capa subrasante. Los cortes excavados en este material se recomienda no llevarlos más allá de la capa subrasante. Para formar la capa subrasante en cortes, bastará excarificar el material en el sitio y compactarlo al 100% en un espesor de 0.30 m.

## 2.8.- RECOMENDACIONES GENERALES PARA TODO EL TRAMO

- 1.- La capa subrasante se deberá construir de 0.30 m de espesor y compactada en todos los casos al 100% del PVSM obtenido en la prueba Próctor estándar. Si se opta por la alternativa A descrita en el capítulo siguiente será de 0.40 m de espesor.
- 2.- La estructuración en la capa subrasante se llevará a cabo con materiales provenientes tanto de la línea de trazo como de préstamo de banco.
- 3.- Con el material producto del despalme se podrán arropar los taludes de los terraplenes.
- 4.- En todo el tramo tanto las cunetas como las contracunetas deberán impermeabilizarse con concreto hidráulico de  $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ , con un espesor de 5 cm.
- 5.- Los taludes para los terraplenes serán los siguientes:

ALTURA (m)	TALUD
0.00 - 0.80	3:1
0.80 - 1.50	2:1
> 1.50	1.5:1

El primer número del talud indica la distancia horizontal y el segundo la vertical.

## 2.9.- RELACIÓN DE CRUCES

Como información complementaria se incluye la relación de los cruces que tendrá la autopista, por ejemplo cruce con el ferrocarril, canales, carreteras existentes, caminos vecinales, etc... Cada cruce será motivo de otro estudio de cimentación y estructural según la estructura requerida. En la siguiente tabla se presenta la relación de cruces.

KILOMETRAJE	TIPO DE OBRA
0+114	CANAL DE RIEGO
1+479	ENTRONQUE A DESNIVEL JUVENTINO ROSAS
3+740	P.I.V. (1 VIA) ACCESO A ZONA AGRICOLA
4+923	ENTRONQUE A DESNIVEL SAN CAYETANO
6+682	P.S.FF.CC. (4 VIAS) FF.CC. A JUVENTINO ROSAS
7+702	P.I.V. (2 VIAS) A SAN ELIAS
8+650	P.I.V. (1 VIA) ACCESO A ZONA AGRICOLA
9+367	P.S.V. (2 VIAS) Y PUENTE (1 CANAL) CANAL NEUTLA
23+100	P.I.V. (1 VIA) A ORDUÑA DE ARRIBA
23+500	RIO LAJA
23+804	P.S.FF.CC. (4 VIAS) FF.CC. CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE
23+876	P.S.V. (2 VIAS) CARRETERA CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE
25+050	P.I.V. (1 VIA) ACCESO A GRANJAS
26+740	ARROYO LA CANTERA I
28+940	ARROYO CALDERON
30+700	P.S.V. (2 VIAS) CARRETERA CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE
31+150	P.S.V. (2 VIAS) CARRETERA A GUANAJUATO
32+030	ARROYO EL FRAILE
33+630	P.I.V. (1 VIA) A LAS CABRAS
36+180	ARROYO LA CANTERA II
36+900	P.I.V. (1 VIA) SANTA TERESITA - EL RINCON
40+000	ENTRONQUE A DESNIVEL SAN MIGUEL DE ALLENDE

En la tabla anterior se utilizó la siguiente nomenclatura:

- P.I.V. Paso inferior de vehículos
- P.S.FF.CC Paso superior de ferrocarril
- P.S.V. Paso superior de vehículos

## 2.10.- OBRAS COMPLEMENTARIAS DE DRENAJE

Las obras complementarias de drenaje son estructuras que están ligadas a la protección de cortes y terraplenes, control de erosión en suelos y prevención de problemas de estabilidad en suelos y rocas. Algunas de estas obras son las cunetas, contracunetas, bordillos, lavaderos, etc.. En la práctica mexicana estas obras se recomiendan mas bien según el sentimiento y la experiencia del especialista, que con base en estudios minuciosos y detallados.

En este proyecto solo se recomienda el recubrimiento de cunetas y la construcción de contracunetas, ambas en las zonas de cortes. Las cunetas son canales que se recobren de concreto hidráulico y que se alojan en los extremos de la sección de la autopista solo en la zona de cortes, su función es captar el agua que proviene de los cortes conduciéndola a un sitio adecuado y de esta manera que no afecte a la carretera.

Las contracunetas son canales que se construyen en la parte superior de los cortes cuya función es captar el agua que escurriría por los cortes y de esta manera evitar posibles problemas de erosión en el corte.

En las siguientes tablas se presentan los cadenamientos donde se recomiendan las cunetas y contracunetas, cuantificando su longitud.

DE KM A KM	RECUBRIMIENTO DE CUNETAS			CONSTRUCCION DE CONTRACUNETAS		
	IZQ.	DER.	LONG. (m)	IZQ.	DER.	LONG. (m)
3+510 a 3+560	X	X	100			
6+690 a 6+750	X	X	120			
9+730 a 10+375	X	X	1290	X		800
10+620 a 10+680	X	X	120			
SUMAS			1.630			800

DE KM A KM	RECUBRIMIENTO DE CUNETAS			CONSTRUCCION DE CONTRACUNETAS		
	IZQ.	DER.	LONG. (m)	IZQ.	DER.	LONG. (m)
10+705 a 10+740	X	X	70			
11+290 a 11+675	X	X	770			
11+860 a 12+250	X	X	780			
12+480 a 12+785	X	X	610			
13+510 a 14+260	X	X	1500	X		860
16+305 a 16+680	X	X	750			
16+960 a 17+230	X	X	540			
17+610 a 17+995	X	X	770			
18+020 a 18+670	X	X	1300			
19+280 a 19+650	X	X	740			
20+000 a 20+070	X	X	140			
20+330 a 20+790	X	X	920			
20+920 a 21+760	X	X	1680			
22+220 a 22+365	X	X	290			
22+610 a 23+370	X	X	1520			
23+635 a 23+685	X	X	100			
24+125 a 24+220	X	X	190			
24+740 a 25+055	X	X	630			
26+660 a 26+785	X	X	250			
27+130 a 27+700	X	X	1140			
28+260 a 28+750	X	X	980			
29+235 a 29+750	X	X	1030			
SUMAS			16,700			860

DE KM A KM	RECUBRIMIENTO DE CUNETAS			CONSTRUCCION DE CONTRACUNETAS		
	IZQ.	DER.	LONG. (m)	IZQ.	DER.	LONG. (m)
29+950 a 30+650	X	X	1400		X	1020
30+800 a 31+455	X	X	1310			
31+510 a 32+125	X	X	1230			
32+335 a 32+760	X	X	850			
34+180 a 34+480	X	X	600			
35+150 a 35+460	X	X	620			
35+500 a 35+820	X	X	640			
36+120 a 36+210	X	X	180			
36+510 a 36+850	X	X	680			
36+890 a 37+140	X	X	500			
37+730 a 37+980	X	X	500			
38+370 a 38+600	X	X	460			
38+645 a 39+890	X	X	2490			
<b>SUMAS</b>			<b>11,160</b>			<b>1,020</b>
<b>SUMA TOTAL</b>			<b>29,490</b>			<b>2,680</b>

## **CAPITULO III.- EVALUACION DEL PAVIMENTO EXISTENTE.**

### **3.1 GENERALIDADES.-**

Como se mencionó al principio de este trabajo, existen algunos subtramos en los que se aprovechará la sección existente de la carretera, por lo que es necesario realizar una evaluación del pavimento existente en estas zonas.

La evaluación de un pavimento consiste en la realización de una serie de acciones, cuyo objetivo es conocer el estado que guardan la estructura y la superficie de rodamiento, con el fin de proponer las obras necesarias para prolongar su vida útil y mejorar su nivel de servicio.

Los estudios de evaluación son aplicables no sólo a tramos carreteros con pavimento en mal estado, sino también a tramos de condiciones aceptables ya que permiten determinar si el pavimento existente presenta características adecuadas o cuándo resulta conveniente realizar trabajos de conservación en previsión de daños mayores.

En este capítulo se realizará la evaluación del pavimento, existen muchos métodos tanto destructivos como no destructivos, en este caso se utilizará un método no destructivo que se realiza con la viga Benkelman, este método se detalla a continuación:

### **3.2 CRITERIO DE DEFLEXIONES.-**

Se entiende por deflexión la máxima deformación vertical que sufre la superficie de un pavimento bajo la acción de una carga normalizada y se define como rebote elástico a la máxima recuperación experimentada por la misma superficie cuando esa carga se retira; teóricamente, el rebote elástico es menor que la deflexión, llamándose deformación permanente a la diferida.

Como en el procedimiento de medición con la viga Benkelman se mide la recuperación de la superficie del pavimento, se puede decir que con este

dispositivo se efectúan mediciones de rebote elástico y no de deflexión.

La metodología recomendada para llevar a cabo las mediciones de rebote elástico con la viga Benkelman es:

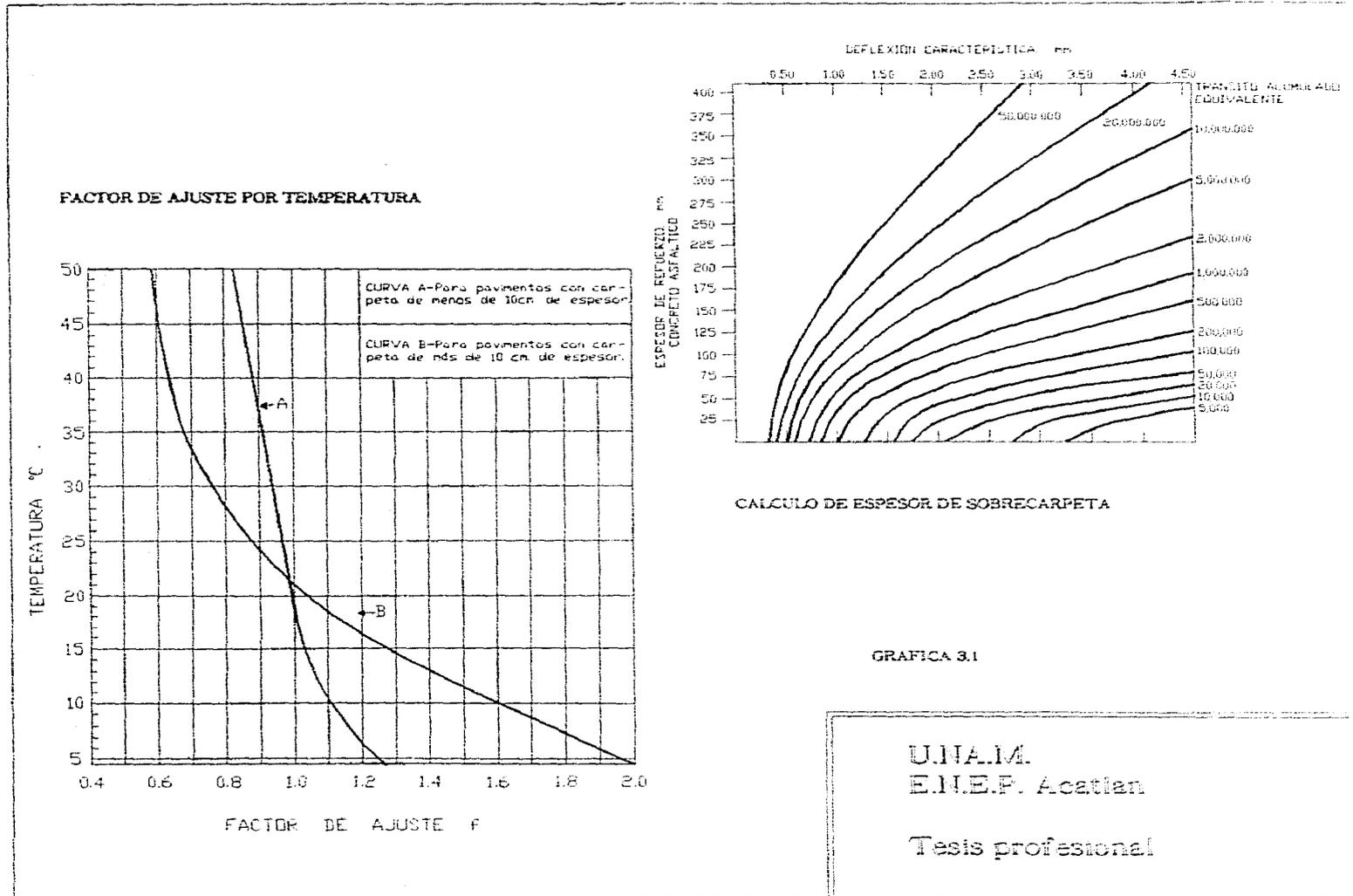
- a) Se efectuarán lecturas en tramos de 500 m a cada 20 m, en un carril de circulación alternando las lecturas en la rodada externa e interna (rodada es la huella en donde circulan las llantas de los vehículos).
- b) Los resultados obtenidos, se corregirán por temperatura mediante la gráfica 3.1 y deberán graficarse a escala aritmética, colocando en las ordenadas el rebote elástico medido y en las abscisas el kilometraje o cadenamiento de cada estación de lectura, señalando con una línea horizontal el rebote elástico característico para el subtramo.
- c) Para llevar a cabo las mediciones, se utiliza la carga del eje trasero de un camión lastrado de manera que dicho eje pese 8.2 Ton. (80 KN = 18,000 lb); el eje debe ser sencillo, con ruedas dobles, llantas en buen estado e infladas a una presión de 80 lb/pulg<sup>2</sup> (5.6 Kg/cm<sup>2</sup>).

### **3.3 REFUERZO REQUERIDO EN EL PAVIMENTO ACTUAL UTILIZANDO LA INFORMACION DE LA VIGA BENKELMAN**

#### **3.3.1 METODO DEL INSTITUTO NORTEAMERICANO DEL ASFALTO**

Existen varios métodos para diseño de refuerzo de pavimento que utilizan esta información. Dadas las características de los pavimentos en México, además de que es muy común su uso en nuestro país, se utilizará el criterio de deflexiones según 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 de intensidad de aplicaciones de carga a que estará sujeto dicho pavimento.



El primer paso para la aplicación de este método consiste en determinar el CEE (cantidad de ejes equivalentes a 18,000 libras).

La siguiente etapa es obtener las deflexiones del pavimento que se tienen en estudio mediante la viga Benkelman. Esta información se deberá manejar estadísticamente, de donde la deflexión característica de diseño se establece según el Instituto del Asfalto, mediante la ecuación:

$$d_c = (\bar{X} + 2S) f_c,$$

que representa aproximadamente el 97 percentil, donde:

$d_c$  = Deflexión característica

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

$S$  = Desviación estándar

$f$  = Factor en función de la temperatura de la carpeta. gráfica. 3.1

$c$  = 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 CEE, son los parámetros requeridos para el diseño del refuerzo según este método. La gráfica que permite obtener el refuerzo se encuentra en la gráfica. 3.1

La metodología presentada hasta ahora, se desarrolló a continuación para evaluar los tramos de la carretera actual que formarán parte de la autopista.

### **3.3.2 CALCULO DE LA CANTIDAD DE EJES EQUIVALENTES**

Primero, para el cálculo del CEE, es necesario obtener el tránsito que

circulará por la autopista se debe realizar un estudio de asignación de tránsito, el cual se elabora en la Dirección de Vialidad y Proyectos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Este estudio se basa en el tránsito que circula actualmente por la carretera existente, estos volúmenes se obtienen de los aforos que realiza la Secretaría en distintos puntos de la red de carreteras. Para esta autopista se obtuvieron los datos siguientes:

<b>DATOS DE TRANSITO</b>	
TDPA	2.941
i	4%
COEFICIENTE DE DISTRIBUCION	45%
DISTRIBUCION VEHICULAR	A = 85% B = 5% C = 10%
A2	68%
A'2	17%
B2	5%
C2	6%
C3	2%
T3-S2	1.5%
T3-S3	0.5%

El significado de los parámetros de tránsito mencionados en la tabla anterior es el siguiente:

TDPA.- Tránsito Diario Promedio Anual para 1996 en ambos sentidos de circulación

i.- Tasa de crecimiento anual

Coficiente de

circulará por la autopista se debe realizar un estudio de asignación de tránsito, el cual se elabora en la Dirección de Vialidad y Proyectos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Este estudio se basa en el tránsito que circula actualmente por la carretera existente, estos volúmenes se obtienen de los aforos que realiza la Secretaría en distintos puntos de la red de carreteras. Para esta autopista se obtuvieron los datos siguientes:

<b>DATOS DE TRANSITO</b>	
TDPA	2,941
i	4%
COEFICIENTE DE DISTRIBUCION	45%
DISTRIBUCION VEHICULAR	A=85% B=5% C=10%
A2	68%
A'2	17%
B2	5%
C2	6%
C3	2%
T3-S2	1.5%
T3-S3	0.5%

El significado de los parámetros de tránsito mencionados en la tabla anterior es el siguiente:

TDPA.- Tránsito Diario Promedio Anual para 1996 en ambos sentidos de circulación

i.- Tasa de crecimiento anual

Coefficiente de

distribución.-	Es el coeficiente que asigna una cierta cantidad del TDPA al carril de proyecto, para carreteras de 2 carriles se utiliza 50 % y para carreteras de 4 o mas carriles varía de 40 a 45 %.
A2.-	Automóvil
A'2.-	Camión ligero, con capacidad de carga hasta de 3 Ton.
B2.-	Autobús de dos ejes
C2.-	Camión de dos ejes
C3.-	Camión de tres ejes
T3-S2.-	Tractor de tres ejes con semiremolque de dos ejes
T3-S3.-	Tractor de tres ejes con semiremolque de tres ejes

Con los datos presentados anteriormente se calculó el CEE (cantidad de ejes equivalentes a 18,000 libras) de la siguiente forma:

- a) Primero se calcula el número de vehículos en el primer año mediante la siguiente expresión:

$$\# \text{ vehic. primer año} = \text{TDPA} \times 0.45 \times 365 \times \text{distribución vehicular}$$

donde:

TDPA = Tránsito Diario Promedio Anual.

0.45 = Coeficiente de distribución de carril de diseño (0.45 para carreteras de cuatro carriles).

365 = Número de días al año.

- b) Se calcula el factor de crecimiento con la siguiente expresión:

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

donde:

n = Número de años de diseño

r = Tasa de crecimiento entre cien ( r = tasa / 100 )

- c) Se multiplica el número de vehículos en el primer año por el factor de crecimiento y por el factor de carga, para cada tipo de vehículos. Los factores de carga para los diferentes tipos de vehículos son los siguientes:

<u>Tipo de vehículo</u>	<u>Factor de carga</u>
A'2	0.02
B2	0.21
C2 Y C3	0.73
T2-S1	0.48
T2-S2	0.73
T3-S2 ó más	0.95

El análisis del CEE se presenta en la tabla siguiente:

Tipo de vehículo	Número de vehículos en el primer año (1)	Factor de crecimiento para 15 años (2)	Factor de carga (3)	CEE (1x2x3)
A'2	82120.07	20.02	0.02	32880.87
B2	24152.96	20.02	0.21	101543.87
C2	28983.55	20.02	0.73	423582.98
C3	9661.18	20.02	0.73	141194.28
T3-S2	7245.88	20.02	0.95	137809.39
T3-S3	2415.29	20.02	0.95	45936.40
Total (CEE)				882947.79

### **3.3.3 CALCULO DE LA DEFLEXION CARACTERISTICA**

Posteriormente, se calculó la deflexión característica de los subtramos donde se realizaron lecturas con viga Benkelman, a continuación se presentan los registros de campo de las mediciones, el cálculo de la deflexión características y su gráfica correspondiente para cada uno de los tramos.

**MEDICION DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN**

CARRERA: CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE  
 TRAMO: CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE  
 KM: 1+000 A 1+500

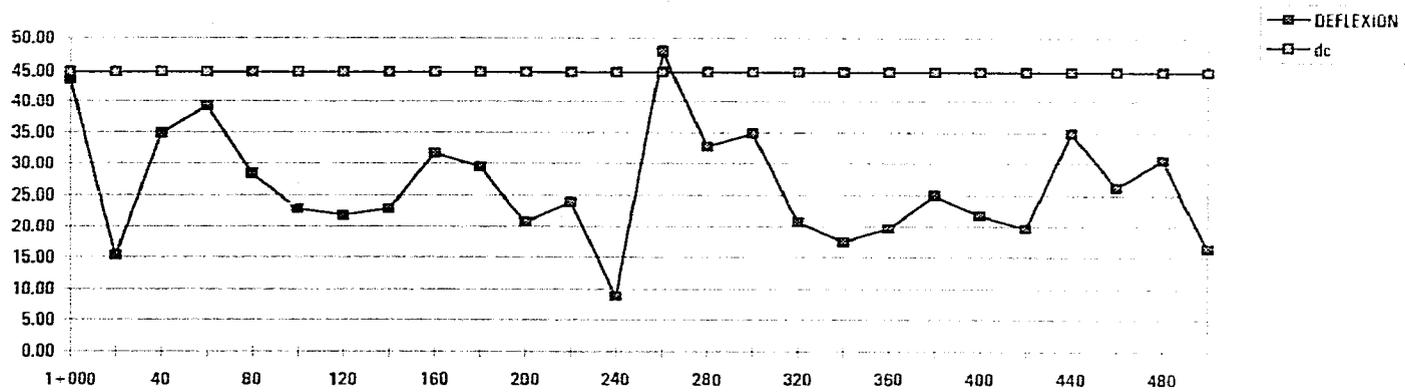
CUERPO UNICO X		DERECHO	IZQUIERDO	CARRIL:		DERECHO X	IZQUIERDO
ESTACION	RODADA	TEMP. DEL PAVIM.	LECTURAS (0.01")		CALCULOS		OBSERVACIONES
			INICIAL	FINAL	DIFERENCIA	MODIFICACION POR TEMP.	
1+000		11°	200	160	40	43.60	FT = 1.09
20		11°	200	186	14	15.26	
40		11°	200	168	32	34.88	
60		11°	200	164	36	39.24	
80		11°	200	174	26	28.34	
100		11°	200	179	21	22.89	
120		11°	200	180	20	21.80	
140		11°	200	179	21	22.89	
160		11°	200	171	29	31.61	
180		11°	200	173	27	29.43	
200		11°	200	181	19	20.71	
220		11°	200	178	22	23.98	
240		11°	200	192	8	8.72	
260		11°	200	156	44	47.98	
280		11°	200	170	30	32.70	
300		11°	200	168	32	34.88	
320		11°	200	181	19	20.71	
340		11°	200	184	18	17.44	
360		11°	200	182	18	19.62	
380		11°	200	177	23	25.07	
400		11°	200	180	20	21.80	
420		11°	200	182	18	18.62	
440		11°	200	168	32	34.88	
460		11°	200	176	24	26.16	
480		11°	200	172	28	30.52	
1+500		11°	200	185	15	13.35	

**CALCULO DE LA DEFLEXION CARACTERISTICA  
METODO DEL INSTITUTO NORTEAMERICANO DEL ASFALTO**

**CARRETERA: CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE  
KM: 1+000 A 1+500**

N	Xi (pulg)	Fi	Xc = Xi * Fi	Xc ^ 2
1	40	1.09	43.60	1900.96
2	14	1.09	15.26	232.87
3	32	1.09	34.88	1216.61
4	36	1.09	39.24	1539.78
5	26	1.09	28.34	803.16
6	21	1.09	22.89	523.95
7	20	1.09	21.80	475.24
8	21	1.09	22.89	523.95
9	29	1.09	31.61	999.19
10	27	1.09	29.43	866.12
11	19	1.09	20.71	428.90
12	22	1.09	23.98	575.04
13	8	1.09	8.72	76.04
14	44	1.09	47.96	2300.16
15	30	1.09	32.70	1069.29
16	32	1.09	34.88	1216.61
17	19	1.09	20.71	428.90
18	16	1.09	17.44	304.15
19	18	1.09	19.62	384.94
20	23	1.09	25.07	628.50
21	20	1.09	21.80	475.24
22	18	1.09	19.62	384.94
23	32	1.09	34.88	1216.61
24	24	1.09	26.16	684.35
25	28	1.09	30.52	931.47
26	15	1.09	16.35	267.32
26			691.06	20454.33
		Xm =	26.58	
		S =	9.14	
		dc = (Xm + 2S)		
		dc =	44.85	PULG x 10 <sup>-3</sup>

CARRETERA: CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE KM: 1+000 AL 1+500



**MEDICION DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN**

CARRERA: CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE  
 TRAMO: CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE  
 KM: 3+500 A 4+000

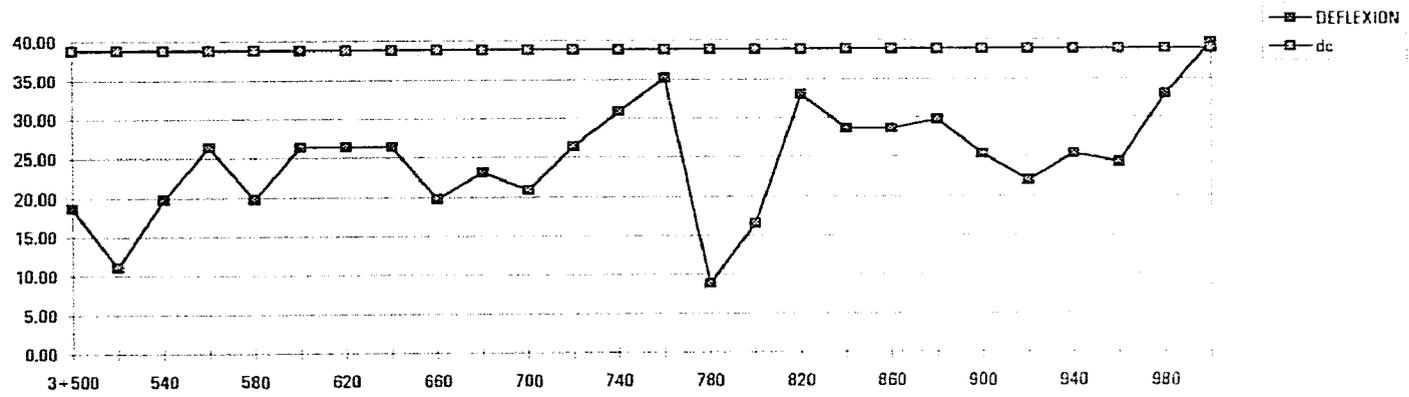
CUERPO UNICO X		DERECHO	IZQUIERDO	CARRIL:	DERECHO X	IZQUIERDO	
ESTACION	RODADA	TEMP. DEL PAVIM.	LECTURAS (.001")		CALCULOS		OBSERVACIONES
			INICIAL	FINAL	DIFERENCIA	MODIFICACION POR TEMP.	
3+500		12°	200	183	17	18.70	FT-1.10
520		12°	200	190	10	11.00	
540		12°	200	182	18	19.00	
560		12°	200	170	24	26.40	
580		12°	200	182	18	19.00	
600		12°	200	176	24	20.40	
620		12°	200	170	24	26.40	
640		12°	200	176	24	26.40	
660		12°	200	182	18	19.80	
680		12°	200	179	21	23.10	
700		12°	200	181	19	20.90	
720		12°	200	170	24	26.40	
740		12°	200	172	28	30.80	
760		12°	200	168	32	35.20	
780		12°	200	192	8	8.80	
800		12°	200	185	15	16.50	
820		12°	200	170	30	33.00	
840		12°	200	174	20	28.60	
860		12°	200	174	26	28.60	
880		12°	200	173	27	29.70	
900		12°	200	177	23	25.30	
920		12°	200	180	20	22.00	
940		12°	200	177	23	25.30	
960		12°	200	178	22	24.20	
980		12°	200	170	30	33.00	
4+000		12°	200	164	36	39.60	

**CALCULO DE LA DEFLEXION CARACTERISTICA  
METODO DEL INSTITUTO NORTEAMERICANO DEL ASFALTO**

CARRETERA: CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE  
KM: 3+500 A 4+000

N	Xi (pulg)	Fi	Xc - Xi * Fi	Xc * 2
1	17	1.10	18.70	349.69
2	10	1.10	11.00	121.00
3	18	1.10	19.80	392.04
4	24	1.10	26.40	696.96
5	18	1.10	19.80	392.04
6	24	1.10	26.40	696.96
7	24	1.10	26.40	696.96
8	24	1.10	26.40	696.96
9	18	1.10	19.80	392.04
10	21	1.10	23.10	533.61
11	19	1.10	20.90	436.81
12	24	1.10	26.40	696.96
13	28	1.10	30.80	948.64
14	32	1.10	35.20	1239.04
15	8	1.10	8.80	77.44
16	15	1.10	16.50	272.25
17	30	1.10	33.00	1089.00
18	26	1.10	28.60	817.96
19	26	1.10	28.60	817.96
20	27	1.10	29.70	882.09
21	23	1.10	25.30	640.09
22	20	1.10	22.00	484.00
23	23	1.10	25.30	640.09
24	22	1.10	24.20	585.64
25	30	1.10	33.00	1089.00
26	36	1.10	39.60	1568.16
26			645.70	17253.39
Xm =			24.83	
S =			6.98	
dc = (Xm + 2S)				
dc =			38.79	PULG x 10 <sup>-3</sup>

CARRETERA: CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE KM: 3+500 AL 4+000



**MEDICION DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN**

CARRETERA: CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE  
 TRAMO: CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE  
 KM: 35+000 A 35+500

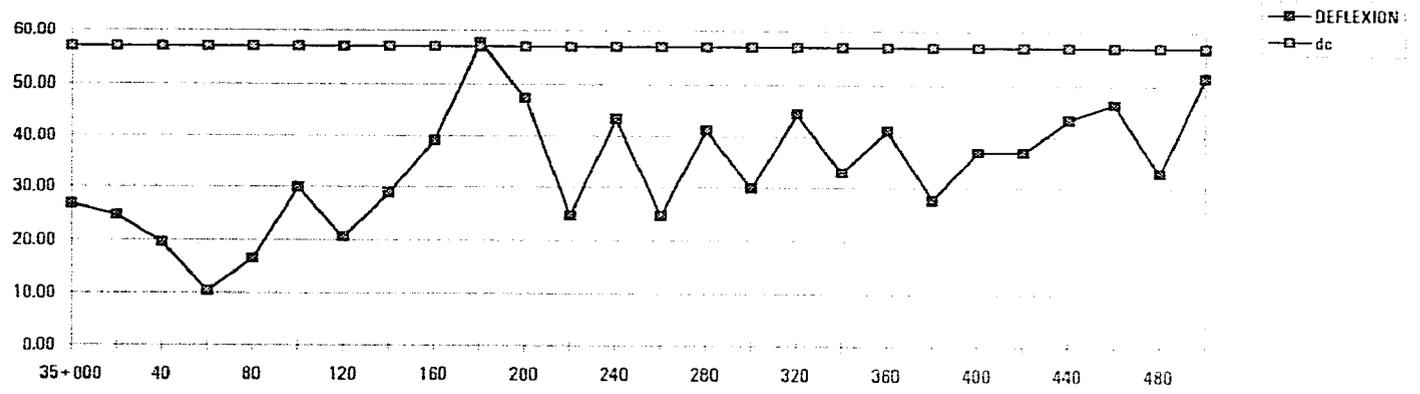
CUERPO UNICO X		DERECHO	IZQUIERDO	CARRIL:		DERECHO	IZQUIERDO X
ESTACION	RODADA	TEMP. DEL PAVIM.	LECTURAS (.001")		CALCULOS		OBSERVACIONES
			INICIAL	FINAL	DIFERENCIA	MODIFICACION POR TEMP.	
35+000		16°	200	174	26	26.78	FT=1.03
20		16°	200	176	24	24.72	
40		16°	200	181	19	19.57	
60		16°	200	190	10	10.30	
80		16°	200	184	16	16.48	
100		16°	200	171	29	29.87	
120		16°	200	180	20	20.60	
140		16°	200	172	28	28.84	
160		16°	200	162	38	38.14	
180		16°	200	144	56	57.68	
200		16°	200	154	46	47.38	
220		16°	200	176	24	24.72	
240		16°	200	158	42	43.26	
260		16°	200	176	24	24.72	
280		18°	200	160	40	41.20	
300		16°	200	171	29	29.87	
320		16°	200	157	43	44.20	
340		18°	208	168	32	32.98	
360		18°	200	160	40	41.20	
380		18°	200	173	27	27.81	
400		16°	200	164	36	37.88	
420		16°	208	164	38	37.88	
440		16°	200	158	42	43.28	
460		16°	200	155	45	46.35	
480		18°	200	168	32	32.90	
35+500		16°	200	150	50	61.50	

**CALCULO DE LA DEFLEXION CARACTERISTICA  
METODO DEL INSTITUTO NORTEAMERICANO DEL ASFALTO**

CARRETERA: CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE  
KM: 35+000 A 35+500

N	Xi (pulg)	Fi	Xc= Xi*Fi	Xc^2
1	26	1.03	26.78	717.17
2	24	1.03	24.72	611.08
3	19	1.03	19.57	382.98
4	10	1.03	10.30	106.09
5	16	1.03	16.48	271.59
6	29	1.03	29.87	892.22
7	20	1.03	20.60	424.36
8	28	1.03	28.84	831.75
9	38	1.03	39.14	1531.94
10	56	1.03	57.68	3326.98
11	46	1.03	47.38	2244.86
12	24	1.03	24.72	611.08
13	42	1.03	43.26	1871.43
14	24	1.03	24.72	611.08
15	40	1.03	41.20	1697.44
16	29	1.03	29.87	892.22
17	43	1.03	44.29	1961.60
18	32	1.03	32.96	1086.36
19	40	1.03	41.20	1697.44
20	27	1.03	27.81	773.40
21	36	1.03	37.08	1374.93
22	36	1.03	37.08	1374.93
23	42	1.03	43.26	1871.43
24	45	1.03	46.35	2148.32
25	32	1.03	32.96	1086.36
26	50	1.03	51.50	2652.25
26			879.62	33051.28
		Xm -	33.03	
		S -	11.48	
		dc=(Xm+2S)		
		dc=	56.78	PULG x 10-3

**CARRETERA: CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE KM: 35+000 AL 35+500**



**MEDICION DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN**

CARRETERA: CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE  
 TRAMO: CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE  
 KM: 38 + 500 A 39 + 000

CUERPO UNICO X	DERECHO	IZQUIERDO	CARRIL:	DERECHO	IZQUIERDO X
----------------	---------	-----------	---------	---------	-------------

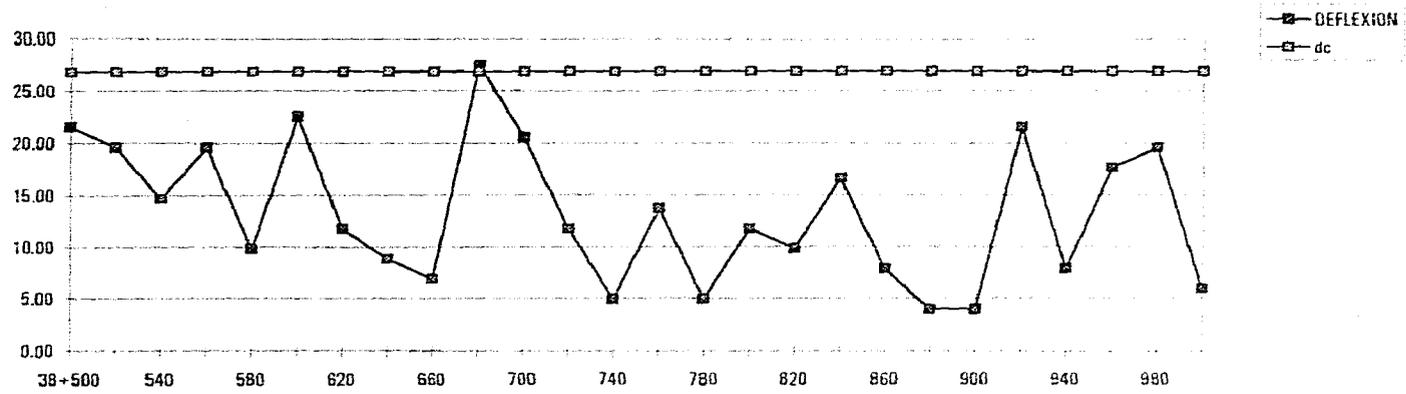
ESTACION	RODADA	TEMP. DEL PAVIM.	LECTURAS (.001")		CALCULOS		OBSERVACIONES
			INICIAL	FINAL	DIFERENCIA	MODIFICACION POR TEMP.	
38 + 500		21°	200	178	22	21.56	FT = 0.88
520		21°	200	180	20	19.60	
540		21°	200	185	15	14.70	
560		21°	200	180	20	19.60	
580		21°	200	190	10	9.80	
600		21°	200	177	23	22.54	
620		21°	200	188	12	11.76	
640		21°	200	191	9	8.82	
660		21°	200	193	7	6.86	
680		21°	200	172	28	27.44	
700		21°	200	179	21	20.58	
720		21°	200	188	12	11.76	
740		21°	200	195	5	4.80	
760		21°	200	186	14	13.72	
780		21°	200	195	5	4.80	
800		21°	200	188	12	11.76	
820		21°	200	190	10	9.80	
840		21°	200	183	17	16.66	
860		21°	200	192	8	7.84	
880		21°	200	196	4	3.92	
900		21°	200	186	14	13.72	
920		21°	200	178	22	21.56	
940		21°	200	192	8	7.84	
960		21°	200	182	18	17.64	
980		21°	200	180	20	19.60	
39 + 000		21°	200	194	6	5.88	

CALCULO DE LA DEFLEXION CARACTERISTICA  
 METODO DEL INSTITUTO NORTEAMERICANO DEL ASFALTO

CARRETERA: CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE  
 KM: 38 + 500 A 39 + 000

N	Xi (pulg)	Fi	Xc = Xi*Fi	Xc <sup>2</sup>
1	22	0.98	21.56	464.83
2	20	0.98	19.60	384.16
3	15	0.98	14.70	216.09
4	20	0.98	19.60	384.16
5	10	0.98	9.80	96.04
6	23	0.98	22.54	508.05
7	12	0.98	11.76	138.30
8	9	0.98	8.82	77.79
9	7	0.98	6.86	47.06
10	28	0.98	27.44	752.95
11	21	0.98	20.58	423.54
12	12	0.98	11.76	138.30
13	5	0.98	4.90	24.01
14	14	0.98	13.72	188.24
15	5	0.98	4.90	24.01
16	12	0.98	11.76	138.30
17	10	0.98	9.80	96.04
18	17	0.98	16.66	277.56
19	8	0.98	7.84	61.47
20	4	0.98	3.92	15.37
21	4	0.98	3.92	15.37
22	22	0.98	21.56	464.83
23	8	0.98	7.84	61.47
24	18	0.98	17.64	311.17
25	20	0.98	19.60	384.16
26	6	0.98	5.88	34.57
28			344.96	5727.83
Xm -			13.27	
S -			6.78	
dc = (Xm + 2S)				
dc =			26.84	PULG x 10-3

**CARRETERA: CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE KM: 38+500 AL 39+000**



### 3.3.4 CALCULO DEL REFUERZO REQUERIDO

Con el valor del CEE y las deflexiones características se calculó el refuerzo requerido de concreto asfáltico mediante la gráfica 3.1 los resultados se presentan en la tabla siguiente:

SUBTRAMO	de (pulg) $10^{-3}$	REFUERZO EN CM DE CONCRETO ASFALTICO
		15 AÑOS
1+000 A 1+500	44.85	4.0
3+500 A 4+000	38.79	3.0
35+000 A 35+500	56.78	6.0
38+500 A 39+000	26.84	N.R.

N.R. = No requiere

Analizando los resultados obtenidos se puede concluir que a los tramos de la carretera actual que formarán parte de la autopista será necesario colocar un refuerzo de 6 cm de concreto asfáltico sobre la estructura del pavimento actual para que funcionen adecuadamente durante los próximos 15 años. Aunque en algunos tramos no requiere refuerzo se consideró conveniente proponer para todos los tramos el refuerzo de 6 cm, que es el que cubre todos los casos, debido a que los tramos no representan longitudes muy grandes y siempre es conveniente corregir deficiencias de la superficie de rodamiento mediante la colocación de una capa nueva.

## **CAPITULO IV.- ESTUDIO DE PAVIMENTO.**

En este capítulo se diseñará la estructura de pavimento para las zonas donde la estructura será totalmente nueva, es decir, donde no se aprovechará la estructura existente.

### **4.1 CONCEPTOS GENERALES.-**

Se puede definir un pavimento como la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendida(o) entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiadas, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como de transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito.

De manera general se pueden dividir los pavimentos en flexibles o rígidos, siendo éste último aquel cuyo elemento fundamental resistente sea una losa de concreto hidráulico (también se incluye en esta rama el concreto compactado con rodillo), en cualquier otro caso el pavimento se considera flexible.

En los pavimentos flexibles, la superficie de rodamiento se logra mediante una carpeta bituminosa relativamente delgada, de alto costo y de alta calidad, pero entre ella y las terracerías se interpone un sistema de varias capas de materiales seleccionados cuya calidad, por lo común, va disminuyendo con la profundidad, al igual que el costo de cada capa y los niveles de esfuerzos producidos por el tránsito.

Los materiales pétreos que se emplean en la construcción de pavimentos constituyen uno de los aspectos principales para que estas estructuras proporcionen con eficiencia el servicio y duración que se espera de ellas, dentro de las condiciones previstas en el proyecto.

Por otra parte, puede decirse que el espesor del pavimento depende fundamentalmente del material de la terracería que constituye su apoyo y del tránsito que circulará sobre el pavimento en cuestión.

En el caso de los pavimentos rígidos la capa de rodamiento se construye con suficiente espesor y de calidad tal que se logra que los esfuerzos transmitidos a la terracería sean compatibles con la calidad de esta.

#### **4.2 LOCALIZACION DE BANCOS DE MATERIAL PARA PAVIMENTO.-**

Como se mencionó en el capítulo II se realizó un recorrido previo y uno definitivo en los que se localizaron los posibles bancos para pavimento, en este caso se localizaron dos, los cuales se presentan con sus características principales en la tabla 4.1.

#### **4.3 ENSAYES DE LABORATORIO.-**

En cada uno de los bancos se obtuvieron muestras para su posterior análisis en el laboratorio y determinar si las características de los materiales son adecuadas para la construcción del pavimento. En la tabla 4.2 se presenta el resumen de los resultados de laboratorio.

#### **4.4 DATOS DE TRANSITO.-**

Para elaborar el proyecto de pavimento es necesario conocer las características del tránsito, para esta autopista, según lo indicado en el capítulo III, el tránsito que circulará será el siguiente:

## BANCOS DE MATERIAL PARA PAVIMENTO

No.	DENOMINACION	LOCALIZACION	CLASIFICACION GEOLOGICA	CLASIFICACION PRESUPUESTO	DESPALME (m)	TRATAMIENTO	UTILIZACION	VOL. APROX. BANCO (m3)
1	Brujas II	Km 0+000 D/D 20,000 m	Basalto	00-00-100	0.50	Trituración total y cribado	Subbase, base y carpeta	200,000
2	Soria	Km 10+000 D/D 9000m	Riolita	00-00-100	0.30	Trituración total y cribado	Subbase y base	150,000

TABLA 4.1

### RESULTADOS DE ENSAYES DE LABORATORIO

DENOMINACION	LOCALIZACION	%G	%A	%F	LL%	IP%	PESS (Kg/m <sup>3</sup> )	DENSIDAD	ABSORCION %	VRS std %	E.A. %	% Expan.
Brujas II	Km 0+000 D/D 20,000 m	64	30	6	32	8	1610	2.7	2	135	70	0.00
Soria	Km 10+000 D/D 9000 m	92	6	2	41	N.P.	1331	2.35	2.47	97	40	0.00

**TABLA 4.2**

DATOS DE TRANSITO	
TDPA	2,941
i	4%
COEFICIENTE DE DISTRIBUCION	45%
DISTRIBUCION VEHICULAR	A = 85 % B = 5 % C = 10 %
A2	68%
A'2	17%
B2	5%
C2	6%
C3	2%
T3-S2	1.5%
T3-S3	0.5%

El significado de los parámetros de tránsito mencionados en la tabla anterior es el siguiente:

TDPA.- Tránsito Diario Promedio Anual para 1995 en ambos sentidos de circulación

i.- Tasa de crecimiento anual

Coefficiente de distribución.- Es el coeficiente que asigna una cierta cantidad del TDPA al carril de proyecto, para carreteras de 2 carriles se utiliza 50 % y para carreteras de 4 o mas carriles varía de 40 a 45 %.

A2.- Automóvil

A'2.-	Camión ligero, con capacidad de carga hasta de 3 Ton.
B2.-	Autobús de dos ejes
C2.-	Camión de dos ejes
C3.-	Camión de tres ejes
T3-S2.-	Tractor de tres ejes con semiremolque de dos ejes
T3-S3.-	Tractor de tres ejes con semiremolque de tres ejes

Estos datos de tránsito se utilizarán para obtener la suma de ejes equivalentes a 8.2 Ton. según el método del Instituto de Ingeniería de la UNAM, como se indica en el siguiente inciso.

#### **4.5 METODOS DE DISEÑO.-**

Existen varios métodos de diseño de pavimento elaborados por distintas instituciones de distintos países, en el nuestro se ha adoptado como método de diseño principal el del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

##### **4.5.1 METODO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA UNAM.-**

Dentro del área de las vías terrestre el Instituto de Ingeniería de la UNAM, realiza investigaciones sobre pavimentos flexibles en un programa general encaminado a obtener criterios adecuados a las condiciones del país en aspectos relacionados con diseño, construcción, reconstrucción y modernización de carreteras. Los estudios desde su inicio en 1962, han sido patrocinados por la extinta Secretaría de Asentamientos Humanos y Obra Pública (hoy Secretaría de Comunicaciones y Transportes).

El criterio teórico en el que está basado el método esta avalado en la experimentación (1962-1980) realizada a escala natural tanto en el laboratorio como en carreteras típicas. En este método destacan los conceptos de comportamiento a fatiga de las diferentes capas que constituyen la carretera, el criterio de sección estructural de resistencia uniforme y el tratamiento probabilístico para establecer niveles de confianza respecto a la falla.

Además, los conceptos aplicados para valuar los coeficientes de daño en términos de esfuerzos a diferentes profundidades, constituyen un avance con relación a los factores empleados usualmente, que son de carácter empírico y no toman en cuenta ni las presiones de contacto ni la profundidad de la capa en que se analiza el deterioro.

En el método de diseño se relacionan resistencias críticas en el lugar contra aplicaciones de carga estándar esperadas en la vida de proyecto de la carretera. En la publicación 444 del propio Inst. de Ingeniería se presenta el método de diseño de pavimentos flexibles.

Para aplicar el método de diseño es necesario determinar las siguientes variables de diseño: resistencia esperada en el campo ( $VRS_c$ ), número de aplicaciones de carga producidas por el tránsito ( $\Sigma L$ ) y nivel de confianza.

La confiabilidad del diseño resultante dependerá de la precisión con que pueda estimarse las variables de resistencia y tránsito.

Además de las variables enumeradas en el párrafo anterior, al estimar la resistencia de campo de los materiales se están tomando en cuenta de manera implícita otras variables como el clima, condiciones topográficas, geotécnicas y conservación.

EL valor relativo de soporte crítico para diseño se determina de la siguiente forma:

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

donde:

$VRS_D =$  Valor relativo de soporte de diseño.

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

$C =$  Factor que depende del nivel de confianza establecido (en nuestro caso el 90 %;  $C = 1.282$ ).

$V =$  Coeficiente de variación del VRS en el campo.

$$V = \frac{S}{VRS}$$

$S =$  Desviación estándar.

#### 4.6 DISEÑO DE PAVIMENTO.-

Después de analizar las características obtenidas por los resultados de laboratorio de los materiales encontrados en el terreno natural, en los bancos a utilizar en la construcción de terracerías y pavimento, y comparando con los valores indicados en las tablas mostradas anteriormente, se proponen los siguientes  $VRSz$  para los diferentes materiales a usar en la construcción de las terracerías y pavimento del subtramo en estudio, son los siguientes:

CAPA	TIPO DE MATERIAL	VRS %
TERRENO  NATURAL	ARCILLA (CH)	5
	ARENA LIMOSA	15
	ARENA ARCILLOSA	15
	GRAVA ARCILLOSA	15
	GRAVA MAL GRADUADA LIMOSA	15
	ARENA BIEN GRADUADA LIMOSA	15
	ARENA MAL GRADUADA	15
	FGMC EMPACADOS EN ARCILLA O ARENA LIMOSA	15
	FGMC EMPACADOS EN LIMO O GRAVA LIMOSA	15
	LIMO (ML) Y ARCILLA (CL)	15
CUERPO DE TERRAPLEN	LIMO ARENOSO	17
CAPA SUBRASANTE	ARENA LIMOSA	20
	ARENA ARCILLOSA	20
	ARENA MAL GRADUADA	20
SUBBASE	RIOLITA TRITURADA	60
BASE	BASALTO TRITURADO	100

De acuerdo a estos valores y a los materiales encontrados en el campo se puede dividir el tramo en estudio para fines de diseño, en dos grupos integrados por los subtramos siguientes:

Grupo I que presenta un VRS de diseño de 5% a nivel de terreno natural

0+800 a 2+200

4+200 a 6+200

7+800 a 9+500

23+500 a 23+780

Grupo II que presenta un VRS de diseño de 15% a nivel de terreno natural

0+000 a 0+800  
2+200 a 4+200  
6+200 a 7+800  
9+500 a 23+500  
23+780 a 40+000

#### **4.6.1 CALCULO DEL TRANSITO EQUIVALENTE.-**

Para el cálculo de la suma de ejes equivalentes a 8.2 Ton se utilizaron los datos de tránsito presentados en el inciso 4.4.

Primero se obtienen los coeficientes de daño para cada tipo de vehículo a diferentes profundidades, el coeficiente de daño de un vehículo a determinada profundidad es la suma de los coeficientes individuales de sus ejes o grupos de ejes a esa profundidad. Para los vehículos autorizados por la S.C.T. el Instituto de Ingeniería de la UNAM presenta en la publicación 444 unas tablas con los coeficientes de daño calculados con cargas y presiones de inflado legales, los cuales se van a utilizar en este trabajo. El tipo de vehículos que va a circular por la autopista (según datos de tránsito mostrados en el inciso 4.4), presenta los coeficientes de daño siguientes:

## A2 Automóvil

EJE	PESO (TON)		P kg/cm <sup>2</sup>	dm=coeficiente de daño bajo carga máxima				dv=coeficiente de daño vacío			
	carga máxima	vacío		z=0cm	z=15cm	z=30cm	z=60cm	z=0cm	z=15cm	z=30cm	z=60cm
1*	1.0	0.8	2.0	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
2*	1.0	0.8	2.0	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
Σ	2.0	1.6		0.004	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000

\*Eje sencillo

## A'2 Camión ligero, con capacidad de carga hasta de 3 Ton.

EJE	PESO (TON)		P kg/cm <sup>2</sup>	dm=coeficiente de daño bajo carga máxima				dv=coeficiente de daño vacío			
	carga máxima	vacío		z=0cm	z=15cm	z=30cm	z=60cm	z=0cm	z=15cm	z=30cm	z=60cm
1*	1.7	1.3	4.6	0.268	0.003	0.000	0.000	0.268	0.001	0.000	0.000
2*	3.8	1.2	4.6	0.268	0.061	0.023	0.015	0.268	0.001	0.000	0.000
Σ	5.5	2.5		0.536	0.064	0.023	0.015	0.536	0.002	0.000	0.000

\*Eje sencillo

**B2 Autobús de dos ejes**

EJE	PESO (TON)		P kg/cm <sup>2</sup>	dm=coeficiente de daño bajo carga máxima				dv=coeficiente de daño vacío			
	carga máxima	vacío		z=0cm	z=15cm	z=30cm	z=60cm	z=0cm	z=15cm	z=30cm	z=60cm
1*	5.5	3.5	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.079	0.001	0.010
2*	10.0	7.0	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.679	0.501	0.433
Σ	15.5	10.5		2.000	1.890	2.457	2.939	2.000	0.757	0.502	0.443

\*Eje sencillo

**C2 Camión de dos ejes**

EJE	PESO (TON)		P kg/cm <sup>2</sup>	dm=coeficiente de daño bajo carga máxima				dv=coeficiente de daño vacío			
	carga máxima	vacío		z=0cm	z=15cm	z=30cm	z=60cm	z=0cm	z=15cm	z=30cm	z=60cm
1*	5.5	3.5	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.079	0.019	0.010
2*	10.0	3.0	5.8	1.000	1.541	2.290	2.820	1.000	0.044	0.009	0.004
Σ	15.5	6.5		2.000	1.890	2.457	2.939	2.000	0.123	0.028	0.014

\*Eje sencillo

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
 CENTRO DE INVESTIGACIONES EN INGENIERÍA Y CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN

### C3 Camión de tres ejes

EJE	PESO (TON)		P kg/cm <sup>2</sup>	dm=coeficiente de daño bajo carga máxima				dv=coeficiente de daño vacío			
	carga máxima	vacío		z=0cm	z=15cm	z=30cm	z=60cm	z=0cm	z=15cm	z=30cm	z=60cm
1*	5.5	4.0	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.126	0.036	0.021
2**	18.0	4.5	5.8	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.028	0.003	0.002
Σ	23.5	8.5		3.000	2.817	2.457	2.940	3.000	0.154	0.039	0.023

\*Eje sencillo; \*\* Eje Tandem

### T3-S2 Tractor de tres ejes con semiremolque de dos ejes

EJE	PESO (TON)		P kg/cm <sup>2</sup>	dm=coeficiente de daño bajo carga máxima				dv=coeficiente de daño vacío			
	carga máxima	vacío		z=0cm	z=15cm	z=30cm	z=60cm	z=0cm	z=15cm	z=30cm	z=60cm
1*	5.5	4.0	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.126	0.036	0.021
2**	18.0	4.0	5.8	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.017	0.002	0.001
3**	18.0	4.0	5.8	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.017	0.002	0.001
Σ	41.50	12.0		5.000	5.285	4.747	5.761	5.000	0.160	0.040	0.023

\*Eje sencillo; \*\* Eje Tandem

**T3-S3 Tractor de tres ejes con semirremolque de tres ejes**

EJE	PESO (TON)		P kg/cm <sup>2</sup>	dm=coeficiente de daño bajo carga máxima				dv=coeficiente de daño vacío			
	carga máxima	vacío		z=0cm	z=15cm	z=30cm	z=60cm	z=0cm	z=15cm	z=30cm	z=60cm
1*	5.5	4.0	5.8	1.000	0.349	0.167	0.119	1.000	0.126	0.036	0.021
2**	18.0	4.0	5.8	2.000	2.468	2.290	2.821	2.000	0.017	0.002	0.001
3***	22.5	5.0	5.8	3.000	2.422	2.289	2.818	3.000	0.011	0.002	0.001
Σ	46.0	13.0		6.000	5.239	4.746	5.758	6.000	0.154	0.040	0.023

\*Eje sencillo; \*\* Eje Tándem, \*\*\* Eje Triple

También se calcula el coeficiente de acumulación de tránsito de acuerdo a la siguiente expresión:

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

$C_T$  = Coeficiente de acumulación de tránsito  
 $r$  = Tasa de crecimiento  
 $n$  = Años de servicio

Para este proyecto se consideraron 15 años de servicio y 4% de tasa de crecimiento, por lo tanto:

$$C_T = 365 \left\{ \frac{(1 + 0.04)^{15} - 1}{0.04} \right\}$$

$$C_T = 7308.61$$

Por último para obtener la suma de ejes acumulados equivalentes, se multiplica la distribución vehicular por el TDPA y por el coeficiente de distribución 0.45 (para carreteras de 2 carriles se usa 0.50 y de 0.4 a 0.45 para carreteras con 4 o mas carriles), el valor obtenido para cada tipo de vehículos se multiplica por sus respectivos coeficientes de daño para diferentes profundidades obteniéndose así la cantidad de ejes equivalentes para cada tipo de vehículo a las diferentes profundidades estudiadas, por último se suman los ejes equivalentes de cada vehículo a la misma profundidad y se multiplica por el coeficiente de acumulación de tránsito. En la tabla siguiente se presenta el cálculo:

**CALCULO DE LA CANTIDAD DE EJES EQUIVALENTES A 8.2 TON.**

Tipo de vehículo	Composición de Tránsito	Coeficiente de distribución cargados o vacíos		Composición de tránsito cargado o vacío	Coeficiente de daño			Número de ejes sencillos equivalentes de 8.2 Ton		
					z=0cm	z=30 cm	z=60 cm	z=0cm	z=30cm	z=60 cm
A2	0.68	cargado	1.00	0.680	0.004	0.000	0.000	0.0027	0.0000	0.0000
		vacío	0.00	0.000	0.004	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
A' 2	0.17	cargado	1.00	0.170	0.536	0.023	0.015	0.0911	0.0040	0.0025
		vacío	0.00	0.000	0.536	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
B2	0.08	cargado	1.00	0.080	2.000	2.457	2.939	0.1600	0.1965	0.2351
		vacío	0.00	0.000	2.000	0.502	0.443	0.0000	0.0000	0.0000
C2	0.06	cargado	1.00	0.060	2.000	2.457	2.939	0.1200	0.1474	0.1763
		vacío	0.00	0.000	2.000	0.028	0.014	0.0000	0.0000	0.0000
C3	0.02	cargado	1.00	0.020	3.000	2.457	2.940	0.0600	0.0491	0.0588
		vacío	0.00	0.000	3.000	0.039	0.023	0.0000	0.0000	0.0000
T3-S2	0.015	cargado	1.00	0.015	5.000	4.747	5.761	0.0750	0.0712	0.0864
		vacío	0.00	0.000	5.000	0.040	0.023	0.0000	0.0000	0.0000
T3-S3	0.005	cargado	1.00	0.005	6.000	4.746	5.758	0.0300	0.0237	0.0288
		vacío	0.00	0.000	6.000	0.040	0.023	0.0000	0.0000	0.0000
SUMA	1.00	-----	7.00	1.00	EJES EQUIVALENTES PARA TRANSITO UNITARIO			0.5388	0.4919	0.5879
* Se uso un coeficiente de distribución de 0.45					* TDPA INICIAL EN EL CARRIL DE PROYECTO			1323	1323	1323
					CT=			7308.61	7308.61	7308.61
					ΣL=			5'209.814	4'756.324	5'684.576

#### 4.6.2 CALCULO DEL ESPESOR REQUERIDO.-

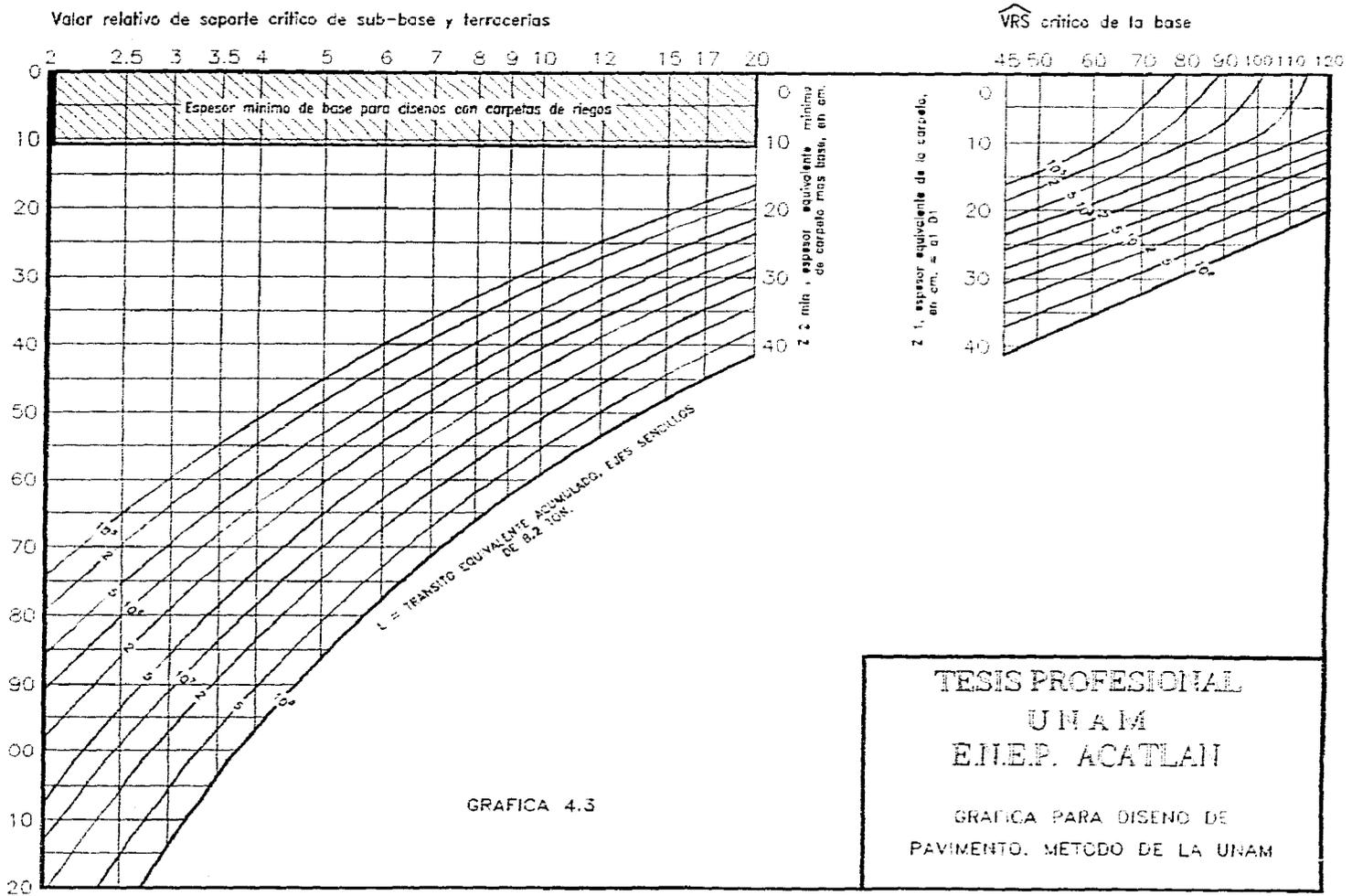
Por último es necesario determinar el nivel de confianza ( $Q_u$ ) para el cual se va a diseñar la obra, el cual varía de 0.5 a 0.9, se debe tomar en cuenta el tipo e importancia de la carretera, procedimientos y control de construcción, tipo de conservación previsto y riesgo que se quiera aceptar. En este caso por tratarse de una autopista de máximas especificaciones se considera un  $Q_u = 0.9$ .

Para obtener el espesor requerido usamos la gráfica de diseño correspondiente a un  $Q_u = 0.9$ , ver gráfica 4.3, y se obtuvieron los espesores siguientes :

SUBTRAMOS DE KM A KM	CAPA ANALIZADA	VRSz	$\Sigma L$	ESTRUCTURA REQUERIDA (G.E.)
0+800 a 2+200 4+200 a 6+200 7+800 a 9+500 23+500 a 23+780	CARPETA	100%	$5.2 * 10^5$	16 cm
	BASE Y CARPETA	20%	$4.7 * 10^5$	30 cm
	SUBRASANTE, SUBBASE, BASE Y CARPETA	5%	$5.6 * 10^5$	68 cm

SUBTRAMOS DE KM A KM	CAPA ANALIZADA	VRSz	$\Sigma L$	ESTRUCTURA REQUERIDA (G.E.)
0+000 a 0+800 2+200 a 4+200 6+200 a 7+800 9+500 a 23+500 23+780 a 40+000	CARPETA	100%	$5.2 * 10^5$	16 cm
	BASE Y CARPETA	20%	$4.7 * 10^5$	30 cm
	SUBRASANTE, SUBBASE, BASE Y CARPETA	15%	$5.6 * 10^5$	38 cm

NOTA: G.E. significa Grava Equivalente.



Para obtener el espesor real de cada capa se requiere determinar el coeficiente de equivalencia, para la carpeta de concreto asfáltico se consideró de 2, y de 1 para las demás capas. A continuación se presentan las estructuras requeridas para cada subtramo:

#### 4.7 RECOMENDACIONES.-

A) Para los subtramos comprendidos entre los Km

0+800 a 2+200  
 4+200 a 6+200  
 7+800 a 9+500  
 23+500 a 23+780

CAPA	ESPEJOR
CARPETA DE DOS RIEGOS	-----
BASE HIDRAULICA	25 cm
SUBBASE HIDRAULICA	20 cm
SUBBRASANTE	40 cm

Según el método se requiere una carpeta de concreto asfáltico de 8.0 cm (16÷2), pero debido a que el terreno natural donde se apoyará el pavimento está constituido por arcilla CH, se esperan deformaciones importantes por lo que una superficie de rodamiento a base de riegos se comportará flexiblemente ante esas deformaciones y no se deteriorará fácilmente. El espesor requerido por la carpeta se compensa en las demás capas, base de 25 cm, subbase de 20 cm, el espesor total de la estructura es de 85 cm de G.E., y el método requiere 68 cm por lo que es mayor la estructura propuesta a la requerida.

B) Para los subtramos comprendidos entre los Km

0+000 a 0+800  
 2+200 a 4+200

6+200 a 7+800  
 9+500 a 23+500  
 23+780 a 40+000

CAPA	ESPESOR
CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO	10 cm
BASE HIDRAULICA	20 cm
SUBBASE HIDRAULICA	15 cm
SUBRASANTE	30 cm

En estos subtramos el método requiere 8.0 cm ( $16 \div 2$ ) de carpeta de concreto asfáltico, pero se recomienda una de 10 cm. Se requiere 30 cm de espesor de base mas carpeta por lo que si restamos 20 cm de la carpeta propuesta ( $10 \times 2$ ) a los 30 requeridos nos resultan 10 cm de base, pero se recomienda en este caso 20 cm, ya que el mínimo por especificaciones debe ser 15 cm. El espesor total requerido de la estructura es de 38 cm debido a que se apoyará la estructura sobre buenos materiales y presentan alta resistencia ( $VRS = 15\%$ ), pero se recomienda, además de la carpeta y base, una subbase de 15 cm y subrasante de 30 cm, lo que da una estructura total de 85 cm de espesor.

#### 4.8 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION.-

En los tramos que se requiera ampliar la corona se sugiere ligar el terraplén nuevo con el actual mediante escalones de liga, iniciando los escalones en los ceros del terraplén, los cuales tendrán un ancho mínimo de huella donde pueda operar el equipo de construcción. El material que se utilice para las ampliaciones será del banco más próximo; y con calidad de cuerpo de terraplén, compactándose al 90 % del P.V.S.M. AASHTO estándar, en capas no mayores de 0.30 m o bandeándose según sea el caso, hasta llegar a 0.60 m abajo del nivel de la capa subrasante de proyecto, estos 0.60 m se formarán con material de calidad para capa subrasante los cuales se compactarán al 95 % P.V.S.M. AASHTO estándar. Posteriormente se construirá la capa subrasante y las capas del pavimento con la calidad y

espesores que se sugieren en los siguientes incisos, el talud que tendrá finalmente el terraplén será el que se recomienda en las observaciones generales.

#### Recomendación "A"

- a) Subbase.- Sobre la capa subrasante con un espesor de 40 cm debidamente terminada, construir la capa de subbase con espesor de 20 cm, empleando material de los bancos indicados en la tabla 4.1, compactada al 100 % del P.V.S.M. obtenido mediante la prueba AASHTO modificada.
- b) Base hidráulica.- sobre la capa de subbase construir la base de 25 cm de espesor, con material de los bancos indicados para tal fin en la tabla 4.1, compactada al 100 % del P.V.S.M. según la prueba próctor modificada.
- c) Carpeta.- Sobre la base hidráulica debidamente terminada, superficialmente seca y barrida aplicar emulsión asfáltica de rompimiento medio o lento de tipo catiónica, a razón de 1.2 lt/m<sup>2</sup>, dejándola reposar el tiempo necesario para garantizar que penetre de 5 a 10 mm.

Realizado lo anterior, construir la carpeta de dos riegos con material pétreo No. 2 y 3A procedentes de los bancos indicados en la tabla 4.1, utilizando emulsión asfáltica de tipo \*catiónica de rompimiento lento o medio a razón de 1.9 lt/m<sup>2</sup>, cuidando que el material se tienda antes que rompa la emulsión.

#### Recomendación "B"

- a) Subbase.- Sobre la capa subrasante con un espesor de 30 cm debidamente terminada, construir la capa de subbase con un espesor de 15 cm, empleando material de los bancos indicados en la tabla 4.1,

\*El tipo de emulsión y las dotaciones que se recomiendan deberán ajustarse conforme lo indique el estudio de laboratorio, ya que el uso adecuado de estos productos, son función del tipo de agregado, de la región y del clima que predomine durante la aplicación del emulsificante.

compactada al 100 % del P.V.S.M. obtenido mediante la prueba AASHTO modificada.

- b) Base.- Sobre la capa de subbase debidamente terminada, construir la base de 20 cm de espesor, con material de los banco indicados en la tabla 4.1, compactada al 100 % del P.V.S.M. según prueba AASHTO modificada.
- c) Carpeta.- Sobre la base hidráulica debidamente terminada, superficialmente seca y barrida, aplicar emulsión asfáltica de rompimiento medio o lento de tipo catiónica, a razón de 1.2 lt/m<sup>2</sup>, dejándola reposar el tiempo necesario para garantizar que penetre de 5 a 10 mm, hecho lo anterior compactar al 95 % del P.V.S.M. según la prueba AASHTO modificada. Realizado lo anterior construir carpeta de concreto asfáltico de 10 cm de espesor compactada al 95 % del Peso Volumétrico Máximo, la cual deberá ser elaborada en planta y tendida con Finisher. Los materiales a utilizar en la carpeta se obtendrán de cualquiera de los bancos de la tabla 4.1.

Procedimiento de construcción para construir la sobrecarpeta de 5 cm en los tramos de carretera existentes.-

- a) Se deberá picar la superficie de rodamiento para garantizar mejor adherencia de la sobrecarpeta.
- b) Se aplicará un riego de liga con emulsión asfáltica de rompimiento rápido con una dosificación aproximada de 0.5 lt/m<sup>2</sup>.
- c) Sobre el riego de liga construir sobrecarpeta de concreto asfáltico de 10 cm de espesor compactada al 95 % del Peso Volumétrico Máximo, la cual deberá ser elaborada en planta y tendida con Finisher. Los materiales a utilizar en la sobrecarpeta se obtendrán de los bancos recomendados en la tabla 4.1.

Por otra parte es necesario mantener un laboratorio de campo con el personal calificado, equipo y demás elementos necesarios para que pueda controlar adecuadamente la calidad de los materiales de construcción y de la obra ejecutada.

Todos los trabajos referentes a las distintas etapas de construcción se deberán realizar de acuerdo a lo que establecen la Normas para Construcción e Instalaciones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Para controlar la calidad de los materiales a utilizar en la obra regirán las Normas de Calidad de los Materiales de la misma Secretaría.

## **CAPITULO V.- ESTUDIO ECONOMICO.**

La finalidad es realizar una Evaluación Económica que nos indique el beneficio, en términos económicos, que obtendríamos si se construye la autopista.

### **5.1 CONCEPTOS GENERALES.-**

Se requiere conocer el estado del camino actual para estimar cómo evolucionaría el deterioro si no se construyera la autopista. Es decir si el tránsito actual siguiera circulando por la carretera actual durante el período del proyecto (15 años), sin realizar ningún trabajo para mejorar el estado del camino, se deterioraría hasta llegar a un nivel mínimo en un corto plazo y los costos de operación serían muy elevados; por otra parte si se construye la autopista, reforzando los tramos donde se aprovecha la carretera actual, el nivel de rechazo se alcanzaría al final de la vida útil para la que se realizó el proyecto (15 años), por lo tanto los costos de operación en este caso serían mas bajos, y significaría un ahorro considerable en comparación a la primera alternativa.

Con base en lo anterior se calculan los costos de operación de vehículos para el caso en que no se realiza ningún trabajo y para el caso en que se construya la autopista (incluyendo costo de construcción y conservación), ambas alternativas se comparan y se obtiene el beneficio que se tendrá por cada unidad invertida. En los siguientes incisos se describe los conceptos que intervienen y la metodología a seguir:

### **5.2 INDICE DE SERVICIO ACTUAL (ISA).-**

Es una medida de la comodidad del viaje en una escala de 0 (Intransitable) a 5 (Excelente), que realizan cuatro personas en un vehículo en buenas condiciones de suspensión y alineación, circulando a velocidad normal de operación. Para obtener la calificación de la carretera se promedian las obtenidas por las cuatro personas en subtramos de un km ó de cinco dependiendo la longitud a evaluar. En este caso se obtuvieron calificaciones a cada cinco kilómetros. En la tabla siguiente se presentan las calificaciones obtenidas para esta carretera:

**CARRETERA:** CELAYA - SAN MIGUEL DE ALLENDE  
**KM:** 0+000 A 60+000

**INDICE DE SERVICIO ACTUAL (ISA)**

DE KILOMETRO	A KILOMETRO	OBSERVADOR No.				PROMEDIO
		1	2	3	4	
0+000	5+000	2.8	3.1	2.9	3.3	3.0
5+000	10+000	3.0	2.8	2.7	2.9	2.9
10+000	15+000	3.0	2.7	2.9	2.6	2.8
15+000	20+000	3.3	2.9	3.3	3.1	3.1
20+000	25+000	2.8	2.6	3.0	3.2	2.9
25+000	30+000	2.6	2.5	2.9	2.7	2.7
30+000	35+000	2.7	2.6	3.1	3.1	2.9
35+000	40+000	2.9	3.0	3.2	3.0	3.0
40+000	45+000	3.2	3.2	3.5	3.2	3.3
45+000	50+000	3.0	3.2	3.3	2.9	3.1
50+000	55+000	3.0	2.9	3.2	3.2	3.1
55+000	60+000	2.6	2.8	2.7	2.9	2.8

Analizando los valores anteriores podemos proponer para fines de la evaluación económica un Índice de Servicio Actual inicial de 3.0 (suma de los promedios =35.5, entre 12 subtramos = 3.0).

### 5.3 COSTOS DE OPERACION.-

El costo de operación de un vehículo es, como su nombre lo indica, el costo que tiene un vehículo durante su operación, para calcularlo interviene la conservación del vehículo, reparación, depreciación, combustible, lubricantes, impuestos y gastos tales como seguro y almacenaje. Si el vehículo opera en condiciones óptimas el costo es bajo y si opera en condiciones desfavorables el costo se incrementa.

El cálculo del costo de operación de un vehículo suele ser muy complicado pero para fines prácticos se pueden utilizar los propuestos por el Instituto Mexicano del Transporte en su publicación No. 30 (1991), en la que se proponen cuatro diferentes tipos de vehículos cuyos costos de operación base por km. son:

Tipo de vehículo	Costo de operación base (N\$/km)
"A" Vehículo ligero	1.10
"B" Autobús	2.70
"C" Camión de 2 ejes	1.50
"T" Camión articulado	3.90

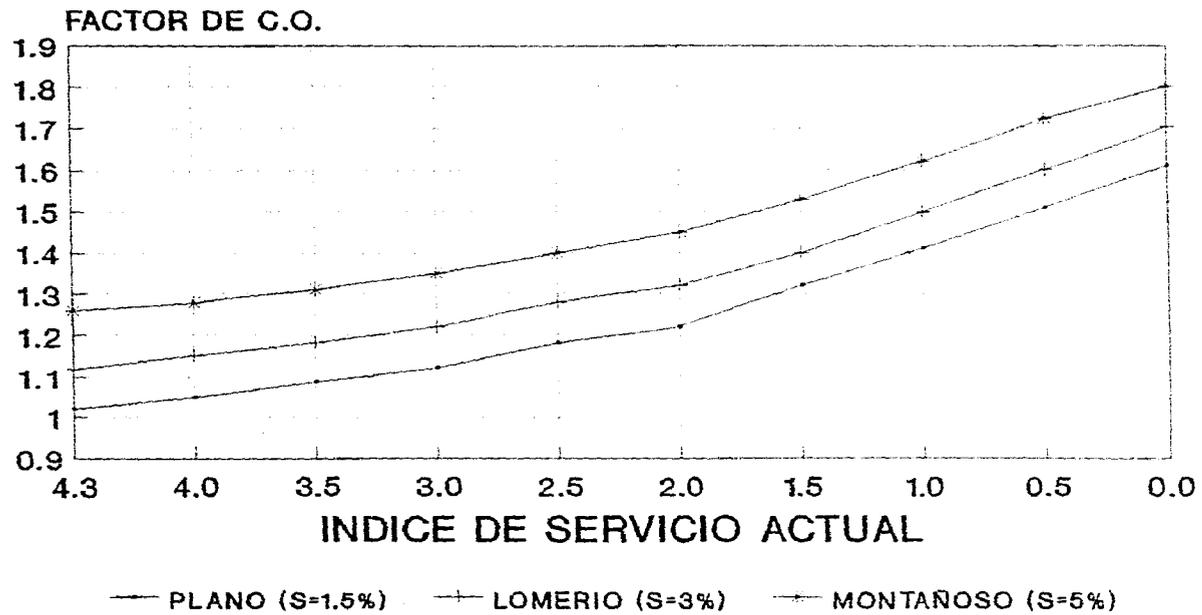
El costo de operación anual por kilómetro para cada tipo de vehículo, se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$COA = Fb \times CB \times TDPA \times 365$$

Donde:

COA: Es el costo de operación anual por kilómetro para todos los vehículos de un mismo tipo.

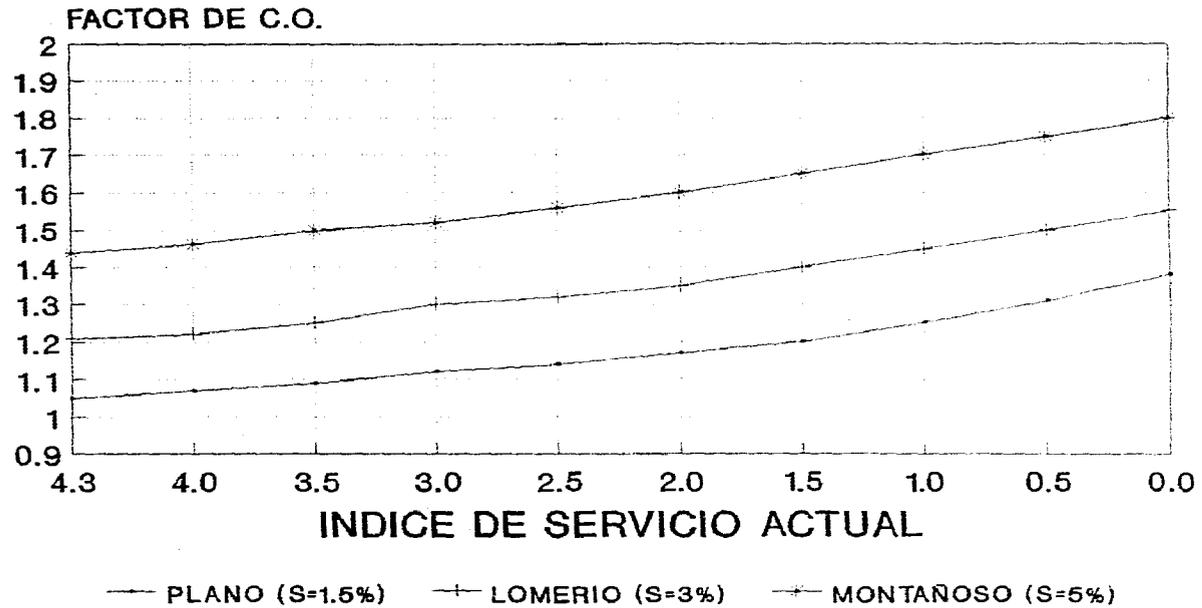
# VEHICULO LIGERO FACTOR DE C.O. v.s ISA



TESIS PROFESIONAL E.N.E.P. ACATLAN  
GRAFICA 5.1

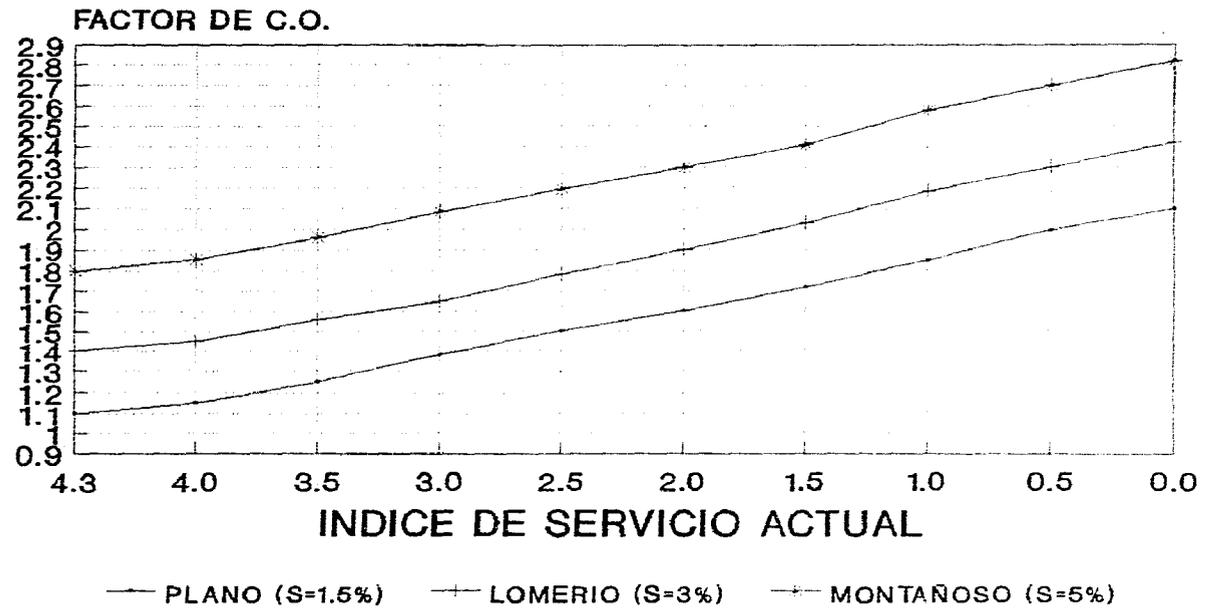
# AUTOBUS FORANEO

## FACTOR DE C.O. v.s ISA



TESIS PROFESIONAL E.N.E.P. ACATLAN  
GRAFICA 5.2

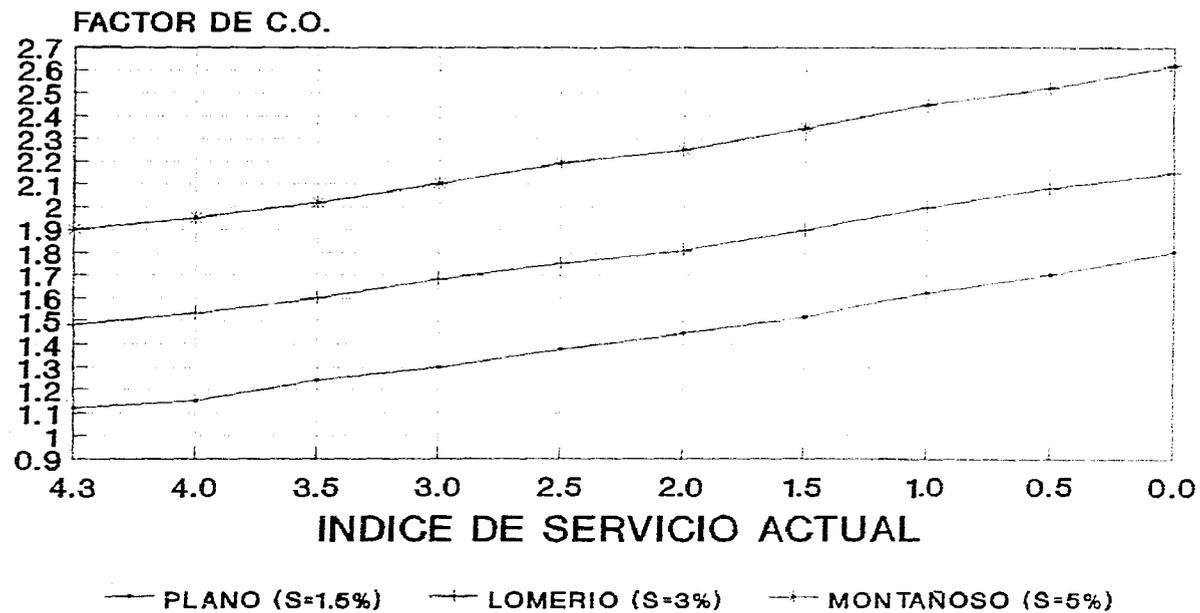
## CAMION DE DOS EJES FACTOR DE C.O. v.s ISA



TESIS PROFESIONAL E.N.E.P. ACATLAN  
GRAFICA 5.3

# CAMION ARTICULADO

## FACTOR DE C.O. v.s ISA



TESIS PROFESIONAL E.N.E.P. ACATLAN  
GRAFICA 5.4

- Fb: Es el Factor del Costo de Operación Base que se obtiene de las gráficas 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 y depende del tipo de terreno y estado superficial de la carretera (Se presentan en la publicación No. 30 del IMT "Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras, 1991).
- CB: Es el Costo de Operación Base del vehículo, presentados en la página anterior.
- TDPA: Es el Tránsito Diario Promedio Anual del vehículo analizado.
- 365 Corresponde al número de días en el año.

#### **5.4 COSTO DE CONSTRUCCION.-**

El costo de construcción interviene en el análisis económico, para calcularlo se determinaron las cantidades de obra de los conceptos que intervienen en el proyecto, los costos de cada concepto se determinaron de los tabuladores de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes para Terracerfas y Pavimento. A continuación se presenta las cantidades con sus respectivos costos y el total.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
1.- Formación de cuerpo de terraplén	m3	1'383,375.00	2.65	3'665,943.75
2.- Formación de capa subrasante	m3	289,020.00	11.53	3'332,400.60
3.- Formación de Subbase	m3	144,510.00	13.51	1'952,330.10
4.- Formación de base	m3	190,622.00	14.68	2'798,330.96
5.- FM-1 en riego de impregnación	lt	1'383,375.00	1.42	1'964,392.50
6.- FR-3 en riego de liga	lt	461,125.00	1.42	654,797.50
7.-Cemento asfáltico	kg	5'081,000.00	1.31	6'656,110.00
8.- Formación de carpeta de concreto asfáltico	m3	50,810.00	88.26	4'484,490.60
			<b>TOTAL \$</b>	<b>25'508,796.01</b>

## 5.5 ANALISIS ECONOMICO.-

Con la información obtenida anteriormente, primero es necesario calcular la alternativa "cero" que consiste en NO realizar ningún trabajo de construcción de la autopista, obteniendo los costos de operación que se generan durante quince años de acuerdo al deterioro que va obteniendo la carretera actual.

Para efectuar éste análisis se parte de un ISA actual (obtenido en el inciso 5.2) igual a 3.0. Esta calificación va disminuyendo al cabo del tiempo hasta llegar a un valor mínimo de 1.5, con base en esta variación se obtiene de las gráficas 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4 los Factores de Costo de Operación Base. Se hace la proyección del tránsito para cada años y se calcula el costo de operación anual por kilómetro, el cual se multiplica por la longitud de la carretera y así obtenemos el costo de operación anual de la carretera cuando ésta se va deteriorando cada año. Estos valores se obtienen en Valor Presente Neto con una tasa de retorno del 12 % mediante la siguiente fórmula:

$$V_p = \left\{ \frac{V_a}{1+i} \right\}^n$$

donde:

Vp =	Valor presente neto
Va =	Valor actual
i =	Tasa de retorno (12 %)
n =	# de años analizado

El cálculo de la alternativa cero se presenta en la tabla 5.5.

Posteriormente se calcula el costo neto total (valor actualizado) de la alternativa "uno", considerando los costos de construcción y conservación. En lo que se refiere a la estrategia de mantenimiento, se consideró un mantenimiento rutinario durante todos los años con un costo de 6% anual del costo de construcción del camino, y colocar dos riegos de sello cada 5 años con un costo de N\$ 50, 750 por Km.

Análisis Económico														
Alternativa No.0														
Carretera:		Celaya - San Miguel de Allende										Distribución Vehicular:		
Km:		0+000 a 60+000										A Vehículo Ligero 85%		
Tasa de crecimiento:		4%										B Autobus Foraneo 5%		
TDPA:		2941.00										C Camión de dos Ejes 8%		
Longitud del Tramo:		60 Km.										T Camión Articulado. 2%		
Año	TDPA	Ligero A	Autobús B	2 Ejes C	Articulados T	Factores CO8					Nuevos Pesos Anuales		Actualización 12%	
						ISA	A	B	C	Articulados	COV/ Año	C mant.	COV/ Año	C mant.
0	2941.00	2499.85	147.05	235.28	58.82	3.00	1.22	1.30	1.42	1.68	69459197	0.00	69459196.9	0.00
1	3058.64	2599.84	152.93	244.69	61.17	2.80	1.24	1.31	1.44	1.71	73504951	0.00	65629420.36	0.00
2	3180.99	2703.84	159.05	254.48	63.62	2.60	1.27	1.33	1.47	1.73	77763230	0.00	61992371.09	0.00
3	3308.23	2811.99	165.41	264.66	66.16	2.40	1.29	1.34	1.49	1.76	82244564	0.00	58540056.31	0.00
4	3440.55	2924.47	172.03	275.24	68.81	2.20	1.31	1.36	1.52	1.79	86959984	0.00	55264641.75	0.00
5	3578.18	3041.45	178.91	286.25	71.56	2.00	1.34	1.37	1.54	1.82	91921045	0.00	52158469.79	0.00
6	3721.30	3163.11	186.07	297.70	74.43	1.80	1.36	1.38	1.56	1.84	97139856	0.00	49214074.23	0.00
7	3870.16	3289.63	193.51	309.61	77.40	1.70	1.38	1.39	1.59	1.87	1.03E+08	0.00	46396587.53	0.00
8	4024.96	3421.22	201.25	322.00	80.50	1.50	1.40	1.40	1.60	1.90	1.08E+08	0.00	43709146.14	0.00
9	4185.96	3558.07	209.30	334.88	83.72	1.50	1.40	1.40	1.60	1.90	1.12E+08	0.00	40511515.65	0.00
10	4353.40	3700.39	217.67	348.27	87.07	1.50	1.40	1.40	1.60	1.90	1.17E+08	0.00	37617835.96	0.00
11	4527.53	3848.40	226.38	362.20	90.55	1.50	1.40	1.40	1.60	1.90	1.22E+08	0.00	34930847.68	0.00
12	4708.64	4002.34	235.43	376.69	94.17	1.50	1.40	1.40	1.60	1.90	1.26E+08	0.00	32435787.13	0.00
13	4896.98	4162.43	244.85	391.76	97.94	1.50	1.40	1.40	1.60	1.90	1.31E+08	0.00	30118945.19	0.00
14	5092.86	4328.93	254.64	407.43	101.86	1.50	1.40	1.40	1.60	1.90	1.37E+08	0.00	27967591.97	0.00
15	5296.57	4502.09	264.83	423.73	105.93	1.50	1.40	1.40	1.60	1.90	1.42E+08	0.00	25969906.83	0.00
SUMA													731916395	

TABLA 5.5

**Análisis Económico  
Alternativa No.1**

<b>Carretera:</b> Celaya - San Miguel de Allende															
<b>Km:</b> 0+000 a 60+000															
<b>Tasa de crecimiento:</b> 4%															
<b>TDPA:</b> 2941.00															
<b>Longitud del Tramo:</b> 60 Km.															
<b>Distribución Vehicular:</b>															
A Vehículo Ligero 85%															
B Autobus Foraneo 5%															
C Camión de dos Ejes 8%															
T Camión Articulado. 2%															
Año	TDPA	Ligero A	Autobús B	2 Ejes C	Articulados T	Factores COB					Nuevos Pesos Anuales		Actualización 12%		Beneficio alt0-alt1
						ISA	A	B	C	Articulados	COV/ Año	C mant.	COV / Año	C mant.	
0	2941.00	2499.85	147.05	235.28	58.82	4.00	1.15	1.24	1.32	1.52	65249926	25508796	65249925.95	25508796.01	4209270.96
1	3058.64	2599.84	152.93	244.69	61.17	3.80	1.16	1.25	1.34	1.55	68651944	1530528	61296378.89	1366542.64	4333041.47
2	3180.99	2703.84	159.05	254.48	63.62	3.60	1.17	1.26	1.36	1.58	72221724	1530528	57574716.48	1220127.36	4417654.61
3	3308.23	2811.99	165.41	264.66	66.16	3.40	1.19	1.28	1.38	1.62	75967244	1530528	54071983.50	1089399.43	4468072.81
4	3440.55	2924.47	172.03	275.24	68.81	3.20	1.20	1.29	1.40	1.65	79896850	1530528	50775892.40	972678.06	4488749.35
5	3578.18	3041.45	178.91	286.25	71.56	3.00	1.21	1.30	1.42	1.68	84019277	2030000	47674793.99	1151876.52	4483675.81
6	3721.30	3163.11	186.07	297.70	74.43	3.36	1.20	1.28	1.40	1.65	86467830	1530528	43807293.56	775413.00	5406780.68
7	3870.16	3289.63	193.51	309.61	77.40	3.22	1.21	1.29	1.42	1.67	90683700	1530528	41020700.62	692333.03	5375886.91
8	4024.96	3421.22	201.25	322.00	80.50	3.08	1.22	1.30	1.43	1.68	95098492	1530528	38408685.80	618154.49	5300460.35
9	4185.96	3558.07	209.30	334.88	83.72	2.94	1.23	1.30	1.45	1.70	99721373	1530528	35960526.65	551923.65	4550999.00
10	4353.40	3700.39	217.67	348.27	87.07	2.80	1.24	1.31	1.46	1.71	1.05E+08	2030000	33666141.85	653605.67	3951694.12
11	4527.53	3846.40	226.38	362.20	90.55	3.14	1.21	1.29	1.41	1.67	1.06E+08	1530528	30498647.21	439990.16	4432200.48
12	4708.64	4002.34	235.43	376.69	94.17	2.98	1.23	1.30	1.43	1.69	1.12E+08	1530528	28643348.04	392848.36	3792439.10
13	4896.98	4162.43	244.85	391.76	97.94	2.82	1.24	1.31	1.44	1.70	1.17E+08	1530528	26897486.26	350757.46	3221458.94
14	5092.86	4328.93	254.64	407.43	101.86	2.66	1.26	1.31	1.46	1.72	1.23E+08	1530528	25258454.01	313176.30	2709137.96
15	5296.57	4502.09	264.83	423.73	105.93	2.50	1.27	1.32	1.48	1.74	1.3E+08	1530528	23716337.15	279621.70	2253569.68
<b>Suma:</b>												664521312	36377243.84	67395082.20	
<b>Valor de rescate:</b>													0.00		
<b>Costo Total:</b>													36377243.84		
<b>Beneficio Neto Total:</b>													31017838.36		
<b>Relación Beneficio Costo:</b>													1.85		

TABLA 5.6

Como siguiente paso se obtuvo el beneficio neto total mediante la diferencia entre los costos de operación en la alternativa "cero" (no efectuar ningún trabajo de rehabilitación y mantenimiento) y los costos de operación de la alternativa "uno", menos el costo total de construcción y mantenimiento.

Por último se obtuvo la relación beneficio / costo mediante el cociente entre el beneficio total y el costo total. Este valor representa el ahorro que se obtendrá al final del período de tiempo analizado por cada peso que se invierta en la alternativa propuesta (Tabla 5.6).

En la tabla se describe que se obtuvo una relación Beneficio / Costo de 1.85, es decir que en términos económicos el proyecto si es viable ya que cuando esta relación es mayor a uno, el proyecto es viable; es decir, que por cada unidad invertida en este proyecto se obtendrá un beneficio de 0.85

En la tabla siguiente se presenta el resumen de los resultados obtenidos en el análisis económico.

TABLA COMPARATIVA DE ANALISIS ECONOMICO (millones de nuevos pesos)									BENEFICIO / COSTO (H)-(I) / (E)
DESCRIPCION (A)	COSTO INICIAL DE LA OBRA (B)	COSTO DE CONSERV. Y MANT. (C)	VALOR DE RESCATE (D)	COSTO TOTAL DE REHAB. Y MANT. EN VALOR PRESENTE (E)-(B)+(C)	COSTOS DE OPERAC. EN ALT. CERO (F)	COSTOS DE OPERAC. DE LA ALTER. (G)	BENEFICIO TOTAL (H)-(F)-(G)	BENEFICIO NETO TOTAL (H)-(H)-(E)	
CONSTRUCCION DE LA AUTOPISTA	25.50	10.87	0.00	36.37	731.91	664.52	67.39	31.01	1.95

## CONCLUSIONES.-

Dentro de la infraestructura de un país, las carreteras y autopistas representan un aspecto fundamental en su desarrollo económico ya que son un instrumento de comunicación y transporte de mercancías entre las poblaciones o ciudades que integran a un país, es decir entre mas ciudades se encuentren comunicadas mejor son las posibilidades de hacer llegar recursos y necesidades a todo el país.

Para la construcción adecuada de una carretera o autopista es necesario realizar todo los proyectos ejecutivos necesarios basados en estudios minuciosos.

Una etapa de estos estudios es el proyecto geométrico en el cual se efectúa el trazo definitivo de la ruta, obteniendo toda la información topográfica; el estudio geotécnico es de suma importancia para el cálculo de movimiento de tierras y evitar problemas durante el funcionamiento de la vía.

En este trabajo se realizó el proyecto geotécnico y de pavimento de la autopista turística Celaya y San Miguel de Allende. De los datos obtenidos en el estudio, se pueden considerar dos condiciones, la primera es cuando la autopista se apoyará sobre arcillas CH, lo cual se presenta en distintos subtramos que abarcan 5 km, y la otra se presenta cuando el terreno de cimentación es de buena calidad. (Sc,FCmg).

Con base en lo anterior, al realizar el diseño de pavimento, se obtuvieron dos estructuras de pavimento diferentes, la primera condición es para los subtramos: 0+000 a 0+800, 2+200 a 4+200, 6+200 a 7+800, 9+500 a 23+500, 23+780 a 40+000 en donde la autopista se apoyará en terreno de buena calidad ( $VRS=15\%$ ); bajo estas condiciones la estructura de pavimento requerida según el método de diseño es de 38 cm de grava equivalente, es decir, teóricamente necesita una estructura muy esbelta pero debido a las características que debe cumplir la autopista y que las capas de subbase y base requieren ser de por lo menos 15 cm, se propone la siguiente estructura de pavimento para estos tramos:

CAPA	ESPESOR
CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO	10 cm
BASE HIDRAULICA	20 cm
SUBBASE HIDRAULICA	15 cm
SUBRASANTE	30 cm

Por otra parte, la otra estructura se obtuvo en los tramos: 0+800 a 2+200, 4+200 a 6+200, 7+800 a 9+500, 23+500 a 23+780; en estos tramos la carretera se apoyará sobre terreno de mala calidad ( $VRS = 5\%$ ), bajo estas condiciones se requiere una estructura de 68 cm de grava equivalente por lo que se propuso la estructura siguiente:

CAPA	ESPESOR
CARPETA DE DOS RIEGOS	-----
BASE HIDRAULICA	25 cm
SUBBASE HIDRAULICA	20 cm
SUBRASANTE	40 cm

En este caso la estructura representa 85 cm de grava equivalente que es superior a los 68 requeridos. La carpeta de dos riegos se propuso ya que en estos tramos la estructura se apoyará sobre suelos finos de tipo CH, los cuales provocarán deformaciones por los cambios de humedad, que se manifestarían en agrietamientos de la carpeta si ésta se elaborara de 10 cm de espesor de concreto asfáltico.

Al evaluar el estado del pavimento de los tramos de carretera que serán utilizados como parte de la autopista, se encontró que se encuentra en buen estado, por lo que sólo será necesario un refuerzo de 6 cm de concreto asfáltico para todos los tramos.

Es evidente que la modernización del camino tratado en esta tesis debe de

tomarse en consideración toda vez que genera menores costos y tiempos de recorrido a los usuarios de la autopista, sin embargo, y de acuerdo a la situación económica actual del país se deben de considerar de la lista de carreteras de la red troncal del país, cuales son las mas prioritarias en función del beneficio/costo.

Lo anterior obedece a que investigando en otros proyectos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes encontré que existen caminos con un TDPA mas elevado y con una distribución vehicular que justifica la puesta en marcha de modernización antes que el tratado en esta tesis.

Por otra parte, al realizar el estudio económico, se obtuvo como resultado que al construir la autopista se tiene una relación Beneficio/Costo de 1.85, es decir, por cada unidad invertida se obtendrá un beneficio de 0.85.

Al realizar el presente trabajo pude detectar los aspectos siguientes:

- 1.- Es de suma importancia que todos los proyectos de una carretera se realicen a conciencia y de una manera completa, ya que de esto dependerá el buen funcionamiento de la vía proyectada.
- 2.- El estudio geotécnico representa un aspecto esencial para la elaboración de la curvamasa y de esto depende mucho el costo de la carretera, ya que el correcto aprovechamiento de los materiales proporcionará un ahorro importante.

Por otra parte la recomendación adecuada de los taludes de los cortes y terraplenes evitarán problemas graves durante la construcción y operación de la carretera.

- 3.- En lo que se refiere al estudio de pavimento los aspectos más importantes a considerar son la capacidad del terreno donde se apoyará la estructura y las características del tránsito y circulará sobre ésta.
- 4.- Pienso que uno de los problemas más frecuentes en la realización de obras de este tipo es el controlar en campo la calidad de los trabajos, es decir, debido a los grandes volúmenes que se manejan es difícil no

cumplir con lo especificado en los proyectos, por ejemplo en lo que se refiere en la compactación de las capas, calidad exacta de los materiales requeridos, etc.

Por lo anterior recomiendo que durante la construcción de las obras se efectúe un control de calidad que permita monitorear lo proyectado y que sin lugar a dudas se reflejará en el estado de conservación durante la operación de la autopista.

## **BIBLIOGRAFIA .-**

A. RICO Y H. DEL CASTILLO. "LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES". Volúmenes I y II. E.D. Limusa, 1981, México, D.F.

S. CORRO, R. MAGALLANES Y G. PRADO. "INSTRUCTIVO PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA CARRETERAS" . Series de Instituto de Ingeniería de la UNAM. Núm. 444, UNAM. 1981, México, D.F.

E.J. YODER Y M. W. WITCZAK. "PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN" . John Wiley & Sons, Inc. 1975, New York, U.S.A.

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. "NORMAS PARA MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES, EQUIPOS Y SISTEMAS". Título 6.01.01 Materiales para Terracerías. México, D.F. 1986. Título 6.01.03 Pavimentos. México, D.F. 1987.

THE AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. "AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES" . 1986, U.S.A.

JUAREZ BADILLO Y A. RICO. "MECANICA DE SUELOS" Tomos I, II y III. E.D. Limusa, 1986, México, D.F.

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. "MANUAL DE PROYECTO GEOMETRICO DE CARRETERAS". México, D.F. 1991.

CARTAS TOPOGRAFICAS, GEOLOGICAS Y DE CLIMAS. INEGI, México, D.F.

ASPHALT INSTITUTE. "ASPHALT OVERLAYS FOR HIGHWAY AND STREET REHABILITATION". MANUAL SERIES NO. 17 (MS-17), JUNE 1983 EDITION.

ESTADO SUPERFICIAL Y COSOTOS DE OPERACION EN  
CARRETERAS. 1991 Publicación No. 30, Instituto Mexicano del  
Transporte, San Fandila Qro.