



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**EVALUACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES  
EN CARRETERAS UTILIZANDO  
VIGA BENKELMAN**

**T E S I S**  
PARA OBTENER EL TITULO DE  
**INGENIERO CIVIL**  
P R E S E N T A

**VINICIO ANDRES SERMENT GUERRERO**



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN.**

1993



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

# EVALUACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN CARRETERAS

UTILIZANDO VIGA BENKELMAN

I.- CONCEPTOS GENERALES

II.- CONDICIONES GENERALES DE LA ZONA

III.- CONSIDERACIONES DE TRANSITO

IV.- DETERIOROS EN LOS PAVIMENTOS

V.- EVALUACION SUPERFICIAL

VI.- EVALUACION ESTRUCTURAL

VII.- PROPUESTAS DE REHABILITACION

VIII.- CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

## I. - CONCEPTOS GENERALES

La función de un pavimento consiste en permitir que el tránsito de vehículos se realice sobre una superficie uniforme, impermeable, de color y textura apropiados, resistente a la repetición de cargas y a la acción del medio ambiente, que no transmita a la terracería esfuerzos mayores a su resistencia. Esto es, debe permitir el paso de vehículos con seguridad, comodidad y el mínimo costo de operación posible.

En la práctica nacional se ha convertido de uso común el clasificar a los pavimentos en rígidos y flexibles, considerándose como pavimentos rígidos a aquellos cuyo principal elemento resistente es una losa de concreto hidráulico y como flexibles a todos los otros casos.

Al enfrentarse al problema de la evaluación de un pavimento en operación deben tenerse siempre en mente las dificultades de diversa índole para dar una solución precisa. La primera de ellas es, sin duda, la inexistencia de una solución teórica que represente, de manera precisa, el comportamiento de estas estructuras. Hasta ahora este tipo de soluciones se han basado en hipótesis que las alejan demasiado de la realidad, por ejemplo, el suponer que el sistema está formado por capas homogéneas, isotropas y linealmente elásticas, lo cual se contraponen totalmente al hecho de que los pavimentos se construyen principalmente con suelos, que son heterogéneos por naturaleza y que los materiales que lo forman, por lo general no se extraen de un solo banco, además que es común que en un mismo banco se tengan distintos frentes con materiales de distintas características.

Por otra parte es imposible evaluar con una aproximación razonable los efectos de los agentes del medio ambiente a los que un pavimento queda expuesto de por vida.

Las cargas causadas por el tránsito son variables en peso, número de repeticiones, velocidad de aplicación, punto de contacto, etc., lo cual provoca que sea muy difícil conocer sus efectos ya que generan deformaciones transitorias y permanentes que provocan consecuencias poco conocidas como son la fatiga y el rebote elástico.

Adicionalmente en el medio local lo mas común es no encontrar los registros históricos que permitan conocer el proyecto original, el método con que fue diseñado, la calidad de los materiales empleados, su procedencia, si la construcción se efectuó de acuerdo a lo especificado, que dificultades se presentaron durante la misma, que tipo de trabajos de conservación y/o reconstrucción se han llevado a cabo, con que frecuencia. Información que permite estimar, con bases mas sólidas, las causas de falla.

El evaluador, al dar la recomendación para la rehabilitación, deberá enfrentarse a la decisión de elegir entre una multitud de materiales, unos mas cercanos, otros mas lejanos pero de mejor calidad, decidir entre los métodos de diseño existentes jugando con los espesores y teniendo siempre en cuenta los factores económicos, entre los cuales es primordial incluir los costos de la futura conservación, así como los de operación de los usuarios.

Es razonable decir que al realizar una evaluación de pavimentos es indispensable aplicar de manera preponderante la experiencia del evaluador, el que deberá tener en cuenta aciertos y errores anteriores para llegar a un buen proyecto de reconstrucción.

## II.- CONDICIONES GENERALES DE LA ZONA

Frecuentemente se ha mencionado la acción del clima como uno de los puntos fundamentales ha cuidar para que un camino tenga un comportamiento adecuado. Sin embargo en un estudio efectuado en la red carretera nacional ("Estudio del Comportamiento de Pavimentos Flexibles en la Red Carretera Nacional" E. Padilla C., Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. 1972) se valuó la resistencia del conjunto terracería-pavimento y su variación con la estación del año mediante mediciones con equipo Dynaflect de la deflexión en la superficie de un total de 52 estaciones distribuidas en casi todo el país. La primera determinación se realizó en octubre, al terminar la época de lluvias; la segunda serie de mediciones se efectuó en los meses de marzo y abril, al concluir el período de estiaje; en la figura II.1 se muestran los resultados de dichas mediciones. En ella se puede observar que no se manifiesta una diferencia apreciable en la condición estructural de las secciones estudiadas. Es posible que esto se deba a que en nuestro país las variaciones climáticas entre estaciones no son severas, sin embargo en las regiones en que existan heladas prolongadas el efecto de ellas puede provocar daños importantes al pavimento. Otro factor climático que puede provocar problemas a los pavimentos flexibles son las altas temperaturas, ya que pueden generar el reblandecimiento de los materiales asfálticos, si estos no son del tipo adecuado.

Pareciera ser que, al menos en México, una vez concluida la construcción de un camino se alcanza, al cabo del tiempo, una condición de equilibrio frente a las variaciones climáticas, pero en ese equilibrio influyen también la conformación topográfica y geológica de la zona, así como la relación que guardé



con ellos el trazo de la carretera: de tal forma que es posible encontrar tramos en buenas condiciones en lugares de clima desfavorable dado que su trazo las protege, o bien tramos en malas condiciones en sitios con clima aparentemente benigno.

Atención especial debe darse al estudio de las condiciones de drenaje tanto superficial como subterráneo ya que tanto las terracerías como el pavimento están formados por suelos, los cuales con frecuencia tienen importantes contenidos de finos, por lo que su resistencia se ve afectada por la presencia de agua.

Las condiciones geológicas de la zona también influyen de manera muy importante en el comportamiento del pavimento, pues por una parte determinan la resistencia del suelo de cimentación, y por otra la disponibilidad de materiales para su construcción, conservación y rehabilitación. Generalmente solo se realizan estudios geológicos superficiales, sin embargo, en ocasiones es necesario efectuarlos con mayor detalle para evitar problemas posteriores, como es el caso cuando existen cortes con taludes muy altos. En caso de ser necesaria la construcción de un túnel el estudio geológico tiene que hacerse con el mayor detalle posible, incluyendo prospección geofísica y sondeos profundos, además de el levantamiento superficial.

A fin de identificar los suelos, y de esta manera tener un primer conocimiento de sus características se hace necesario clasificarlos. En el medio nacional se utiliza el llamado método S.O.P. (S.C.T.) que consiste, a grandes rasgos en lo que se expone a continuación.

Para fines de clasificación los materiales que forman la corteza terrestre se agrupan en tres grandes grupos: a) Suelos.- Este término se aplica a todas las partículas de material menores a 3"(7.6 cm). b) Fragmentos de Roca .- Son todos los fragmentos mayores de 3"(7.6 cm) y que no forman parte de una formación masiva. c) Roca.- Se aplica para formaciones rocosas masivas.

A su vez los suelos se subdividen en finos y gruesos, siendo los primeros aquellas partículas pasan por la malla # 200 y los gruesos son aquellos materiales que pasan por la malla de 3" y se retienen en la # 200.

Para clasificar los suelos este sistema se basa en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos( S.U.C.S.), por lo cual los divide en orgánicos, limos y arcillas. Los primeros son los que contienen una cantidad apreciable de materia orgánica, los limos y arcillas se diferencian de acuerdo a la posición que tengan, en función a su límite líquido y a su índice plástico, en la carta de plasticidad(figura II.2).

Los suelos gruesos comprenden a las gravas y las arenas, estos grupos se distinguen entre si por su tamaño, siendo la frontera entre ellos la malla # 4. En la figura II.3 se muestra un resumen de la variante S.O.P. del S.U.C.S.

El factor que mas influye en el comportamiento de un pavimento es, sin duda, la calidad de los materiales que se emplean en su construcción, conservación y/o rehabilitación, actualmente la mayoría de los trabajos de pavimentación que se realizan en el país se efectúan con materiales elegidos de

acuerdo a las Normas de Calidad de los Materiales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, en la figura II.4 se muestran algunos de los valores mas significativos de ellas. Sin embargo desde hace tiempo existe entre los técnicos Mexicanos la impresión de que dichas normas son demasiado indulgentes para las condiciones de carga y volúmenes de tránsito actuales. A raíz de esta inquietud el Instituto Mexicano del Transporte, dependiente de la misma Secretaría ha publicado un documento llamado "Manual de Calidad de los Materiales en Secciones Estructurales de Pavimentos Carreteros" en el cual se proponen una nueva serie de normas mas apegadas a las condiciones existentes en las carreteras nacionales. Un resumen de estas se presenta en las figuras II.5, II.6 y II.7. Mención especial merece el caso de la prueba de valor cementante, incluida en las normas vigentes, pero que a caído en desuso a pesar de ello porque se ha observado que materiales granulares de buena calidad para pavimentación no cumplen con el valor mínimo especificado, habiendo casos en que por aplicar la norma rigidamente se agregaron finos plásticos a materiales de buenas características volviéndolos inestables.

### III. CONSIDERACIONES DE TRANSITO

El factor externo a un pavimento que mas influye en su comportamiento es, sin duda, el tránsito que circula sobre el y al cual da servicio. La magnitud de las cargas aplicadas depende directamente de la composición de dicho tránsito (tipo de vehiculos) y del peso que transporte cada uno de ellos, por otra parte su número influye directamente en el comportamiento del pavimento respecto a la fatiga.

La determinación de volúmenes de tránsito se efectúa a partir de aforos, los cuales pueden realizarse mecánicamente con aparatos que detectan el número de ejes que transitan sobre la carretera; también pueden realizarse en forma manual con gente ubicada en sitios estratégicos para contar el número y tipo de automotores que circulan, o bien, por medio de una combinación de ambos métodos.

La Secretaria de Comunicaciones y Transportes tiene instalados de manera permanente 148 aparatos aforadores en la red federal de carreteras, los datos obtenidos de estos aparatos son complementados con la instalación, una vez al año, de 3500 estaciones semanales en las cuales también se afora mecánicamente. Combinando estadísticamente los datos obtenidos de ambos tipos de estaciones se obtiene el T.D.P.A. (Tránsito Promedio Diario Anual). Paralelamente se efectúan aforos manuales durante periodos de tres horas, una vez al mes en las estaciones permanentes y una vez durante la semana en que están instaladas las estaciones transitorias a fin de comprobar los datos obtenidos con aparatos y además obtener información relativa al tipo de vehiculos y el porcentaje de cada uno de ellos respecto al total que circula por cada carretera.

Adicionalmente se llevan a cabo con cierta regularidad los llamados Estudios de Origen y Destino en los cuales se obtiene información muestral de los itinerarios, tiempos de recorrido, tipo de carga, peso de la misa, así como del número de vehículos cargados y vacíos.

Del análisis estadístico de esa información se determina la tasa esperada de incremento en el volumen de tránsito con la cual se estima el número total de vehículos que circulará por una carretera durante la vida útil del pavimento.

Como ya se mencionó anteriormente no solo el número de vehículos incidirá en el comportamiento del pavimento, ya que la carga que transportan es también de primordial importancia. Sin embargo dada la gran diversidad de automotores que circulan actualmente por las carreteras se vuelve sumamente difícil el calcular con exactitud las sollicitaciones que el tránsito transmite al pavimento, si además recordamos lo variable que resultan las características mecánicas de los materiales con que se construyen los caminos puede verse que resulta impráctico el tratar de conocer con mucho detalle dichas cargas.

Es por ello que la gran mayoría de los métodos de diseño de espesores de pavimentos consideran el efecto de las sollicitaciones del tránsito como la repetición de una carga tipo, transformando los datos aferados mediante factores predeterminados.

El método del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. y el del Instituto del Asfalto de los Estados Unidos, que son los más usuales en nuestro país,

consideran como carga tipo la que produce un eje sencillo con un peso de 8.2 toneladas métricas (18,000 lb). En cambio el método utilizado por el Departamento de Carreteras del estado Norteamericano de California considera como sollicitación tipo la que produce también una rueda cargada con 5000 libras, esto es perteneciente a un eje sencillo, pero cargado con 4.5 ton (10,000 lb).

En el primero de los métodos arriba mencionados el efecto de la acumulación del tránsito se calcula con la expresión

$$\sum L = (TDPA) \cdot (C_2) \cdot (C_1) \cdot \sum C_i (W_i d_i + (1-W_i) d_v)$$

donde

$\sum L$  Número de aplicaciones de la carga tipo

durante n número de años producida por P

tipos de vehículos

TDPA Volumen de tránsito diario promedio anual

inicial en ambas direcciones

$C_2$  Proporción del número de vehículos en el

carril de proyecto con respecto al total.

Se recomienda 0.5 en carreteras de dos

carriles, 0.4 a 0.5 para cuatro carriles

y 0.3 a 0.4 para mas de seis carriles.

$C_T$  Coeficiente de acumulación del tránsito  
para una tasa de crecimiento  $r$  se calcula  
con la expresión:

$$C_T = [(1+r)^n - 1] / 365r$$

$C_i$  Proporción de cada tipo de vehículo

$W_i$  Proporción de vehículos cargados por cada  
tipo de vehículo

$dm$  Coeficiente de daño del vehículo tipo  $i$   
cargado

$dv$  Coeficiente de daño del vehículo tipo  $i$

vacio

En la figura III.1 se muestra un ejemplo de uno de los formatos utilizados para calcular la carga equivalente acumulada. Los valores de los coeficientes de daño están incluidos en el "Instructivo para el Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles de Carreteras" editado por la extinta Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.

El Instituto Norteamericano del Asfalto, basado en estudios de carga en 47 estados de ese país encontró que el número de ejes equivalentes se correlaciona con la carga legal permitida, el peso bruto promedio de los camiones pesados y el número de estos, considerando como camión pesado a los vehículos con dos ejes y seis ruedas o mayores. En la figura III.2 se muestra el nomograma utilizado para obtener el Número Inicial de Tránsito (NIT) que representa el número de repeticiones de eje equivalente en el carril de diseño para un tiempo inicial. La acumulación del tránsito durante la vida útil puede obtenerse de manera análoga al método del Instituto de Ingeniería, esto es, aplicando el mismo coeficiente de acumulación del tránsito.

Por lo que hace al método de California el efecto del tránsito se estima, como ya se mencionó, en base a cargas de rueda equivalente (EWL) de acuerdo a los factores que se incluyen en la tabla que se muestra a continuación:



EWL de Diseño Por Vehículo Por Día

Tipo de Vehículo	Autopistas	Caminos Secundarios
Camión de 2 ejes	300	200
Camión de 3 ejes	920	690
Camión de 4 ejes	1320	1070
Camión de 5 ejes	4080	1700
Camión de 6 ejes	2860	1050

Los factores incluidos en esta tabla se multiplican por el número promedio diario de camiones que circulan por el carril de diseño y por el coeficiente de acumulación de tránsito para así obtener el EWL acumulado en la vida útil, con este y a partir de la expresión mostrada a continuación se obtiene el Índice de Tránsito que es el parámetro empleado para diseño.

$$IT = 6.7 [EWL \times 10^{-c}]^{0.119}$$

#### IV.-DETERIOROS EN LOS PAVIMENTOS

Como puede suponerse, el primer paso para evaluar el comportamiento de un pavimento consiste en observar si este ha sufrido algún deterioro que afecte de alguna manera su funcionamiento, esto es, si existen fallas. Al respecto conviene comentar que el concepto de falla en pavimentos no está bien definido, ya que es común que la palabra falla se aplique lo mismo a una estructura colapsada que a pavimentos que presentan deterioros leves o a zonas que a simple vista no manifiestan síntomas pero en las cuales se espera un comportamiento desfavorable.

De acuerdo a E.J.Yoder, en su libro "Principles of Pavement Design", se pueden distinguir dos tipos diferentes de fallas. El primer tipo es la falla estructural, la cual consiste en un deterioro tal de uno o más de sus componentes que no le permite soportar debidamente las cargas aplicadas en la superficie. El segundo tipo es la llamada falla funcional, que puede o no estar asociada a una falla estructural, pero que su magnitud es tal que el circular sobre el pavimento provoca incomodidad de los usuarios y/o esfuerzos de consideración a los vehículos debido a lo inadecuado de su superficie.

Obviamente el grado de deterioro puede recorrer una gran gama de magnitudes y la severidad de dicho deterioro está relacionada en gran medida a la opinión del observador. Sin embargo, la diferencia entre los tipos de falla es importante y el evaluador de pavimentos debe poder distinguirlas. Como ejemplo considérese un pavimento rígido sobre el cual se ha colocado una capa de concreto asfáltico para mejorar la textura de la superficie. Con el tiempo puede esperarse que se presenten irregularidades por la aparición de grietas reflejadas sobre las

juntas de las losas de concreto hidráulico, sin que exista falla estructural, por lo que es un caso típico de falla funcional.

La falla estructural de un pavimento flexible puede ser el resultado de la fatiga, consolidación o falta de resistencia al esfuerzo cortante en las terracerías, subrasante, sub-base, base o carpeta. Generalmente al observar la manifestación superficial de una falla se obtienen los primeros indicios de donde se genera el problema. Así el ancho de una rodadura puede ser indicativo de la profundidad a que se encuentra la capa fallada, sin embargo esto no siempre se cumple. Los bufamientos a cierta distancia de la rodadura pueden estar asociados a fallas por cortante en la subrasante, mientras que los bufamientos que se presentan más cercanos a esa zona son sintomáticos de falla de corte en la carpeta. Pero la falla puede deberse a falta o exceso de asfalto, mal drenaje, expansión o consolidación del suelo de cimentación, etc.

Otros autores clasifican las fallas en pavimentos flexibles en tres grupos, por su origen:

1) Fallas por Insuficiencia Estructural.- Se presentan en pavimentos contruidos con materiales inadecuados o espesores insuficientes, lo que impide que se establezca un mecanismo de resistencia adecuado para soportar las cargas aplicadas.

2) Fallas por Defectos Constructivos.-Afectan a pavimentos construidos con espesores adecuados y materiales apropiados pero que durante la construcción se cometieron errores que afectan el comportamiento.

3) Fallas por Fatiga.-Se trata de pavimentos que fueron bien diseñados y construidos pero los que por la constante repetición de cargas y/o el exceso de magnitud de ellas sufren efectos de deformación acumulada, degradación estructural y, en general, pérdida de resistencia.

En los siguientes párrafos se describirán varios de los tipos de deterioro que puede presentar un pavimento. No se cubren todos pero son algunos de los mas comunes. Es posible encontrar variaciones de los que aquí se mencionarán, además que generalmente se manifiestan en combinaciones de dos o mas.

Agrietamientos de Piel de Cocodrilo.- Se trata de grietas en varias direcciones que se cruzan entre si presentando el aspecto que da origen a su nombre. Es uno de los primeros sintomas de falla. Esta condición es indicativa de movimientos excesivos de una o mas de las capas del pavimento y/o de fatiga de la carpeta. Es frecuente encontrarlas en pavimentos flexibles construidos sobre suelos resilientes. Una base débil o mal compactada puede causar este problema en la superficie. Puede o no ser progresivo y cuando lo es generalmente provoca el calavereo de la carpeta. También es posible que se presente por disminución de la resistencia de las capas inferiores.

Rodera.- Son deformaciones permanentes en la zona de paso de las ruedas, y como se mencionó antes pueden ser causadas por la consolidación de una o mas capas del pavimento.

Falla por Cortante.- Se trata de surcos profundos de ancho ligeramente mayor al de las llantas. Generalmente estos están asociados a falta de resistencia al corte de las capas superiores (carpeta, base y sub-base), la presencia de bufamientos a los lados del surco puede deberse a falla de la capa subrasante.

Agrietamientos Longitudinales.- Se presentan cerca de los hombros del camino, por lo regular se deben a variaciones del volumen de las terracerías debido a cambios en el contenido de agua. También pueden ser una manifestación de compactación deficiente de los hombros del camino.

Llorado.- Se le llama así a la aparición de asfalto en la superficie al elevarse la temperatura y/o al paso del tránsito, puede deberse a exceso de asfalto o bien a que el asfalto utilizado no sea el adecuado para el clima de la región. Provoca superficie resbalosa.

Consolidación del Terreno de Cimentación.- La consolidación causa distorsiones de gran magnitud en el pavimento. Un pavimento construido sobre una turba, por ejemplo, desarrolla áreas deformadas de gran longitud y pendientes suaves.

Grietas de Reflexión.- Se presentan en sobrecarpetas construidas sobre pavimentos previamente agrietados, en los que no se corrige de manera adecuada ese defecto.

Ondulaciones Transversales.- También se les conoce como corrugaciones, son deformaciones en el sentido perpendicular al eje del camino, formando crestas y valles alternados, generalmente con separación menor a los 60 cm. entre ellas. Por lo regular son provocadas por falta de estabilidad de la mezcla y se presentan sobre todo en zonas de donde la fuerza de fricción es mayor, por ejemplo áreas de frenado y/o pendientes pronunciadas.

Desintegración.- Es la fragmentación grave de la carpeta asfáltica con pérdida progresiva de los materiales que la componen. La pueden provocar, entre otras cosas, el fin de la vida útil de la carpeta, el que se haya tendido en clima demasiado frío o húmedo, que se haya aplicado calor excesivo al elaborar la mezcla (calcínación del asfalto), o por contaminación con solventes.

Agrietamiento Parabólico.- Son grietas en forma de media luna (parábola) en la dirección del tránsito. Generalmente se deben a carpetas débiles en zonas de frenaje y/o arranque.

Como puede verse en los ejemplos citados arriba un mismo síntoma puede ser provocado por una o varias causas distintas. Es por ello que por lo general una inspección visual no es suficiente para determinar y corregir las causas del deterioro del pavimento, aunque lógicamente es indispensable, ya que aunada a la

experiencia del evaluador es determinante para la programación de los estudios requeridos para llegar a un adecuado procedimiento de rehabilitación.

## V.-EVALUACION SUPERFICIAL

Entre las funciones mas importantes de un ingeniero de pavimentos esta, sin duda, la evaluación de un pavimento en servicio. Uno de los mayores problemas a que se enfrenta un evaluador es la pregunta "¿Que es un pavimento aceptable?"; desde luego que la respuesta es cualitativa y depende totalmente de la opinión del evaluador. Como se mencionó el objetivo principal de un pavimento es proporcionar una superficie adecuada para el tránsito de vehículos, pero dentro de límites de costo adecuados. Así, desde el punto de vista económico puede no ser necesario que un camino de poco tránsito tenga una superficie perfectamente uniforme, ya que una simplemente aceptable puede ser la mas adecuada.

Es necesario conocer la condición en que se encuentra el pavimento para establecer un programa de mantenimiento adecuado a las condiciones de tránsito y estructurales existentes. Es posible que al realizar la evaluación superficial del pavimento se llegue a la conclusión de que es necesario reforzar la estructura, o bien tenerse el caso en que aparentemente no se requiera una reparación, pero que una vez hecha la revisión de la estructura resulte que esta necesita ser reforzada.

Por ello debe distinguirse de manera clara la diferencia entre la evaluación superficial y la estructural, a la cual nos referiremos mas adelante. La primera consiste en calificar, ya sea por medio de observación visual directa o por medio de aparatos, el estado que presenta la superficie de rodamiento, en cambio la segunda consiste en conocer la respuesta estructural del pavimento ante la aplicación de cargas. Es importante hacer notar que ambas se complementan, sin



embargo, generalmente si al realizar la primera se considera que el estado superficial es satisfactorio la segunda no se lleva a cabo para ahorrar recursos, aunque el no hacerlo pueda ser la causa de falta de oportunidad en las acciones de conservación.

El procedimiento mas común para evaluar superficialmente un pavimento ha consistido en calificar el estado de la superficie de rodamiento durante recorridos periódicos por parte del encargado de la conservación de la vía terrestre en base a apreciación visual, de acuerdo a su experiencia. La decisión del procedimiento de mantenimiento a aplicar se toma de acuerdo al criterio de dicho encargado. Como puede observarse esta calificación es totalmente subjetiva y la opinión en cuanto a la severidad del deterioro y la manera de corregirlo puede variar de una persona a otra, además de ello al ser el mismo encargado el que califica la conservación se generan distorsiones en esa evaluación.

Otro procedimiento común para evaluar superficialmente a un pavimento consiste en determinar el Índice de Servicio Actual(I.S.A.), el cual está basado en el concepto de correlacionar la opinión de los usuarios con mediciones de las deformaciones, agrietamientos, formación de baches, etc. El Índice de Servicio Actual se genera por la calificación que dan al pavimento un grupo de individuos, los cuales recorren el camino asignando valores que midan el estado superficial de acuerdo a una escala de 0 a 5, donde una calificación de 0 corresponde a un camino intransitable, entre 0 y 1 muy malo, de 1 a 2 malo, de 2 a 3 regular, de 3 a 4 bueno, entre 4 y 5 muy bueno y el 5 correspondería a una superficie perfecta. Además se requiere que en la hoja de reporte los evaluadores incluyan los factores que influyeron en su calificación. En la figura V.1 se puede observar el

tipo de forma de reporte recomendado por la AASHTO (American Association of Highway Officials). En la figura V.2 se incluye una de las formas usadas en la práctica Mexicana.

El I.S.A. tiene varios usos entre los cuales el primero es el permitir el calificar a los pavimentos con una base común, así el saber que un pavimento tiene un I.S.A. de 3.0 permite a los ingenieros formarse una idea clara de su estado, sin importar su localización; como segundo uso podemos mencionar que permite una priorización racional de los trabajos de conservación; tercero, pueden establecerse relaciones entre mediciones objetivas del pavimento y la apreciación subjetiva de los evaluadores; un cuarto uso es que haciendo determinaciones periódicas puede observarse la evolución del comportamiento del pavimento con el tiempo.

Se puede decir que la opinión de un usuario está influida sobre todo por las deformaciones existentes. La medición de las deformaciones de un pavimento puede ser útil desde dos puntos de vista, para determinar si la superficie es aceptablemente uniforme para el tránsito existente y como factor de correlación que indica la falla de una o más de las capas que componen al pavimento. En estudios efectuados en los Estados Unidos se determinó que las deformaciones longitudinales son el factor que más influye en la percepción que el usuario tiene de los pavimentos, es por ello que la mayor parte de los esfuerzos para desarrollar aparatos que permitan medir el estado superficial de los pavimentos se han encaminado a este concepto. Un equipo de medición debe cumplir con tres características principales: 1) ser capaz de hacer un número considerable de mediciones en tiempos cortos; 2) ser resistente y capaz de ser utilizado en

control de la construcción; 3) ser capaz de medir tanto las deformaciones abruptas como las de gran longitud. En los párrafos siguientes se describirán brevemente algunos de los dispositivos de medición de deformaciones disponibles.

Perfilómetro de Plano Horizontal Fijo.- Ha sido utilizado en algunos países para control de calidad, el principio con el que trabaja se muestra esquemáticamente en la figura V.3. Dadas sus características no detecta deformaciones suaves de longitud mayor a él, sin embargo detecta con exactitud las deformaciones cortas.

Perfilógrafo de Ruedas Múltiples.- En la figura V.4 se puede observar el esquema que lo representa, es posible adaptarlo a un vehículo logrando con ello avances aceptables, el chasis del vehículo es utilizado como plano de referencia y se utilizan dispositivos de medición electrónicos para obtener lecturas continuas.

Perfilógrafo de Pendiente.- Mostrado en la figura V.5, este dispositivo opera referido a un plano horizontal imaginario fijo el cual es establecido en base a un péndulo. Cuenta con dos ruedas pequeñas en el extremo, las cuales detectan y miden las deformaciones menores alimentando electrónicamente al sistema principal de medición, las deformaciones mayores son detectadas por el movimiento del péndulo. Opera a una velocidad entre 5 y 8 k.p.h.

Perfilómetro GMR.- Desarrollado por la General Motors opera con una serie de acelerómetros como se observa en la figura V.6, es un dispositivo de alta

velocidad ya que puede operarse entre 55 y 70 k.p.h. y mide las deformaciones mediante la rueda pequeña que se encuentra al centro del vehículo de prueba.

Rugómetro.- Es un dispositivo que se supone se mantiene en un mismo plano al ser remolcado debido a su propia inercia; los cambios en la elevación son detectados mediante una rueda flotante unida mediante resortes a un marco metálico (figura V.7). Los valores obtenidos son relativos, por lo que es necesario correlacionarlos con el comportamiento de una superficie conocida. Es operado a una velocidad de 45 k.p.h. aproximadamente.

Actualmente se encuentra en etapa de desarrollo un equipo de evaluación integral, el cual contiene un sistema de videograbación, el cual filma la superficie del pavimento mientras se circula sobre el camino, para posteriormente mediante un programa de cómputo, digitalizar la información y así obtener el I.S.A., adicionalmente mide con equipo gravimétrico los espesores y densidades de las capas que componen el pavimento y puede por medio de otro dispositivo valuar su respuesta estructural, todos estos datos son almacenados en una computadora personal ubicada a bordo.

Es conveniente mencionar que en México se cuenta con muy poca experiencia en la utilización de los equipos de medición de deformaciones, por lo general los estudios de evaluación superficial de pavimentos se basan en la determinación del I.S.A. por un equipo de 2 a 4 evaluadores, como se mencionó esta determinación se hace anualmente en la red federal, para ser utilizada como herramienta en la planeación de los programas de conservación.

## VI.- EVALUACION ESTRUCTURAL

Una vez efectuada la evaluación superficial es necesario continuar con la siguiente etapa, la evaluación estructural. En general podemos decir que existen dos grupos de métodos para evaluar la respuesta estructural de un pavimento.

El primero de ellos agrupa a los métodos que se basan en obtener el diseño de espesores por medio de cualquiera de los métodos conocidos para una vida útil determinada y comparar los resultados obtenidos con la estructuración existente, la cual se conoce por medio de sondeos. El efecto de la fatiga de los materiales existentes se valúa por medio de factores de reducción del espesor de acuerdo a rangos que cada método recomienda y/o en base a la experiencia del evaluador. Como puede suponerse se trata de un análisis impreciso, sobre todo en el caso de no poderse efectuar pruebas de campo.

El segundo grupo es el que se basa en la medición de deformaciones elásticas(deflexiones) en el pavimento al aplicarle una carga determinada. El propósito principal de la medición de deflexiones es el de obtener datos acerca de las propiedades de esfuerzo-deformación del pavimento. Existen varios factores que afectan la magnitud de la deflexión de un pavimento al aplicarse carga, como pueden ser la temperatura, el contenido de agua de las capas del pavimento y la rigidez relativa del pavimento, sobre todo entre las capas superiores. Existen dos dispositivos para determinar las deflexiones de un pavimento. El Dynaflect y la Viga Benkelman.

El Dynaflect, mostrado en la figura VI.-1, opera aplicando una carga vibratoria al pavimento por medio de dos pequeñas ruedas metálicas, además cuenta con cinco geófonos los cuales se colocan a distancias prefijadas del sitio de aplicación de la carga; con estos geófonos, siguiendo el mismo principio de un estudio geosísmico, se miden las velocidades de propagación de la onda a través del pavimento, obteniendo mediante la interpretación adecuada de resultados, las diferencias de respuesta de las distintas capas que componen la estructura. Sin embargo, se han establecido correlaciones con las deflexiones obtenidas con Viga Benkelman dado que los métodos de diseño de refuerzo de pavimentos se basan en estas para calcular los espesores de refuerzo requeridos. Cabe mencionar que los dispositivos Dynaflect son escasos en nuestro país, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes cuenta con uno en la Dirección General de Proyectos, Servicios Técnicos y Concesiones y el Instituto Mexicano del Transporte tiene otro .

La figura VI.2 muestra un esquema de la Viga Benkelman. El señalador ubicado en el extremo A se coloca entre las ruedas duales del eje trasero de un camión de dos ejes (C2), el cual ha sido lastrado para aplicar una carga cuya magnitud esta especificada de acuerdo al método de cálculo de espesores de refuerzo que se vaya a utilizar. En el micrómetro F se toma una primera lectura, al retirase la carga se toma una segunda lectura, la diferencia entre ambas lecturas es la deflexión, esto es, la deformación elástica que sufre el pavimento al aplicársele esa carga.

Conviene aclarar que esta deflexión debe ser corregida por un factor que toma en cuenta la temperatura de la carpeta, en la figura VI.3 se muestra la

gráfica presentada por el Instituto del Asfalto de los Estados Unidos para obtener el factor de corrección por dicha temperatura. Así mismo debe tenerse cuidado en considerar la proporcionalidad entre los brazos de palanca en caso que el micrómetro no haya sido calibrado previamente para ello.

Las deflexiones que se miden son las producidas bajo el eje trasero con ruedas tándem de una camión de dos ejes lastrado de manera que el eje mencionado transmita al pavimento una carga de 8.2 toneladas, de acuerdo al método del Instituto del Asfalto. Debe zonificarse el camino en tramos de similares características, determinados conforme a la evaluación superficial, de estos tramos se elegirán subtramos representativos, de 600 m de longitud, de preferencia en tangente, por cuestión de seguridad de los operarios.

Con las deflexiones obtenidas de cada subtramo se obtiene la deflexión característica, la cual es representativa de todo el tramo y se calcula con la siguiente expresión:

$$d_c = (x + 2s) f$$

x es la media aritmética de las deflexiones del subtramo

s es la desviación estándar de esos mismos valores

f es el factor de corrección por temperatura

De la gráfica mostrada en la figura VI.3. entrando con la deflexión característica y el tránsito acumulado calculado para la vida útil, se determina el espesor de concreto asfáltico que el pavimento requiere como refuerzo, obviamente, si el espesor de refuerzo necesario es 0 el pavimento es estructuralmente suficiente.

La viga Benkelman es el dispositivo de uso mas común en nuestro país, actualmente la S.C.T. cuenta al menos con uno de estos aparatos en casi todos los Estados de la República, por lo mismo se cuenta ya con experiencia de consideración en cuanto a su aplicación.

Al efectuar la evaluación estructural de un pavimento es conveniente contar con datos de los materiales que componen las distintas capas del pavimento. Para ello debe principiarse por investigar si existen los archivos de control de calidad de la construcción así como de trabajos de conservación anteriores y si es posible obtener información práctica de ellos. Generalmente esto no es posible, sobre todo en el caso de obras antiguas, por lo que regularmente es necesario programar sondeos para obtener estos datos.

La programación de dichos sondeos debe ser objeto de un análisis muy cuidadoso, de tal manera que se hagan los suficientes para obtener la información necesaria, pero sin excesos ya que debe tenerse en cuenta que la realización de ellos implica costos muy altos, ya que involucran no solo el gasto directo de realizarlos sino molestias y pérdidas de tiempo, combustibles, desgaste de vehículo y riesgos adicionales para los usuarios.



En algunos países desarrollados omitea la exploración directa, ya que por lo general las capas inferiores de los pavimentos fueron construidas con materiales de buena calidad, por lo tanto son resistentes y la rehabilitación puede efectuarse de manera adecuada mediante la construcción de sobrecarpetas. No es el caso en México, donde la mayoría de las fallas de los pavimentos se producen en las capas inferiores, sobre todo en las regiones de clima húmedo, por lo que en la práctica Nacional se sigue considerando prácticamente indispensable la realización de pozos a cielo abierto.

## VII.- PROPUESTAS DE REHABILITACION

Para hacer mas objetivo este trabajo se empleará en este capitulo un ejemplo práctico consistente en el estudio de evaluación del pavimento existente en la carretera Matehuala - Saltillo, en el tramo comprendido entre el km 20+000 y el km 65+000.

Esta carretera forma parte de los ejes México-Nuevo Laredo y México-Reynosa por los cuales transita la mayor parte de la carga generada por el intercambio comercial entre nuestro país y los Estados Unidos. El tramo en estudio se encuentra ubicado al sur del estado de Nuevo León, tiene una orientación general Norte-Sur. Se localiza en una zona sensiblemente plana con clima seco, caluroso medio, con oscilaciones térmicas notorias y temperatura media anual superior a los 18°C.

Superficialmente se aprecian suelos de tipo areno-limoso, de media a baja compresibilidad, alta compacidad, de características físicas adecuadas para su empleo en la formación de terracerías. La carretera tiene trazo por lo general recto, corona de 11.2 m de ancho, constituida por dos carriles de circulación de 3.6 m y acotamientos de 2.0 m, con terraplenes de 1.00 m de altura predominantemente, formados con material obtenido de préstamos laterales.

De acuerdo a los datos viales disponibles el Tránsito Diario Promedio Anual del tramo es de 7177 vehiculos en ambos sentidos de circulación, con tasa de crecimiento del 4% y la composición vehicular que se muestra a continuación:

TIPO DE VEHICULO	PORCENTAJE
A	37%
B	2%
C2	6%
C3	8%
T3-S2	27%
T3-S3	20%

Durante la evaluación superficial del tramo se obtuvo un I.S.A. promedio de 2.0, observándose que la falla predominante son los agrietamientos de tipo piel de cocodrilo, también se detectó la presencia de roderas, desprendimientos de carpeta, calavereos y algunos baches reparados. Es importante hacer notar que, salvo las zonas con roderas, no se observaron deformaciones longitudinales o transversales de consideración.

Para conocer la estructura actual del pavimento se realizaron cuatro sondeos a ciclo abierto en los cuales se encontró que el pavimento está compuesto

por una carpeta asfáltica, elaborada por el sistema de mezcla en el lugar, con un espesor promedio de 6.2 cm, bajo esta se encuentra una base hidráulica formada con gravas arcillosas (GC), con espesor promedio de 11.3 cm, existe también una capa de sub-base formada con un material similar al de la capa anterior y espesor promedio de 16 cm. La capa subrasante tiene un espesor medio de 34 cm y está formada con material de la zona, ya descrito. Las características físicas de los materiales pétreos son adecuadas para la capa que componen, como puede verse en el resumen mostrado en la figura VII.1. Es importante señalar que los contenidos de agua del lugar fueron inferiores a los óptimos de compactación.

Se midieron deflexiones con viga Benkelman en cuatro subtramos, dichas deflexiones se muestran en las figuras VII.2, VII.3, VII.4 y VII.5. Con estos datos, los de tránsito y empleando el método del Instituto del Asfalto se calculó que el espesor de refuerzo requerido en el tramo es de 11 cm de concreto asfáltico.

Como se ha mencionado para dar recomendaciones de rehabilitación es importante analizar globalmente todo el proceso de evaluación, en este caso si se recomendará la reconstrucción colocando una sobrecarpeta en base solamente a los resultados obtenidos con la viga Benkelman, se correría el riesgo de que los agrietamientos existentes se reflejen en la nueva superficie de rodamiento, en un tiempo mucho menor a la vida útil considerada para el cálculo.

Para evitar la reflexión de grietas y considerando que los materiales pétreos que forman actualmente al pavimento son de calidad aceptable, se propusieron dos alternativas de rehabilitación. La primera consiste en

escarificar el pavimento existente en un espesor de 15 cm, disgregando y homogeneizando el material para posteriormente recompactarlo. Con esto se lograría una capa uniforme, libre de agrietamientos, sobre la cual se puede apoyar sin problemas la carpeta de refuerzo del espesor calculado. La segunda alternativa consiste en la colocación de una capa reniveladora de concreto asfáltico con un espesor promedio mínimo, a fin de eliminar las depresiones existentes (principalmente roderas, como ya se mencionó). Sobre ella debe colocarse un geotextil, cuyo objeto principal será el de resistir las tensiones generadas por los agrietamientos de la superficie actual, sobre este se construye la carpeta de concreto asfáltico del espesor calculado. Aquí cabe mencionar que el espesor de refuerzo requerido puede disminuirse por la presencia del geotextil, esta disminución se calcula mediante un factor de reducción de los ejes equivalentes. El procedimiento de calculo lo describe el Ing. M. Zárate Aquino en el artículo "Utilización de Geosintéticos Como Refuerzo de Pavimentos" publicado por la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.

## VIII.- CONCLUSIONES

En resumen puede decirse que un estudio de evaluación de pavimentos debe cumplir, a grandes rasgos, con las siguientes etapas: 1) Recopilación de datos de tránsito, geología, clima, control de calidad, etc.; 2) Evaluación superficial; 3) Evaluación estructural incluyendo exploración directa; 4) Cálculo de la capacidad estructural y, en su caso, del refuerzo requerido; 5) Propuesta de alternativas de rehabilitación.

Al efectuar un estudio de evaluación de pavimentos es muy importante analizar todas las variables que influyen en su comportamiento, a fin de establecer, de la manera más precisa posible la causa de que se haya presentado la falla, de tal forma que la solución propuesta sea la adecuada.

Esto es, aun cuando el conocer la respuesta estructural medida con la viga Benkelman es de primordial importancia, el tratar de solucionar todos los casos mediante la colocación de sobrecarpetas de refuerzo puede llevar a resultados desfavorables.

Por ejemplo, si la falla que presenta el pavimento es por deformaciones provocadas por la falla de la capa subrasante construida con arcillas de alta compresibilidad, cuya resistencia al corte ha disminuido por incrementos en su contenido de agua, el colocar una sobrecarga en la forma de una sobrecarpeta resultará contraproducente. La solución de un problema de este tipo debe contemplar, en primera instancia la construcción de un adecuado sistema de

drenaje que minimice las variaciones en el contenido de agua de la subrasante. Posteriormente puede estudiarse una reestructuración adecuada del pavimento de manera que los esfuerzos transmitidos a esa capa sean acordes a su resistencia.

Puede decirse que la variable que mas afecta el comportamiento de un pavimento es la calidad de los materiales que lo constituyen, por lo mismo, este es el primer factor que debe analizarse. Dada la flexibilidad de las Normas de Materiales para Pavimentación el evaluador debe considerar, cuando la importancia del camino lo justifique, la utilización de materiales de mejor calidad, con especificaciones de proyecto mas rígidas, de manera que el pavimento reconstruido este preparado para resistir las sollicitaciones del tránsito, sobre todo tomando en cuenta que en la época en que las Normas vigentes fueron generadas las cargas que transportaban los vehiculos eran mucho menores.

Es muy importante que la persona que elabora un proyecto de rehabilitación de pavimentos se retroalimente visitando la obra durante la construcción y también una vez que ha sido puesta en operación. Dada la subjetividad de los métodos de evaluación la experiencia del proyectista es un elemento muy valioso, pero esta experiencia no solo se adquiere haciendo un gran número de estudios, sino observando su comportamiento durante su vida útil, cuestionando de manera objetiva la eficacia de las soluciones adoptadas.

Otro punto en que el evaluador debe estar atento es en proponer soluciones factibles de llevar a la práctica, por ello debe estar atento a las innovaciones en cuanto al equipo de construcción, ya que al modernizarse este permite proponer soluciones que anteriormente eran difíciles de implementar.

Es deseable que un pavimento en servicio sea monitoreado con regularidad, con evaluaciones periódicas, tanto superficiales como estructurales, aprovechando la facilidad de operación de los equipos que miden deflexiones, a fin de aplicar las medidas correctivas en el pavimento antes de que se presenten fallas de magnitud tal que impidan que cumpla adecuadamente con su función. Los sistemas de administración de pavimentos, actualmente de uso común en otros países, contemplan este monitoreo, lo cual aunado a un programa de cómputo que incluye un banco de datos que contiene información de calidad de los materiales que componen al pavimento, bancos en la zona, volúmenes y composición del tránsito, etc., y que además incluye el cálculo de espesores de refuerzo, son una poderosa herramienta para decidir oportunamente los programas de conservación de una red de carreteras. El Instituto Mexicano del Transporte está desarrollando un Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos para la S.C.T.



## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Yoder, E.J.. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN. John Wiley & Sons.
- 2.- Rico, A. y Del Castillo, H.. LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES. Limusa.
- 3.- Téllez, R.. CATALOGO DE DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE CARRETERAS MEXICANAS. Instituto Mexicano del Transporte.
- 4.- Rico, A., Orozco, J.M., Téllez, R., Pérez, A.. MANUAL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES EN SECCIONES ESTRUCTURALES DE PAVIMENTOS CARRETEROS. Instituto Mexicano del Transporte.
- 5.- MEMORIAS DEL SEMINARIO INTERNACIONAL DE PAVIMENTOS. Agosto 1991. Instituto Mexicano del Transporte.
- 6.- Corro, S., Magallanes, R., Prado, G.. INSTRUCTIVO PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA CARRETERAS. Instituto de Ingeniería, U.N.A.M..
- 7.- NORMAS PARA CALIFICAR EL ESTADO FISICO DE UN CAMINO. S.C.T.
- 8.- NORMAS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES. S.C.T.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero hacer patente mi más sincero reconocimiento a algunas de las personas que de muy diversas maneras han colaborado en mi formación y en la realización de este trabajo.

A mis padres que con cariño y paciencia me impulsaron a continuar.

A mi esposa y mis hijos que con su amor me empujaron a seguir.

A mis hermanos, mis abuelos, mis tíos Augusto, Irene, Esther y Trinidad.

Al Sr. Ing. Luis Candelas Ramírez por su valiosísima asesoría.

A mis maestros en las Facultades de Ingeniería de la U.N.A.M. y la U.A.CH.

A mis jefes y compañeros en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y en la Junta Local de Caminos del Estado de Veracruz, que a través del trabajo cotidiano han permitido el formar las opiniones incluidas en este trabajo.

Gracias de todo corazón.

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

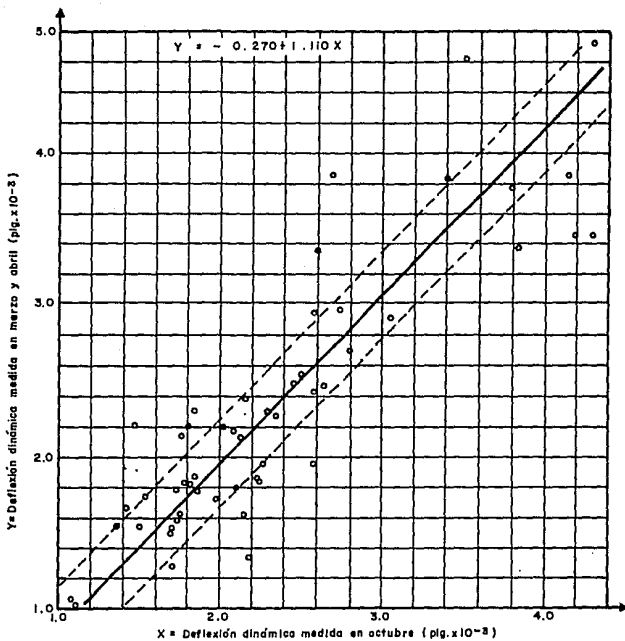


Figura II.1 Correlación entre dos series de mediciones con equipo Dynoflect en 32 secciones seleccionadas en carreteras de México.

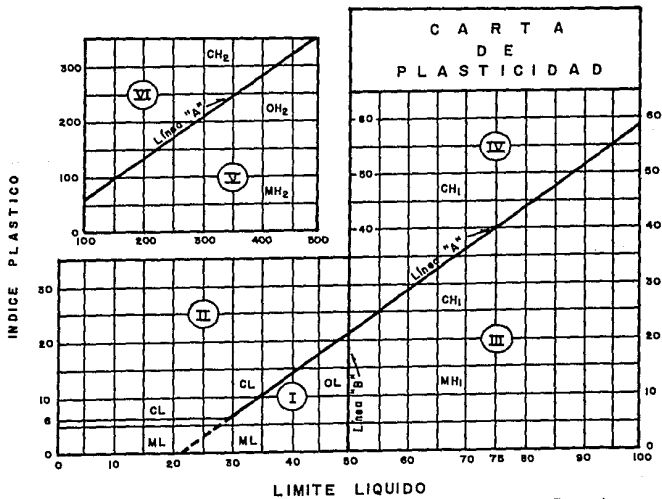


Figura II.2 Carta de plasticidad tal como se usa en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

# SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (VERSION S.C.T.)

CRITERIO DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO		SIMBO- LOS DEL GRUPO	
<b>SUELOS DE PARTICULAS GRISESAS</b> MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL EN RETENIDO DE LA MALLA #200 (USE LA CURVA GRUOMETRICA PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO)	<b>ARENAS</b> MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRISEA PARA LA MALLA #60 (USE LA CURVA GRUOMETRICA PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO)	GW GP GM GC	
	<b>ARENAS CON FINOS</b> (ARENAS CON FINOS COMO OPERACIONES DE 40 PART. FINAS.)	SW SP	
	<b>ARCILLAS</b> MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRISEA PARA LA MALLA #4 (USE LA CURVA GRUOMETRICA PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO)	SM SC	
	<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50	ML CL	
	<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50	OL MH CH OH	
	<b>SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS</b>	Pt	
	<b>EQUIVALENCIA DE SIMBOLOS</b> G: grava; M: limo; O: suelos organicos; W: bien graduados; L: bajo compresibilidad; S: arena; C: arcilla; P: turba; B: mal graduado; H: alta compresibilidad.		
	<b>COMPARANDO SUELOS A IGUAL LIMITE LIQUIDO, LA TENACIDAD Y LA RESISTENCIA EN ESTADO SECO AUMENTAN CON EL INDICE PLASTICO</b>		
	<b>CARTA DE PLASTICIDAD PARA CLASIFICACION DE SUELOS DE PARTICULAS FINAS EN EL LABORATORIO</b>		

† TODOS LOS TAMAÑOS DE LAS MALLAS EN ESTA CARTA SON LOS US. STANDARD.

PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO (Excluyendo los particulos mayores de 7.6 cm. [3"] y basando las fracciones en pesos estimados)				SIMBOLOS DEL GRUPO (X)	NOMBRES TIPO		
<b>SUELOS DE PARTICULAS GRISESAS</b> Más de la mitad del material en retenido en la malla #200 (†)	<b>GRAVAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa en retenido en la malla #4. Pese clasificación visual sobre arena 1/2 cm. como equivalentes a la abertura de la malla #4.	<b>GRAVAS LIMPIAS</b> (Cantidad de arena que pasa a través de 40 part. finas.)	GW GP	GRAMAS BIEN GRADUADAS, MEZ Y ARENA CON POCO O NADA INTERMEDIOS. PREDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑOS CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS.	GW GP		
	<b>ARENAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa en retenido en la malla #4. Pese clasificación visual sobre arena 1/2 cm. como equivalentes a la abertura de la malla #4.	<b>ARENAS CON FINOS</b> (Cantidad de arena que pasa a través de 40 part. finas.)	SW SP	GM GC	GRAMAS MAL GRADUADAS, MEZ Y ARENA CON POCO O NADA INTERMEDIOS. FRACCION FINA POCO O NADA PLASTICA (PARA IDENTIFICACION VEASE GRUPO ML ABAJO.) FRACCION FINA PLASTICA (PARA IDENTIFICACION VEASE GRUPO CL ABAJO.)	GM GC	
<b>SUELOS DE PARTICULAS FINAS</b> Más de la mitad del material pasa la malla #200 (Las particulas de 0.075 mm. de diametro [media #200] son aproximadamente las mas pequenas visibles a simple vista)	<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50	<b>RESISTENCIA EN EST. SECO</b> (RESISTENCIA EN EST. SECO, SI COMPACTADO)	<b>DILATACION</b> REACCION AL AGUADO	<b>TENACIDAD</b> (CONSISTENCIA CUANDO DEL LIMITE PLASTICO)	ML CL OL	LIMOS INORGANICOS, POLVO DE RO INORGANICOS O ARCILLOSOS LIGERAMENTE. ARCILLAS INORGANICAS DE BAJA TENCIDAD, ARCILLAS CON GRAMA, PASAS, ARCILLAS LIMOSAS, ARCILLAS.	ML CL OL
	<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50	NULA A LIGERA MEDIA A ALTA LIGERA A MEDIA LIGERA A MEDIA	RAPIDA A LENTA NULA A MUY LENTA LENTA LENTA A NULA	NULA MEDIA LIGERA LIGERA A MEDIA	NULA MEDIA LIGERA LIGERA A MEDIA	MH CH OH	LIMOS INORGANICOS, LIMOS MICACEOS, LIMOS ELASTICOS. ARCILLAS INORGANICAS DE ALTA TENCIDAD, ARCILLAS FRANCAS. ARCILLAS ORGANICAS DE MEDIA A ALTA TENCIDAD, LIMOS ORGANICOS DE MEDIA A ALTA TENCIDAD.
<b>SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS</b>	FACILMENTE IDENTIFICABLES POR COLOR O POR TENCIDAD DE LOS SUELOS. Y FRECUENTEMENTE POR SU TEXTURA FIBROSA.			Pt	TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS	Pt	

X CLASIFICACIONES DE FRONTERA-- Los suelos que posean las caracteristicas de dos grupos se designan con la combinacion de los simbolos: Ejemplo: GWG.  
 † TODOS LOS TAMAÑOS DE LAS MALLAS EN ESTA CARTA SON LOS US. STANDARD.

Figure 1.3

# CLASIFICACION DE SUELOS

(C.T.)

EN EL CAMPO (Fracciones en pesos estimadas)		SÍMBOLOS DEL GRUPO (X)	NOMBRES TÍPICOS	INFORMACION NECESARIA PARA LA DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS	PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION PARA SUELOS FINOS O FRACCIONES FINAS DE SUELO EN EL CAMPO
LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS APRECIABLES DE TODOS LOS TA- MAÑOS.		GW	GRAVAS BIEN GRADUADAS, MEZCLAS DE GRAVA Y ARENA CON POCO O NADA DE FINOS.	Dése el nombre típico, indiquense los porcenta- jes aproximados de grava y arena, tamaño má- ximo, angulosidad, características de la superficie y dureza de las partículas gruesas, nombre local y geológico, cualquier otra información des- criptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis.	Estos procedimientos se ejecutan con la fracción que pase por la malla Nº 40 (aproximadamente 0.5 mm). Para fines de clasificación en el campo, si no se usa la malla, simplemente se quitan o meno las partículas gruesas que obstruyan o dificulten las pruebas.
UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMA- ÑA DE ALCUNOS TAMAÑOS INTER- MEDIOS.		GP	GRAVAS MAL GRADUADAS, MEZCLAS DE GRAVA Y ARENA CON POCO O NADA DE FINOS.		
POCO O NADA PLÁSTICA (PARA VEASE GRUPO ML ABAJO.)		GM	GRAVAS LIMOSAS, MEZCLAS DE GRAVA, ARENA Y LIMO.		
PLÁSTICA (PARA IDENTIFICACION DEL ABAJO.)		GC	GRAVAS ARCILLOSAS, MEZCLAS DE GRAVA ARENA Y ARCILLA.	Para los suelos inalterados agreguese información sobre estratificación, compacidad, cementación, condiciones de humedad y característicos de drenaje. Ejemplo: Arena limosa, con grava, como un 20% de grava de partículas duras angulosas y de 15 cm. de tamaño máximo, arena gruesa o fina de particu- las redondeadas o subangulosas, alrededor de 15 % de finas no plásticas de baja resistencia en seco, sa- co compacta y húmeda en el lugar, arena aluvial (SM).	<b>DILATANCIA</b> (Reacción al agitado)
LOS TAMAÑOS DE LAS PARTI- CULAS APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS.		SW	ARENAS BIEN GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA CON POCO O NADA DE FINOS.		Después de quitar los partículas mayores que la malla Nº 40, prepárese una pastilla de suelo húmedo de aproximadamente 10 cm <sup>3</sup> ; si es necesario, añádase suficiente agua para dejar el suelo suave, pero no pegajoso. Colóquese la pastilla en la palma de la mano y agítese horizontalmente, golpeando vigorosamente varias veces contra la otra mano. Una reacción posi- tiva consiste en la aparición de agua en la superficie de la pastilla, la cual cambia adquiriendo una apariencia de hígado y se vuelve lustroso. Cuando la pastilla se oprime entre los dedos, el agua y el lustre desaparecen de la super- ficie, la pastilla se vuelve lisa y finalmente se agrieta o se desmorona. La ra- pidez de la aparición del agua durante el agitado y de su desaparición durante la opresión sirve para identificar el carácter de los finos en un suelo.
TAMAÑO O UN TIPO DE TAMA- ÑA DE ALCUNOS TAMAÑOS IN- TERMEDIOS.		SP	ARENAS MAL GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA CON POCO O NADA DE FINOS.		
POCO O NADA PLÁSTICA (PARA VEASE GRUPO ML ABAJO.)		SM	ARENAS LIMOSAS, MEZCLAS DE ARENA Y LIMO.		
PLÁSTICA (PARA IDENTIFICACION DEL ABAJO.)		SC	ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS DE ARENA Y ARCILLA		<b>RESISTENCIA EN ESTADO SECO</b> (Característico al rompimiento)
LA REACCIÓN QUE PASA LA MALLA Nº 40					Después de eliminar las partículas mayores que la malla Nº 40, moldéese un cilindro de suelo de 2.5 cm. de diámetro por 2.5 cm de altura hasta alcan- zar una consistencia de masillo, añadiendo agua si es necesario. Déjese secar completamente la pastilla en un horno, al sol o al aire y pruébese su resisten- cia rompiéndola y desmoronándola entre los dedos. Esta resistencia es una medida del carácter y la cantidad de la fracción coloidal que contiene el suelo. La resistencia en estado seco aumenta con la plasticidad.
DILATANCIA REACCIÓN AL AGITADO	TENACIDAD (consistencia cerca del límite plástico)				<b>TENACIDAD</b> (Consistencia cerca del límite plástico)
RÁPIDA A LENTA	NULA	ML	LIMOS INORGANICOS, POLVO DE ROCA, LIMOS ARE- NOSOS O ARCILLOSOS LIGERAMENTE PLÁSTICOS.	Dése el nombre típico, indiquense el grado y carac- ter de la plasticidad, cantidad y tamaño máximo de las partículas gruesas, color del suelo húme- do, olor, nombre local y geológico; cualquier otra in- formación descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis.	
NULA A MUY LENTA	MEDIA	CL	ARCILLAS INORGANICAS DE BAJA A MEDIA PLAS- TICIDAD, ARCILLAS CON GRASA, ARCILLAS ARENO- SAS, ARCILLAS LIMOSAS, ARCILLAS POBRES.	Para los suelos inalterados agréguese informa- ción sobre la estructura, estratificación, consisten- cia tanto en estado inalterado como remoldado, condiciones de humedad y de drenaje. Ejemplo: Limo arcilloso, café, ligeramente plástico porcentaje reducido de arena fina; numerosos agujeros verticales de raíces, firme y seco en el lugar, loess (ML)	
LENTA	LIGERA	OL	LIMOS ORGANICOS Y ARCILLAS LIMOSAS ORGA- NICAS DE BAJA PLASTICIDAD.		Después de eliminar las partículas mayores que la malla Nº 40, moldéese un espécimen de aproximadamente 10 cm <sup>3</sup> hasta alcanzar la consistencia de masillo. Si el suelo está muy seco debe agregarse agua, pero si está pegajoso debe extenderse el espécimen formando una capa delgada que permita algo de pérdida de humedad por evaporación. Posteriormente el espécimen se rola a mano sobre una superficie lisa o entre las palmas, hasta hacer un rolito aproximadamente 3 mm. de diámetro; se amasa y se vuelve a rolar varias veces. Durante estas operaciones el contenido de agua se reduce gradualmente y el especimen llega a ponerse tieso, pierde finalmente su plasticidad y se desmor- ona cuando se alcanza el límite plástico. Después de que el rollo se ha desmor- onado, las pedruzcos deben juntarse y continuarse al amasado entre los dedos en forma ligera, hasta que la masa se desmorona nuevamente.
LENTA A NULA	LIGERA A MEDIA	MH	LIMOS INORGANICOS, LIMOS MICACEOS O DIATOMA- CEOS, LIMOS ELÁSTICOS.		
NULA	ALTA	CH	ARCILLAS INORGANICAS DE ALTA PLASTICIDAD ARCILLAS FRANCAS.		
NULA A MUY LENTA	LIGERA A MEDIA	OH	ARCILLAS ORGANICAS DE MEDIA A ALTA PLAS- TICIDAD, LIMOS ORGANICOS DE MEDIA PLASTICIDAD.		
IDENTIFICABLES POR COLOR O LOR OSCUROS Y FRECUENTEMENTE A FIBROSAS.		P <sub>t</sub>	TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS.		

Las características de dos grupos se designan con la combinación de los símbolos: Ejemplo GW-GC mezcla de grava y arena bien graduada con cementante arcilloso.

ARTA SON LOS US. STANDARD.

Figura II.3

VALORES DE CALIDAD DE MATERIALES PETREOS PARA PAVIMENTACION  
( NORMAS S.C.T. VIGENTES )

CARACTERISTICA	CARPETA	BASE	SUB-BASE
Granulometría	Fig.II.9	Zona 1,2,3, ( Fig. II.8)	Zona 1,2,3, (Fig. II.8)
Tamaño máximo (mm)	25.4	51.0	51.0
% De finos (<0.074 mm)	10 Máx.	25 Máx.	25 Máx.
Contracción Lineal (%)	2.0 Máx.	4.5 Máx.	6.0 Máx.
Límite líquido (%)	---	30 Máx.	---
V. R. S. (%)	---	80 Mín.	50 Mín.
Compactación (%)	---	95 Mín.	95 Mín.
Equivalente de Arena (%)	55 Mín.	30 Mín. *	20 Mín. *
Desgaste Los Angeles (%)	40 Máx.	---	---

\*Valores tentativos

Figura II.4.

VALORES DE CALIDAD PARA MATERIALES DE SUB-BASE Y  
REVESTIMIENTO

CARACTERISTICA	C DESEABLE	A L	I D	A D	R EVESTIMIENTO
	CALIDAD				
	DESEABLE			ADECUADA	REVESTIMIENTO
<b>GRANULOMETRIA:</b>					
Zona Granulométrica ( Figura II.8 )	1 - 2		1 - 3		1 - 3
Tamaño Máximo (mm)	51		51		76
% Finos (Mat. < 0.074 mm)	15 Máx.		25 Máx.		10 Mín. 20 Máx.
Límite Líquido (LL) ( % )	25 Máx.		30 Máx.		40 Máx.
Índice Plástico (IP) ( % )	6 Máx.		10 Máx.		15 Máx.
Compactación ( % ) (AASHTO Modif.)	100 Mín.		100 Mín.		95 Mín. AASHTO Est.
Equivalente Arena ( % )	40 Mín.		30 Mín.		-
V. R. S. ( % ) (Compact. dinámica) (1)	40 Mín.		30 Mín.		30 Mín.
Desgaste Los Angeles ( % )	40 Máx.		-		-

(1) Al Porcentaje de compactación indicado.  
Figura II.5

VALORES DE CALIDAD PARA MATERIALES DE BASE

CARACTERISTICA	C A L I D A D DESEABLE	D A D ADECUADA
Granulometría:		
Zona Granulométrica ( Figura II.8 )	1 - 2	1 - 3
Tamaño Máximo (mm)	38	51
Finos ( % ) ( Mat. < 0.074 mm)	10 Máx.	15 Máx.
Límite Líquido (LL %)	25 Máx.	30 Máx.
Índice Plástico (IP %)	6 Máx.	6 Máx.
Equivalente Arena ( % )	50 Mín.	40 Mín.
Compactación ( % ) (AASHTO Modif.)	100 Mín.	100 Mín.
V. R. S. ( % ) (Compact. dinámica) (1)	100 Mín.	80 Mín.
Desgaste Los Angeles ( % )	40 Máx.	40 Máx.

(1) Al porcentaje de compactación indicado

Figura II.6

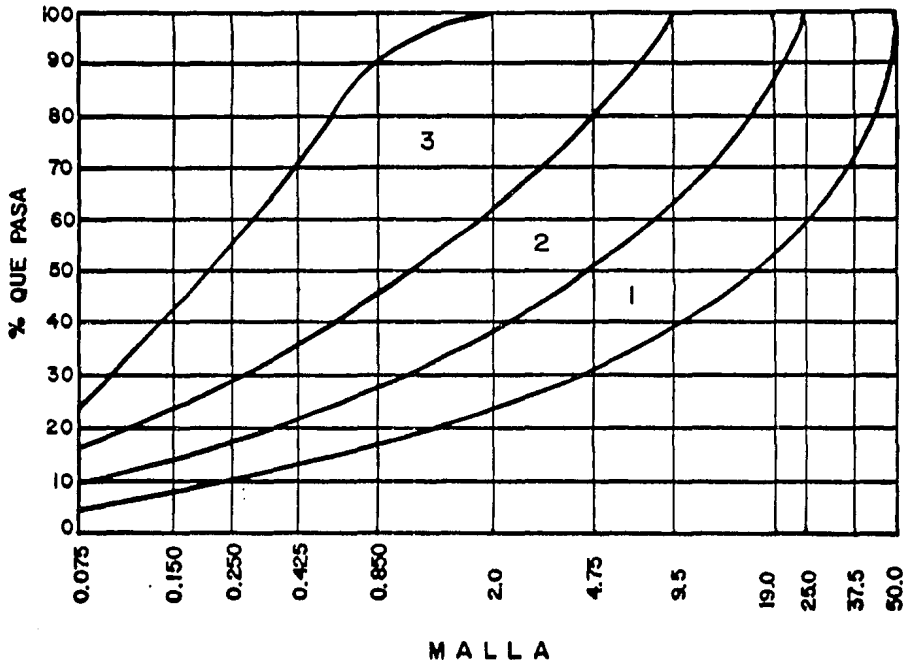


VALORES DE CALIDAD PARA MATERIALES PETREOS DE CARPETA ASFALTICA

CARACTERISTICA	C A L I D A D	
	DESEABLE	ADECUADA
GRANULOMETRIA:		
Zona Granulométrica	Figura II.9	
Tamaño Máximo (mm)	38	38
Finos ( % ) (Mat. < 0.074 mm)	0 - 4 Máx.	0 - 8 Máx.
Humedad Natural (W %)	0	1 Máx.
Indice Plástico (IP %)	0	5 Máx.
Equivalente Arena ( % )	60 Mín.	55 Mín.
Desgaste Los Angeles ( % )	30 Máx.	40 Máx.
Partículas Alargadas ( % )	25 Máx.	50 Máx.

Figura II.7.

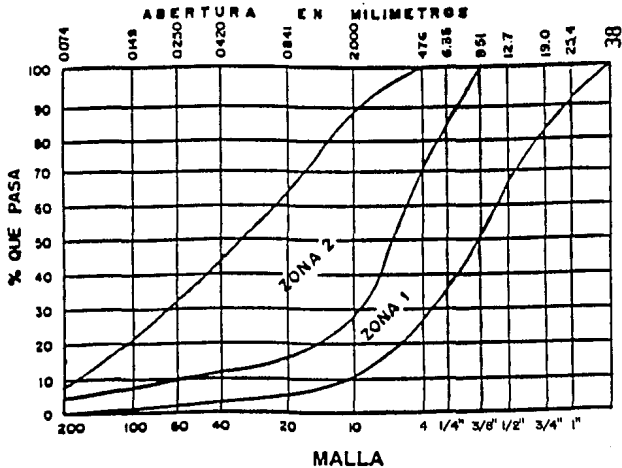
### GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



ZONAS GRANULOMETRICAS CONTEMPLADAS  
POR LAS NORMAS S. C. T.

FIGURA II. 8

**ZONAS GRANULOMETRICAS RECOMENDABLES PARA  
MATERIALES PETREOS QUE SE EMPLEAN EN  
MEZCLAS ASFALTICAS EN EL LUGAR**



**ZONA GRANULOMETRICA RECOMENDABLE PARA  
MATERIALES PETREOS QUE SE EMPLEAN EN  
CONCRETOS ASFALTICOS**

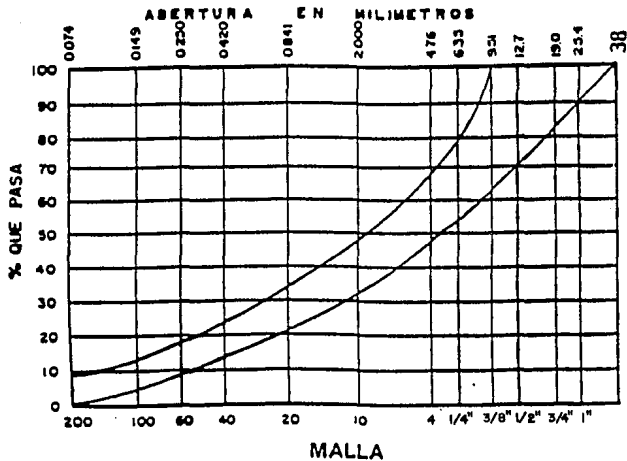


FIGURA II. 9

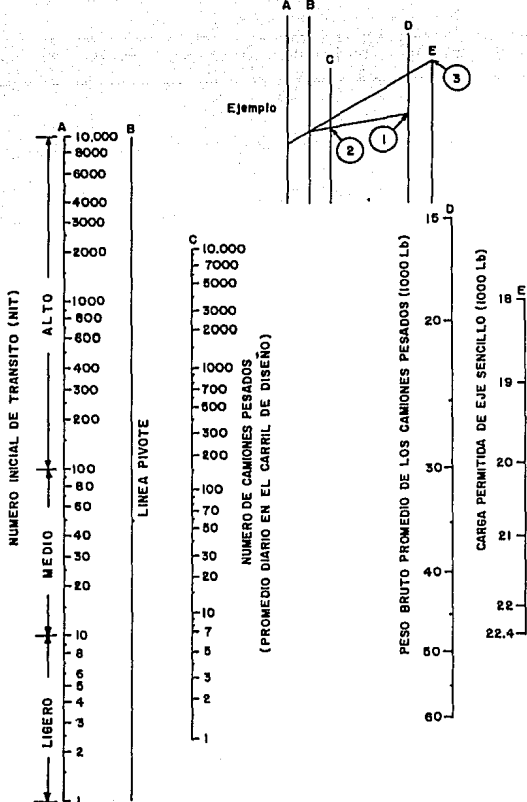
CARRETERA: \_\_\_\_\_

TRAMO: \_\_\_\_\_

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

TIPO DE VEHICULO	COMPOSICION DEL TRANSITO <b>(1)</b>	COEFICIENTE DE DISTRIBUCION DE VEHICULOS CARGADOS O VACIOS <b>(2)</b>		COMPOSICION DEL TRANSITO CARGADOS O VACIOS <b>(3) x (1) x (2)</b>	COEFICIENTES DE DAÑO		NUMERO DE EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 8.2 ton.	
		CARGADOS	VACIOS		CARPETA Y BASE Z= _____ <b>(4)</b>	SUB-BASE Y TERRACERIAS Z= _____ <b>(5)</b>	CARPETA Y BASE <b>(6) = (3) x (4)</b>	SUB-BASE Y TERRACERIAS <b>(7) = (3) x (5)</b>
		CARGADOS						
		VACIOS						
		CARGADOS						
		VACIOS						
		CARGADOS						
		VACIOS						
		CARGADOS						
		VACIOS						
		CARGADOS						
		VACIOS						
		CARGADOS						
		VACIOS						
<b>SUMAS</b>	1.000	_____		1.000	EJES EQUIVALENTES PARA TRANSITO UNITARIO <b>(8)</b>			
COEFICIENTE DE ACUMULACION DEL TRANSITO, $C_T = \left[ \frac{(1+tr)^n - 1}{r} \right] 365$ n = AÑOS DE SERVICIO = _____ T = TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DEL TRANSITO = _____ % TDPA = TRANSITO DIARIO MEDIO ANUAL = _____ CD CARRIL PROYECTO = _____					TDPA INICIAL EN EL CARRIL DE PROYECTO <b>(9)</b>			
					$C_T$ <b>(10)</b>			
					$\Sigma L$ <b>(11) = (8) x (9) x (10)</b>			

Fig. III.1 Cálculo del tránsito equivalente acumulado ( $\Sigma L$ ) Instituto de Ingeniería U.N.A.M.



\* EL VALOR DEL NIT PUEDE REQUERIR CORRECCION DONDE EL NUMERO DE VEHICULOS LIBEROS SEA RELATIVAMENTE ALTO.

SOLUCION NOMOGRAFICA DEL INSTITUTO DEL ASFALTO PARA EL EAL.

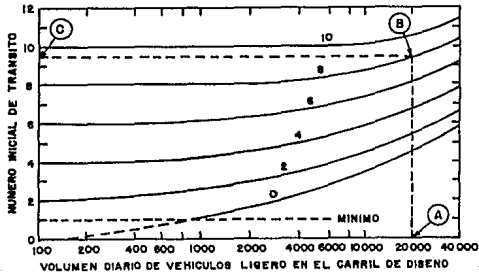


FIG. III. 2 FACTOR DE AJUSTE DEL NIT.

SECCION No.		CARRETERA No.		
TIPO DE PAVIMENTO	VEHICULO	FECHA	A.M. P.M.	EVALUADOR

5  
MUY BUENO  
4  
BUENO  
3  
REGULAR  
2  
MALO  
1  
MUY MALO  
0

ACEPTABLE	
SI	
NO	
DUDOSO	

INFLUENCIA EN EL I.S.A.

DISTORSION LONGITUDINAL				
DISTORSION TRANSVERSAL				
AGRIETAMIENTOS				
FALLAS				
DETERIORO DE SUPERFICIE				

NO INFLUYE

INFLUENCIA MENOR

INFLUENCIA APRECIABLE

INFLUENCIA PRONUNCIADA

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

FIGURA V.I FORMA DE EVALUACION AASHO



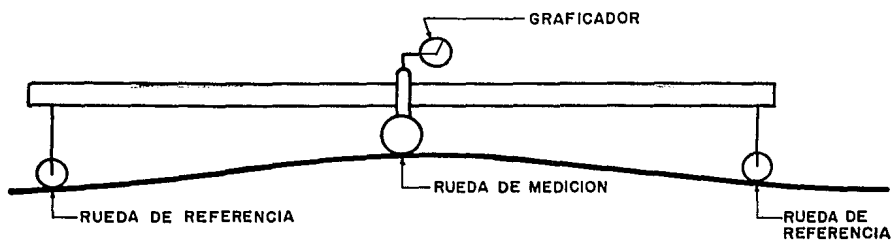


FIGURA V.3.- PERFILOGRAFO DE PLANO HORIZONTAL.

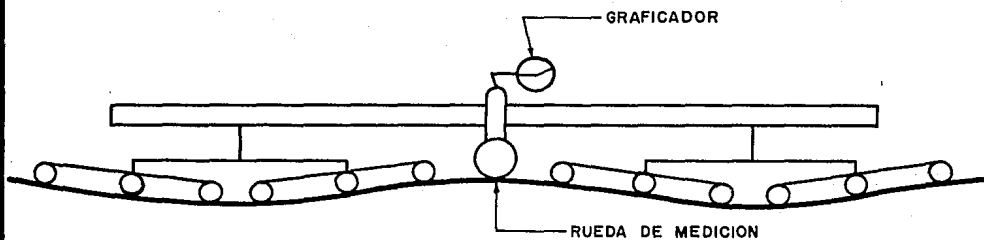


FIGURA V.4.- PERFILOGRAFO DE RUEDAS MÚLTIPLES.



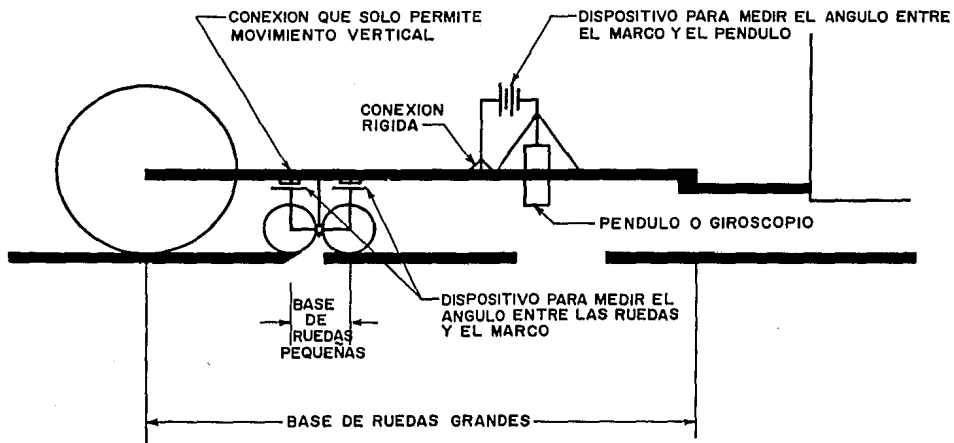


FIGURA V.5.- PRINCIPIO DEL PERFILOMETRO DE PENDIENTES.

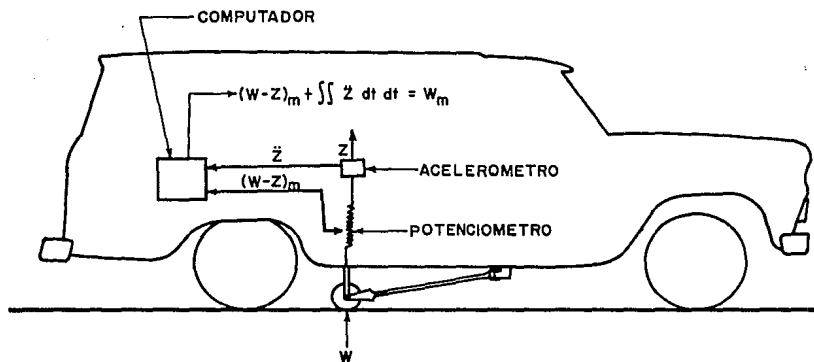


FIGURA V.6.- PRINCIPIO DEL PERFILOMETRO GMR.

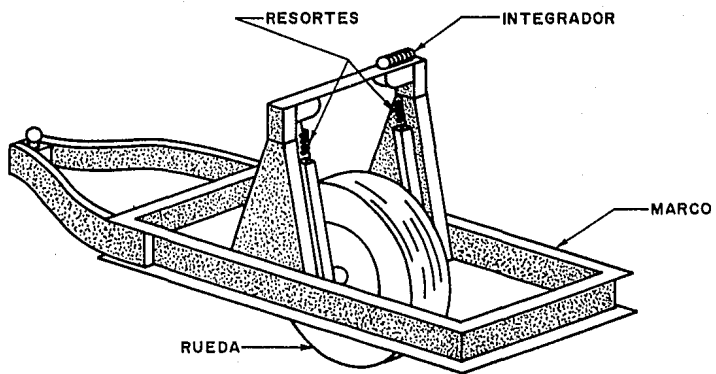


FIGURA V.7.- COMPONENTES DEL RUGOMETRO.

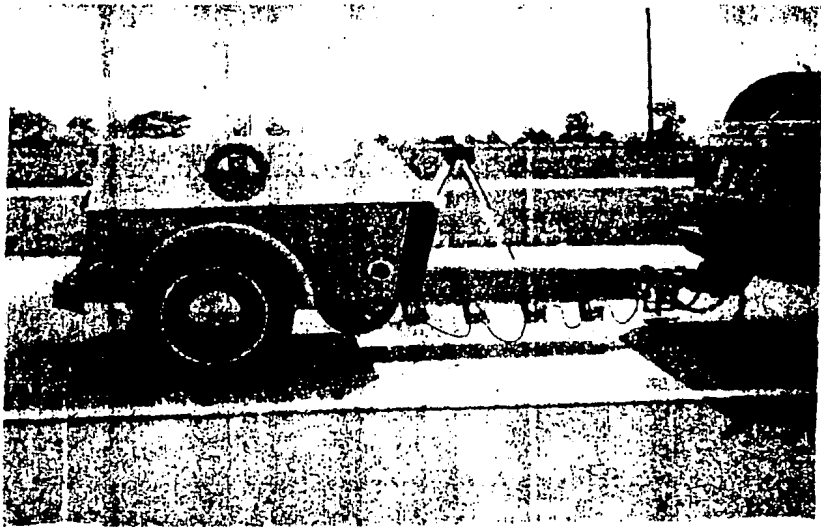


FIGURA VI.1- DYNAFLECT

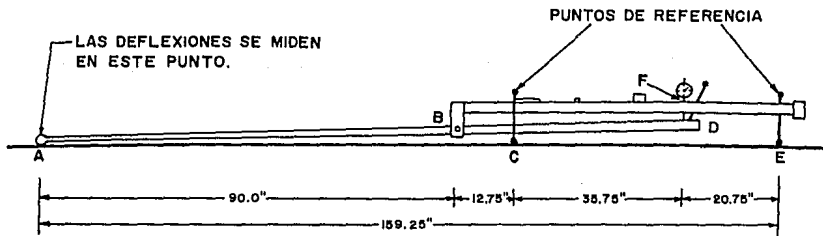


FIGURA VI.2- VIGA BENKELMAN

ESPEJOR DE SOBRECARPETA ASFALTICA REQUERIDO PARA REDUCIR LA DEFLEXION MEDIDA SOBRE EL PAVIMENTO A UN VALOR DE DISEÑO (INSTITUTO DEL ASFALTO 1981).

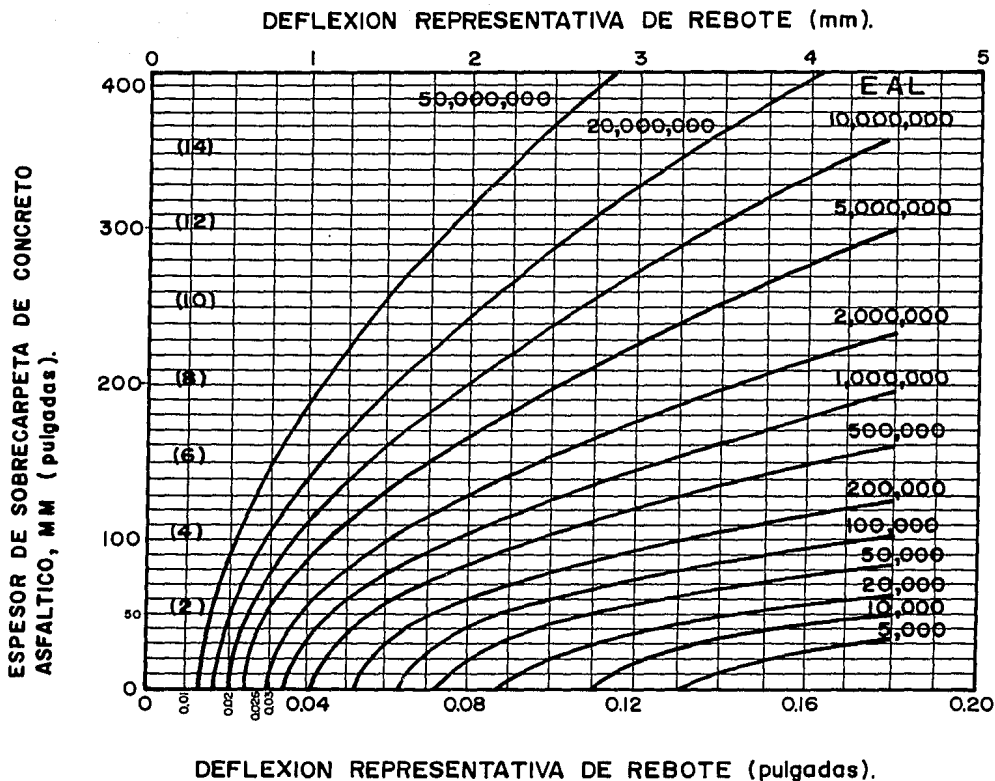


Figura VI.3

# CARRETERA : MATEHULA — SALTILLO

C A P A	INFORMACION DE ENSAYE	KM. 32+000	KM. 41+000	KM. 49+000	KM. 61+800	PROMEDIO
<b>CARPETA</b>	ESPESOR DE CAPA (cm.)	4	7	6.7	5	6.2
<b>B  A  S  E</b>	ESPESOR DE CAPA (cm.)	10	10	13	11	11.2
	CLASIFICACION	9C	9C	9C	9C	9C
	CONTENIDO DE AGUA DEL LUGAR (%)		3.6	5.4	4.4	4.5
	CONTENIDO DE AGUA OPTIMO (%)	5.4	6	8	8.2	7.4
	COMPACTACION (%)		100	95	93	96
	LIMITE LIQUIDO (%)	30	25	25	22	24
	INDICE PLASTICO (%)	17	12	10	9	10
	V. R. S. (ESTANDAR)	135	117	151	141	136
	EQUIVALENTE DE ARENA	18	18	18	19	18
<b>E</b>	EXPANSION (%)	0.3	0.2	0.3	0.1	0.2
<b>S  U  B  B  A  S  E</b>	ESPESOR DE CAPA (cm.)	26	16	16	16	16
	CLASIFICACION	9C	9C	9C	9C	9C
	CONTENIDO DE AGUA DEL LUGAR (%)		6.8	6.3	5.3	6.1
	CONTENIDO DE AGUA OPTIMO (%)	8.9	8	7	8.1	7.7
	COMPACTACION (%)		82	93	106	94
	LIMITE LIQUIDO	28	24	25	22	24
	INDICE PLASTICO	12	9	7	10	9
	V. R. S. (ESTANDAR)	112	113	127	114	118
	EQUIVALENTE DE ARENA	16	12	14	17	14
<b>E</b>	EXPANSION (%)	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2
<b>S  U  B  R  S  A  N  T  E</b>	ESPESOR DE CAPA (cm.)			37	30	34
	CLASIFICACION			CL	CL	CL
	CONTENIDO DE AGUA DEL LUGAR (%)			17.6	12.3	15
	CONTENIDO DE AGUA OPTIMO (%)			24.5	18.5	21.5
	COMPACTACION (%)			82	86	84
	LIMITE LIQUIDO			33	25	29
	INDICE PLASTICO			10	6	8
	V. R. S. (ESTANDAR SATURADO)			25	20	23
	<b>E</b>	EXPANSION (%)			1.5	1.8

FIGURA VII. 1

## SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

CARRETERA: MATEHUALA-SALTILLO

ORIGEN: MATEHUALA, S. L. P.

TRAMO: LIM. EDOS. S.L.P./N.L. - SAN ROBERTO

FECHA: 17 DE DICIEMBRE DE 1992

KILOMETRO: 30+300 AL 30+900

SENTIDO: UNICO, DERECHO

## CALCULO DE DEFLEXIONES DE LA VIGA BENKELMAN

CADENAMIENTO	LECTURA "D"	DEFLEXION	TEMPERATURA	FAC.DE CORR.	DEFLE.CORR.
30+300	16.0	32.0	26	0.94	30.080
30+320	17.5	35.0	26	0.94	32.900
30+340	8.0	16.0	26	0.94	15.040
30+360	18.7	37.4	26	0.94	35.156
30+380	18.1	36.2	26	0.94	34.028
30+400	9.3	18.6	26	0.94	17.484
30+420	15.5	31.0	26	0.94	29.140
30+440	15.0	30.0	26	0.94	28.200
30+460	14.3	28.6	26	0.94	26.884
30+480	14.6	29.2	26	0.94	27.448
30+500	15.6	31.2	26	0.94	29.328
30+520	15.6	31.2	26	0.94	29.328
30+540	15.4	30.8	26	0.94	28.952
30+560	14.3	28.6	26	0.94	26.884
30+580	5.5	11.0	26	0.94	10.340
30+600	5.5	11.0	26	0.94	10.340
30+620	9.3	18.6	26	0.94	17.484
30+640	12.7	25.4	26	0.94	23.876
30+660	10.8	21.6	26	0.94	20.304
30+680	17.1	34.2	26	0.94	32.148
30+700	10.0	20.0	26	0.94	18.800
30+720	10.0	20.0	26	0.94	18.800
30+740	19.5	39.0	26	0.94	36.660
30+760	12.5	25.0	26	0.94	23.500
30+780	12.9	25.8	26	0.94	24.252
30+800	18.5	37.0	26	0.94	34.780
30+820	15.2	30.4	26	0.94	28.576
30+840	17.1	34.2	26	0.94	32.148
30+860	15.5	31.0	26	0.94	29.140
30+880	14.3	28.6	26	0.94	26.884
30+900	26.2	52.4	26	0.94	49.256

DEFLEXION CARACTERISTICA=

42.6817685429

FIGURA VII.2

## SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

CARRETERA: MATEHUALA-SALTILLO

ORIGEN: MATEHUALA, S. L. P.

TRAMO: LIM. EDOS. S.L.P./N.L. - SAN ROBERTO

FECHA: 17 DE DICIEMBRE DE 1992

KILOMETRO: 36+780 AL 37+380

SENTIDO: UNICO. DERECHO

## CALCULO DE DEFLEXIONES DE LA VIGA BENKELMAN

CADENAMIENTO	LECTURA *D*	DEFLEXION	TEMPERATURA	FAC.DE CORR.	DEFLE.CORR.
36+780	15.3	30.6	26	0.94	28.764
36+800	7.0	14.0	26	0.94	13.160
36+820	6.0	12.0	26	0.94	11.280
36+840	16.7	33.4	26	0.94	31.396
36+860	6.5	13.0	26	0.94	12.220
36+880	11.2	22.4	26	0.94	21.056
36+900	9.3	18.6	26	0.94	17.484
36+920	10.0	20.0	26	0.94	18.800
36+940	7.9	15.8	26	0.94	14.852
36+960	6.1	12.2	26	0.94	11.468
36+980	13.4	26.8	26	0.94	25.192
37+000	8.5	17.0	26	0.94	15.980
37+020	15.7	31.4	26	0.94	29.516
37+040	13.3	26.6	26	0.94	25.004
37+060	9.0	18.0	26	0.94	16.920
37+080	9.8	19.6	26	0.94	18.424
37+100	10.5	21.0	26	0.94	19.740
37+120	4.0	8.0	26	0.94	7.520
37+140	9.0	18.0	26	0.94	16.920
37+160	10.5	21.0	26	0.94	19.740
37+180	12.0	24.0	26	0.94	22.560
37+200	15.3	30.6	26	0.94	28.764
37+220	8.5	17.0	26	0.94	15.980
37+240	12.8	25.6	26	0.94	24.064
37+260	12.4	24.8	26	0.94	23.312
37+280	9.7	19.4	26	0.94	18.236
37+300	9.5	19.0	26	0.94	17.860
37+320	8.7	17.4	26	0.94	16.356
37+340	15.8	31.6	26	0.94	29.704
37+360	15.5	31.0	26	0.94	29.140
37+380	16.0	32.0	26	0.94	30.080

DEFLEXION CARACTERISTICA=

33.1077297008

FIGURA VII.3

## SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

CARRETERA: MATEHUALA-SALTILLO

ORIGEN: MATEHUALA, S. L. P.

TRAMO: LIM. EDOS. S.L.P./N.L. - SAN ROBERTO

FECHA: 17 DE DICIEMBRE DE 1992

KILOMETRO: 45+000 AL 45+600

SENTIDO: UNICO. DERECHO

## CALCULO DE DEFLEXIONES DE LA VIGA BENKELMAN

CADENAMIENTO	LECTURA "D"	DEFLEXION	TEMPERATURA	FAC.DE CORR.	DEFLE.CORR.
45+000	12.2	24.4	28	0.93	22.692
45+020	13.0	26.0	28	0.93	24.180
45+040	9.7	19.4	28	0.93	18.042
45+060	10.2	20.4	28	0.93	18.972
45+080	11.8	23.6	28	0.93	21.948
45+100	9.2	18.4	28	0.93	17.112
45+120	12.8	25.6	28	0.93	23.808
45+140	9.2	18.4	28	0.93	17.112
45+160	14.7	29.4	28	0.93	27.342
45+180	15.5	31.0	28	0.93	28.830
45+200	14.7	29.4	28	0.93	27.342
45+220	12.5	25.0	28	0.93	23.250
45+240	21.2	42.4	28	0.93	39.432
45+260	23.5	47.0	28	0.93	43.710
45+280	12.0	24.0	28	0.93	22.320
45+300	17.0	34.0	28	0.93	31.620
45+320	12.0	24.0	28	0.93	22.320
45+340	20.5	41.0	28	0.93	38.130
45+360	22.0	44.0	28	0.93	40.920
45+380	22.0	44.0	28	0.93	40.920
45+400	19.0	38.0	28	0.93	35.340
45+420	27.5	55.0	28	0.93	51.150
45+440	23.0	46.0	28	0.93	42.780
45+460	20.5	41.0	28	0.93	38.130
45+480	18.0	32.0	28	0.93	29.760
45+500	12.0	24.0	28	0.93	22.320
45+520	30.0	60.0	28	0.93	55.800
45+540	11.5	23.0	28	0.93	21.390
45+560	27.5	55.0	28	0.93	51.150
45+580	24.0	48.0	28	0.93	44.640
45+600	12.5	25.0	28	0.93	23.250

DEFLEXION CARACTERISTICA=

53.0626188908

FIGURA VII.4



## SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

CARRETERA: MATEHUALA-SALTILLO

ORIGEN: MATEHUALA, S. L. P.

TRAMO: LIM. EDOS. S.L.P./N.L. - SAN ROBERTO

FECHA: 17 DE DICIEMBRE DE 1992

KILOMETRO: 53+000 AL 53+600

SENTIDO: UNICO. DERECHO

## CALCULO DE DEFLEXIONES DE LA VIGA BENKELMAN

CADENAMIENTO	LECTURA "D"	DEFLEXION	TEMPERATURA	FAC.DE CORR.	DEFLE.CORR.
53+000	20.1	40.2	28	0.93	37.386
53+020	17.5	35.0	28	0.93	32.550
53+040	15.0	30.0	28	0.93	27.900
53+060	13.2	28.4	28	0.93	24.552
53+080	12.2	24.4	28	0.93	22.692
53+100	8.8	17.6	28	0.93	16.368
53+120	12.2	24.4	28	0.93	22.692
53+140	13.0	26.0	28	0.93	24.180
53+160	11.7	23.4	28	0.93	21.762
53+180	9.2	18.4	28	0.93	17.112
53+200	6.2	12.4	28	0.93	11.532
53+220	6.2	12.4	28	0.93	11.532
53+240	13.7	27.4	28	0.93	25.482
53+260	13.4	26.8	28	0.93	24.924
53+280	16.2	32.4	28	0.93	30.132
53+300	15.3	30.6	28	0.93	28.458
53+320	12.2	24.4	28	0.93	22.692
53+340	17.1	34.2	28	0.93	31.806
53+360	17.1	34.2	28	0.93	31.806
53+380	16.7	33.4	28	0.93	31.062
53+400	15.0	30.0	28	0.93	27.900
<del>53+420</del>	<del>13.2</del>	<del>28.4</del>	<del>28</del>	<del>0.93</del>	<del>24.552</del>
53+440	7.7	15.4	28	0.93	14.322
53+460	10.7	21.4	28	0.93	19.902
53+480	11.0	22.0	28	0.93	20.460
53+500	13.5	27.0	28	0.93	25.110
53+520	14.5	29.0	28	0.93	26.970
53+540	17.5	35.0	28	0.93	32.550
53+560	13.5	27.0	28	0.93	25.110
53+580	8.0	16.0	28	0.93	14.880
53+600	17.0	34.0	28	0.93	31.820

DEFLEXION CARACTERISTICA=

37.3811081612

FIGURA VII.5