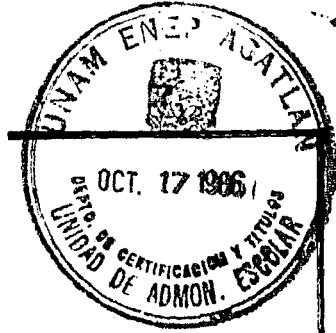


26
2 ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
Escuela Nacional de Estudios Profesionales
ACATLAN

GEOMEMBRANAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES
(Tramo de prueba en la autopista México-Querétaro)

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

Presenta:

Alejandro Sánchez Martínez



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.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"
COORDINACION DEL PROGRAMA DE INGENIERIA

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

CI/199/1986.

SR. ALEJANDRO SANCHEZ MARTINEZ
Alumno de la carrera de Ingeniería
Civil.
P r e s e n t e.

De acuerdo a su solicitud presentada con fecha 4 de diciembre de 1985, me complace notificarle que esta Coordinación tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis: "Geomembranas en Pavimentos Flexibles (Tramo de Prueba en la Autopista México-Querétaro)", el cual se desarrollará como sigue:

- Introducción.
- I.- Antecedentes e Importancia del Estudio.
- II.- Geomembrana.
- III.- Diseño.
- IV.- Procedimiento Constructivo.
- V.- Análisis de Resultados.
- Conclusiones y Sugerencias para Investigaciones Futuras.
- Bibliografía.

Asimismo fue designado como Asesor de Tesis el señor Ing. --- Víctor A. Sotelo Cornejo, profesor de esta Escuela.

Ruego a usted tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.



A t e n t a m e n t e,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Edo. de Méx., a 15 de octubre de 1986.

ENFP - ACATLAN
COORDINADOR DEL PROGRAMA DE INGENIERIA
ING. HERMENEGILDO ARCOS SERRANO
Coordinador del Programa de Ingeniería.

HAS/rcm.

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

INTRODUCCION

Las características físicas y propiedades mecánicas que se han logrado desarrollar con los nuevos materiales, proporcionan una gama ilimitada de opciones de aplicación, que se presentan como una herramienta para resolver la gran variedad de problemas que en la actualidad se originan. Es deber de profesionistas y técnicos el encontrar soluciones prácticas, económicas y factibles a problemas que por su naturaleza o por la situación precaria y de crisis que vive el país requieren de otras alternativas. Es una responsabilidad someter a juicio todas las posibles alternativas que ante él se presenten con un espíritu abierto y lógico, y no cerrar su entendimiento por conceptos tradicionalistas que frenan el progreso. La elección de nuevas y prometedoras soluciones generan empleos, reducen costos y proporcionan beneficios invaluable.

De esta forma y como una aplicación relativamente reciente en ingeniería civil se ha recurrido al empleo de geotextiles, definidos como aquellas telas que se usan en la geotécnica y de los cuales existen diferentes tipos (georedes, geodrenes, geomembranas etc.) dependiendo de su confección y tipo de fibras que los constituyen. En la práctica un geotextil puede tener una o varias aplicaciones, por ejemplo, separadores de materiales, el geotextil se coloca entre dos materiales que tienden a mezclarse e incrustarse por los esfuerzos producidos por las cargas aplicadas, por ejemplo, la colocación de un geotextil sobre el terreno natural que soporta el basalto de una vía de ferrocarril; filtrado y drenaje, el geotextil se coloca para evitar la pér

dida de material fino a través de enrocimientos, eliminando los filtros graduados en presas de tierra; a manera de envoltura sirve para que capte y pase el agua a través de él, pero no permite que pase el suelo fino, por ejemplo, subdrenes; también se aplican para reducir socavación al pie de estructuras fluviales o costeras y controlar la erosión inducida por corrientes y oleaje; refuerzo, el geotextil se coloca en suelos que no son capaces de tomar los esfuerzos de tensión, su función es absorber dichos esfuerzos, por ejemplo, masa de suelo armada con capas múltiples de geotextiles; membrana, el geotextil se coloca entre dos materiales que tienen diferentes resistencias, por ejemplo, en la base de un terraplen construido sobre suelos suaves puede mejorar significativamente la estabilidad del conjunto, ayudando a lograr una superficie de contacto continua y distribuyendo los esfuerzos. Estas son sólo algunas de las aplicaciones y de igual forma se podrían seguir enumerando muchos ejemplos más, sin embargo, en el presente trabajo se hablará de las geomembranas.- telas manufacturadas con fibras sintéticas de polipropileno.- poseedoras de una buena resistencia contra la abrasión, los agentes químicos el emmohecimiento y contra la descomposición. Hipotéticamente la geomembrana embebida en concreto asfáltico forma una cubierta impermeable que protege a la base del pavimento de la infiltración del agua a través de la superficie; además de lo dicho esta absorbe esfuerzos de tensión inducidos por las cargas del tránsito; con toda proporción guardada, la geomembrana puede lograr un efecto similar al del acero de refuerzo en el concreto hidrático, al tomar esfuerzos de tensión. De esta manera la colocación de la geomembrana evitará la propagación de grietas, extendiendo la vida útil de los pavimentos.

El objetivo del presente trabajo es; estudiar el comportamiento del tramo de prueba (carretera; México-Querétaro, km 174+600 al km 175+300), donde se colocó una geomembrana y con base en la experiencia obtenida, establecer las prioridades y estrategias más viables así como la metodología adecuada. Para lograrlo se ha estructurado en cinco capítulos independientes pero estrechamente relacionados entre sí, que comprenden algunos conocimientos básicos sobre el tema, a fin de que el lector obtenga un mejor entendimiento.

Capítulo I. En él se destaca la importancia de impulsar el desarrollo utilizando soluciones no tradicionales; es decir, optar por nuevas alternativas que enriquezcan los métodos actuales; también se describen los diferentes tipos de fallas en los pavimentos flexibles y la posible causa que les dió origen, a efecto de que el lector haga un juicio razonado y emita sus propias conclusiones respecto a la utilización de una geomembrana para dar solución a uno u otro tipo de falla; por citar un ejemplo, la geomembrana que es objeto del presente estudio, se utilizará únicamente en la rehabilitación de pavimentos que han sido bien diseñados y construidos; es decir, pavimentos que durante mucho tiempo han trabajado correctamente y que han llegado al fin de su vida útil fallando por fatiga, y en los cuales es conveniente para su rehabilitación la colocación de una sobrecarpeta, en éste sentido al integrar como elemento de refuerzo una geomembrana se evitará la reflexión prematura de grietas.

Capítulo II. En él se describen las características físicas y propiedades mecánicas de la geomembrana en estudio, así como su confección.

Capítulo III. Se citan todas las variables que intervinieron en la realización del diseño de la rehabilitación del pavimento.

to, y algunos conceptos que intervienen en la evaluación del mismo.

Capítulo IV. En el se describe el procedimiento constructivo - para la colocación de la geomembrana en el tramo experimental.

Capítulo V. Se analizan con detalle los resultados obtenidos -- hasta el momento de la evaluación aplicada al pavimento, y de los cuales se desprenden finalmente una serie de conclusiones y sugerencias.

CAPITULO I

ANTECEDENTES E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

ANTECEDENTES E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

No es fácil explicar la aparición y florecimiento de grandes civilizaciones en el mundo, sin la existencia de un medio de transporte, el cuál sólo será eficiente en la medida en que lo sean los caminos. Estos han venido evolucionando y trascendiendo en las civilizaciones dando vida a todas las culturas. Poco a poco las necesidades hicieron que cobrara importancia el tiempo de recorrido y la comodidad, abreviar el tiempo de viaje, eliminar el polvo y poder viajar en cualquier época del año, sin que interfiriera y se hiciera penoso el viaje en épocas de lluvia o en invierno. Estos problemas significaron la creación de nuevas estructuras.

El otro escollo, el tránsito de vehículos cada vez más pesados, sin que los caminos se deformaran o se destruyeran rápidamente. Producto de estos requisitos se crearon técnicas y métodos altamente sofisticados, que dieron origen a la construcción de estructuras que hoy se conocen con el nombre de pavimentos, en la infraestructura del transporte.

La red carretera en México, ocupa una posición sobresaliente dentro de los diferentes modos de comunicación, ya que por ella se moviliza la mayor parte de la carga (70%), y casi la totalidad del pasaje (90%), consecuencia derivada de las características de accesibilidad a nuestros espacios geográficos. Actualmente el sistema carretero consta de 80,000 km. - pavimentados aproximadamente.

La técnica de pavimentos se inicia con un proceso de prueba y error, es decir, mediante numerosos ensayos realizados a través del tiempo, se van perfeccionando métodos, criterios de diseño y procedimientos de construcción, todo este cúmulo de datos registrados en pruebas que fueron de éxito; pero, - también de fracaso, constituye el sendero que se ha seguido.

El presente estudio no se excluye de esta trayectoria al proponer el uso de geomembranas, elemento novedoso en la técnica de pavimentos en México; el objeto, optimizar el costo/beneficio, en la búsqueda incansable hasta encontrar la mejor combinación de materiales.

De esta manera se pretende analizar el comportamiento de una geomembrana embebida en la carpeta de un pavimento, con objeto de precisar hasta dónde este elemento beneficia o no, el comportamiento estructural del mismo. De ahí la importancia de hechar una mirada retrospectiva y sacar provecho de los éxitos y fracasos. El crecimiento constante del transporte carretero sus fuertes cargas, las velocidades desarrolladas, el número mayor de repeticiones de carga aunados a los efectos climatológicos y el intemperismo, constituyen la causa de la destrucción de los pavimentos. Las principales innovaciones y cambios de procedimiento en el diseño de carreteras, se basan fundamentalmente en los avances logrados en: Técnicas de planeación, ingeniería de tránsito, fotogrametría, fotointerpretación, geotécnica en sus diferentes ramas; geología, geofísica, mecánica de suelos y mecánica de rocas, experimentación con modelos físicos, computación y electrónica y ahora lo último y más novedoso la inclusión de elementos de refuerzo, las geomembranas; al colocar estos materiales de una manera apropiada se distribuyen los esfuerzos inducidos por las cargas en una área mayor, reduciendo su magnitud y disminuyendo el riesgo de falla, también evitando la propagación de grietas o fracturas.

Por todo lo expuesto, convendrá en el futuro realizar un serio esfuerzo de investigación hasta dotarse de una tecnología realmente adecuada.

ca de pavimentos en México, una nueva experiencia que quizá sea un éxito, quizá un fracaso, pero que ya está en práctica y eso es lo importante.

CAUSAS QUE ORIGINAN LAS FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES Y TIPOS DE FALLA

Cualquiera que sea el plan definido en el proyecto de un pavimento, es importante conocer las causas que originan las fallas, a efecto de implementar una tecnología que las evite. Debemos entender como falla, cualquier alteración que se presente en la superficie de rodamiento, debida a algún defecto o deterioro de cualquiera de las capas de la estructura del pavimento, y que provoque inseguridad al usuario.

Las fallas en los pavimentos suelen ser resultado de la deformación bajo esfuerzo cortante, de la deformación por consolidación, o por aumento de la compacidad. Este proceso puede tener lugar en cualquiera de las capas del pavimento y aún en las terracerías. Los agentes del intemperismo por citar un ejemplo, principalmente las bajas temperaturas, provocan que el asfalto se vuelva más frágil por los cambios que se realizan en su estructura interna, es decir, la carpeta adquiere una rigidez incompatible con la flexibilidad de las demás capas que constituyen el pavimento, haciendo susceptible la formación de grietas que faciliten la entrada del agua desde la superficie y con ello la disminución de la resistencia de la base del pavimento. En fin desde que un pavimento se pone en servicio, empiezan a actuar en él esfuerzos cuyos orígenes pueden ser: los cambios de temperatura, humedad, las cargas rodantes etc., la consecuencia inmediata es la aparición de defectos en su superficie tales como; Grietas, baches, corrugaciones, etc.

Las fallas pueden agruparse bajo tres títulos dependiendo de la causa u origen:

Fallas por insuficiencia estructural.

Esta falla se produce cuando las combinaciones de resisten-

cia al esfuerzo cortante de cada capa y los respectivos espesores no son los adecuados para que se establezca un mecanismo de resistencia apropiado y que además puede generarse en cualquiera de los estratos que integran su estructura.

Fallas por defectos constructivos.

Se trata de pavimentos quizá bien proporcionados y formados por materiales suficientemente resistentes, en cuya construcción se han cometido errores o defectos que comprometen el comportamiento del conjunto, por ejemplo; mal acabado en juntas de construcción, que son fuente de entrada de agua, éste es un defecto muy común, mala compactación sobre tubos y alcantarillas, que propicia la aparición de deformación permanente y es fuente de baches, mal acabado en cortes que propicia el asolve de cunetas, construcción de accesos difíciles o de recodos en tubos y alcantarillas, fallas de subdrenaje o mala selección de material filtrante de relleno, mal acabado en la superficie de rodamiento, que propicia efectos de impacto, arrastre de áridos etc., mala distribución de asfalto en la carpeta etcétera.

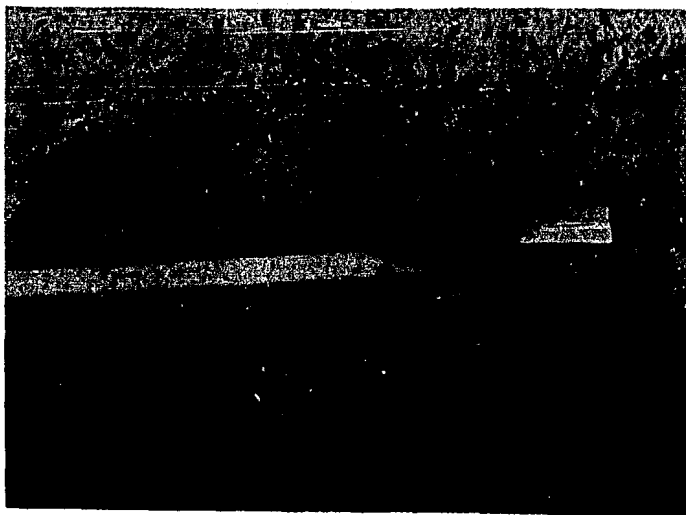
Fallas por fatiga.

Es la falla de una estructura, bajo la continuada repetición de carga, el efecto de fatiga trae consigo una degradación estructural, pérdida de resistencia y deformación acumulada. Las fallas por fatiga resultan claramente influidas por el tiempo de servicio, son las fallas típicas de un pavimento que durante mucho tiempo trabajó sin problemas.

Conviene además, agrupar las fallas de los pavimentos flexibles por el modo en que suceden y se manifiestan. Para ello nos referiremos a tres tipos: fracturamiento, desintegración deformación, y el que una determinada deficiencia de origen

a uno u otro tipo de falla, dependerá de como se conjuguen en el caso todas las variables, "efecto del tránsito", "Características mecánicas de la estructura del pavimento" y "apoyo de las capas inferiores de la terracería o en última instancia del terreno de cimentación.

Para lograr un mejor entendimiento de lo mencionado en el párrafo anterior, se hará una descripción de los tipos de falla que se presentan en la superficie del pavimento y la probable causa que les dió origen. Iniciaremos por las fallas de carpeta considerando que las capas subyacentes de la estructura del pavimento están construidas con materiales apropiados y siguiendo procedimientos constructivos adecuados.



AGRIETAMIENTO POR OXIDACION EN LA CARPETA

Agrietamiento. Los cambios de temperatura y humedad originan alteraciones en la estructura interna del concreto asfáltico, principalmente el sol que paulatinamente va haciendo que el asfalto se vuelva más duro, también las bajas temperaturas provocan extrema rigidez en las mezclas asfálticas, haciendo

incompatible a la carpeta con la flexibilidad de las demás capas que conforman la estructura del pavimento, y creando un mecanismo que hace susceptible la falla por fatiga de esta capa.

Desintegración de la carpeta. Esta falla puede ser resultado del uso de poco asfalto; oxidación del asfalto por causas mencionadas en párrafos anteriores, ó por la acción del agua causada por un mal drenaje; también por insuficiente compactación durante la construcción; utilización de agregados sucios desintegrables o de poca afinidad con el asfalto; colocación de la carpeta en tiempo húmedo o frío, lo cual origina una deficiente adherencia entre el material pétreo y la película agfática.



DESINTEGRACION DE LA CARPETA

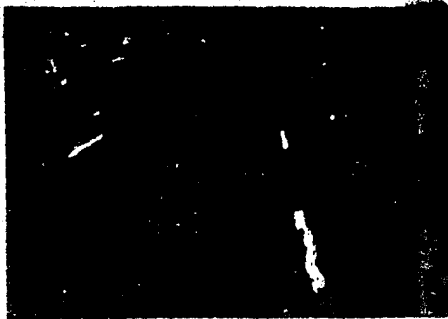
Los baches y las calaveras son un claro ejemplo de desintegración, la diferencia entre unos y otras está en la profundidad, siendo las últimas menos profundas.



BACHES ACOMPAÑADOS CON AGRIETAMIENTO RETICULAR, INDICANDO DEFICIENCIA ESTRUCTURAL.

Las corrugaciones en forma de tabla de lavadero. Son típicas ondulaciones pequeñas que se producen transversalmente a la superficie del pavimento, su presencia es más frecuente en los sitios en donde los vehículos inician su marcha o se frenan; también ocurren en las curvas muy cerradas o en donde los vehículos, particularmente los de carga brincan una protuberancia y rebotan varias veces. La principal causa de este defecto es la falta de estabilidad de la carpeta asfáltica; mezclas muy excedidas de asfalto o con una alta proporción de finos o gruesos de forma muy redondeada, o en los que se usó asfalto muy suave (alta penetración); el derrame o aceites en el pavimento que contaminen la mezcla, o la retención de fluxes cuando se usan rebajados en la mezcla.

El llorado o sangrado. Es el movimiento ascendente del asfalto y la formación de una película de éste en la superficie. Es una de las fallas más serias que puede presentar la superficie de rodamiento, ya que incide directamente en la seguri



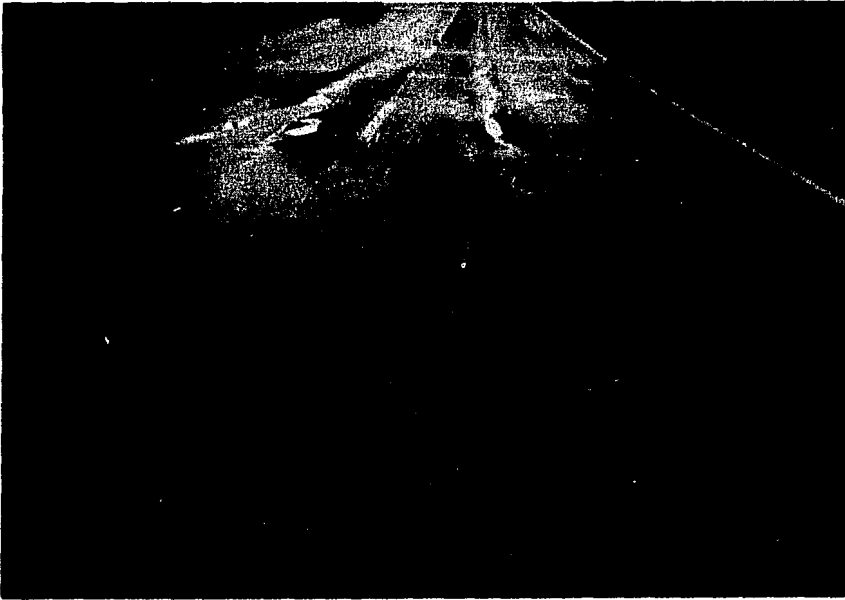
DEFORMACION DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO ATRIBUIBLE
A DEFICIENCIA EN LA ESTABILIDAD DE LA MEZCLA ASFAL-
TICA.

dad del usuario, su causa es obviamente el exceso de asfalto procedente de ella misma o de una base negra que le sirva de apoyo; también un riego de liga o de impregnación mal ejecutado, un riego de sello pasado o mal efectuado son los culpables de esta situación; la presencia de partículas susceptibles de pulirse, es otro factor que contribuye a la ternura del pavimento y al riesgo de deslizamiento de los vehículos. Las calizas trituradas de río son un ejemplo clásico de este tipo de material, pero hay también pedernales y areniscas -- cuarzosas que sin ser pulibles presentan una superficie lisa, que se vuelve peligrosa en época de lluvia.

Fallas por estructura. Las averías de un pavimento tienen diversos orígenes, ahora nos ocuparemos de las que se originan por defectos en las capas inferiores del pavimento.

Una subrasante poco estable y una sub-base y/o base de poco espesor producen excesiva deflexión de la carpeta, que con la continuada repetición provocarán su agrietamiento.

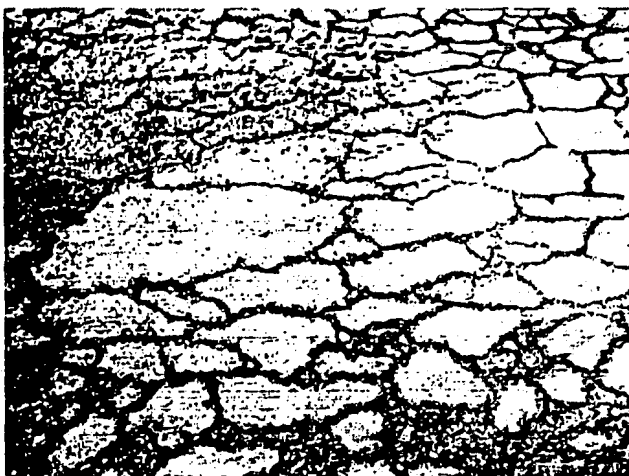
Agrietamiento poliédrico en forma de piel de cocodrilo. Son fisuras que forman un mosaico, cuyas figuras semejan la piel



DEFORMACION DEBIDA A FALLA DE BASE

de este saurio. Este agrietamiento se extiende sobre toda la superficie de rodamiento o por lo menos sobre gran parte de ella. Generalmente tiene su origen en las capas inferiores del pavimento, indica el movimiento excesivo de una o más de las capas del mismo. Este agrietamiento es común sobre terracerías resilientes, o dentro de las cuales la subrasante --- muestra resiliencia; también es típico de las bases débiles o insuficientemente compactadas. Al estudiar este tipo de agrietamiento, resulta esencial determinar si se trata de un fenómeno evolutivo. En general los procesos asociados a envejecimiento y fatiga de la carpeta progresan muy lentamente; sin embargo, si la evolución del fenómeno es muy rápida esta

rá asociado a deficiencia estructural.



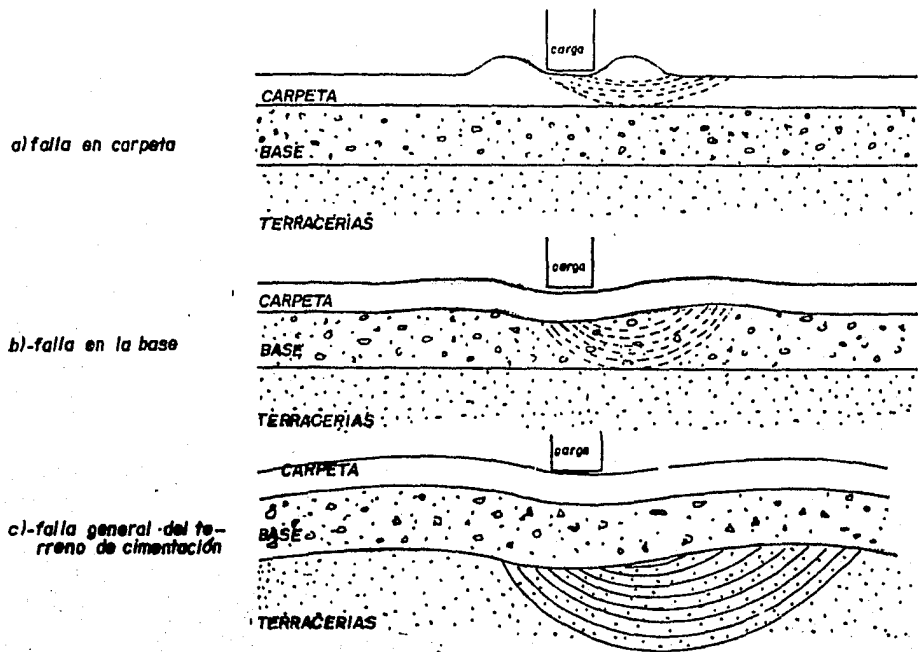
AGRIETAMIENTO POLIEDRICO EN FORMA DE PIEL DE COCODRILO

Agrietamiento poliédrico en forma de mapa. Este puede ser progresivo o no, cuando lo es, termina en destrucciones locales del pavimento, que comienza por desprendimientos de la carpeta en lugares localizados y en la rápida remoción de los materiales granulares expuestos, cuando alcanza estos grados destructores puede decirse, que está ligado a deficiencia estructural.

Deformaciones permanentes en la superficie del pavimento. Las distorsiones o deformaciones de un pavimento, son los cambios que ocurren en la superficie de rodamiento y que alteran su forma original, frecuentemente asociados a un aumento de compactación en las capas granulares, la base o la sub-base, debida a su vez, a carga excesiva, carga repetida o rotura de granos, también puede deberse a consolidación o hufamiento del terreno de cimentación. Estas deformaciones se manifiestan de distintas formas; depresiones longitudinales o roderas, corri

mientos de carpeta, hundimientos o depresiones y bufamientos.

TIPOS DE DEFORMACIONES DE UN PAVIMENTO



Roderas. Las roderas son depresiones en forma de canal que se hacen a lo largo de las huellas del tráfico; éstas se localizan en áreas relativamente pequeñas y generalmente son deformaciones de unos cuantos centímetros de profundidad, no sólo constituyen un fuerte deterioro, sino también un riesgo para el tránsito, sobre todo en época de invierno cuando se puede formar hielo. Esta deformación puede deberse a falta de compactación durante la construcción o a un movimiento plástico por carecer de estabilidad la mezcla.

Corrimientos de carpeta. Esta falla presenta generalmente un agrietamiento en forma de media luna, es provocada por una falta de adherencia entre la carpeta y la base; la falta de adherencia puede ser debida a impurezas tales como polvo, --

aceite, agua u otro material no adhesivo situado entre las dos capas; también puede ser debida a la falta del riego - de liga durante la construcción del pavimento, o a un exceso de contenido de arena o finos indeseables en la mezcla. Hundimientos o depresiones. Esta falla se presenta en forma de áreas bajas de dimensiones limitadas y puede o no estar acompañada de grietas. En época de lluvias se acumula el agua en estas depresiones formando charcos y acelerando el proceso de deterioro del pavimento.



DEFORMACIÓN PERMANENTE DEBIDA A INSUFICIENCIA ESTRUCTURAL EN LA BASE DEL PAVIMENTO.

Estas depresiones pueden ser provocadas por una falta de compactación de las capas inferiores del pavimento o bien por asentamientos del terreno de cimentación. En algunos suelos constituidos por arcillas con muy baja capacidad de soporte, también se puede presentar por flujo del suelo de cimentación hacia los lados de la carretera.

El bufamiento. Es un desplazamiento vertical del pavimento hacia arriba, causado por un levantamiento de la capa subrasante o el terreno de cimentación. La causa más común es la expansión producida por un cambio de humedad en arcillas expansivas.

Falla por cortante. Consiste generalmente en surcos profundos, nítidos y bien marcados, cuyo ancho no excede mucho el de la llanta, en esta falla suele haber elevación del material de la carpeta a ambos lados del surco. Está típicamente asociada a falta de resistencia en la base y/o sub-base.

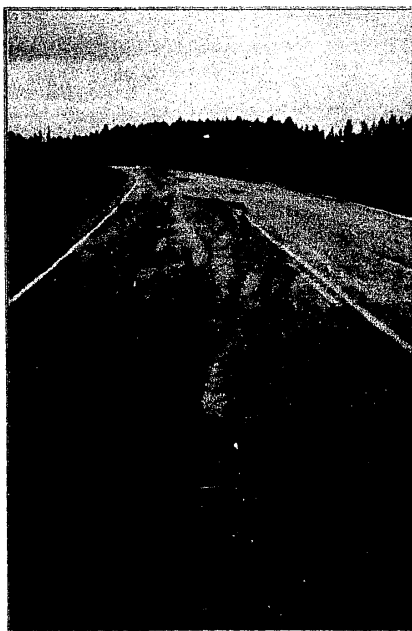
Agrietamiento longitudinal. Cuando ocurre a poca distancia del borde del pavimento o en el área que corresponde al carril de circulación de las cargas más pesadas, se debe a la falta de soporte lateral; pero, cuando este agrietamiento ocurre en el área central, se debe a congelamiento o contracción de arcillas por secado.

Consolidación del terreno de cimentación. La consolidación de terrenos de cimentación blandos, puede producir distorsión del pavimento independientemente de los espesores o de la condición estructural del mismo.

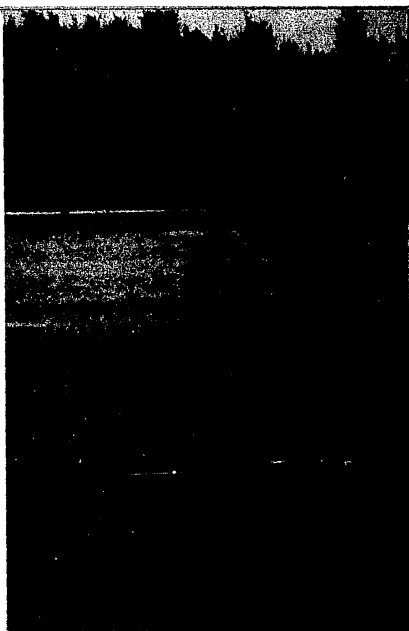
Grietas transversales. Esta falla es causada por asentamientos aislados de la subrasante, base o sub-base; por ejemplo, cuando la estructura del pavimento es cruzada por tuberías o ductos



AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL POR CONTRACCION DE ARCILLAS POR SECADO.



AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL DEBIDO A UNA FALTA DE ESTABILIDAD DEL TALUD DEL TERRAPLEN



AGRIETAMIENTO TRANSVERSAL CAUSADO POR UN AGENTAMIENTO AISLADO DE LA SUBRASANTE.

tos; movimientos más generales y más amplios del terreno de cimentación, por ejemplo, grietas por movimientos telúricos, o grietas por fallas geológicas activas.

Grietas por reflexión. Se deben a movimientos verticales u - horizontales del pavimento que se encuentra debajo de una so brecarpeta.

Crecimiento de hierba y afloramiento de agua; se debe a capa de base saturada y/o agua atrapada en la carpeta durante la construcción.

Por todo lo expuesto anteriormente, el comportamiento de un pavimento durante su vida útil, sometido a la acción conti-- nua de las cargas del tránsito y a los efectos climatológi-- cos, dependerá en gran parte de la conservación que se le dé una conservación oportuna aumentará la vida útil considera-- blemente.

C A P I T U L O I I

GEOMEMBRANA

GEOMEMBRANA

Las características esenciales que proporciona el uso de la geomembrana en pavimento flexibles, se fundamentarán hipotéticamente en dos principios; uno, evitar la propagación de grietas al comportarse como una capa liberadora de tensiones, entre el pavimento existente y la nueva carpeta; la geomembrana al tomar esfuerzos de tensión, inducidos por las cargas verticales y distribuirlos en una área mayor, proporciona al pavimento un valioso elemento de refuerzo, disminuyendo el riesgo de falla y creando un mecanismo que retarda la propagación de grietas ya existentes (evita la reflexión).

El otro principio: La impermeabilización, ésta se logra a partir de su combinación con el asfalto; es decir, geomembrana y asfalto forman un sistema que restringe totalmente el paso del agua desde la superficie, evitando con ello la disminución de la resistencia de la base del pavimento.

Es importante anotar, que la geomembrana no modifica las propiedades básicas de la mezcla asfáltica, pero sí actúa como un elemento de refuerzo, mejorando su resistencia a la fatiga, cuyo efecto es ampliamente reconocido como contribuyente principal del agrietamiento de los pavimentos.

PROPIEDADES MECANICAS

La geomembrana utilizada posee las siguientes características. Este material teniendo orientación de fibra casual, imparte características multidireccionales de alargamiento y resistencia a la tensión, resiste rasgamiento y perforación durante la construcción de la carretera y a través de la vida útil del pavimento en cuestión.

Presenta una excelente capacidad de absorción del cemento asfáltico, y se le reconoce una magnífica resistencia contra -

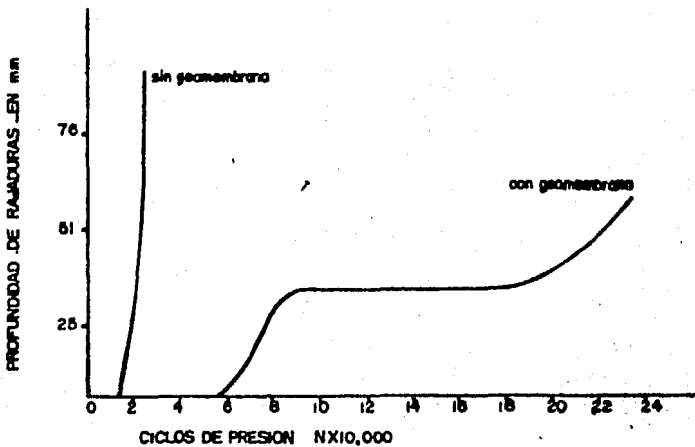
gran variedad de ácidos, álcalis y contra la oxidación, por lo que concierne a la acción de vegetales se puede indicar - que posee mayor resistencia a la penetración de raíces que - el concreto asfáltico. Con respecto a la durabilidad, se mencionará que los rayos ultravioleta y los cambios drásticos - de temperatura son dos de los agentes que más degradan estas películas; en nuestro caso la geomembrana no estará expuesta directamente a los rayos ultravioleta y por lo que atañe a - la temperatura se dirá que esta geomembrana, tiene su mejor desempeño en climas de temperatura moderada. Las bajas tempe - raturas provocan una extrema rigidez en la mezcla asfáltica, lo que estimula la aparición de grietas transversales.

Las características físicas y propiedades mecánicas de la - geomembrana se reducen a la siguiente tabla.

Propiedad	Valor
Peso gr/m^2	145
Resistencia a la tracción kg	52 (ASTM-D-1682-64)
Elongación hasta ruptura %	65 (ASTM-D-1682-64)
Resistencia al desgarramiento, kg	16 (ASTM-D-2263)
Resistencia a la temperatura, C	I 50 (Ablandamiento); C 165 (Fusión)
Retención de asfalto, lbs/m^2	0.90 (mínimo)

La gráfica II.1 es resultado de pruebas de laboratorio del Dr. Kamaran Majidzadeh de la Universidad del Estado de Ohio. La - gráfica muestra que bajo condiciones de presión iguales, las - cuales simulan niveles de carga permisibles en un pavimento -

de estructura bien diseñada, el rendimiento es mejor en aquellos que contienen geomembrana (refuerzo).



Gráfica II.1

La confección de la geomembrana que se utilizó en el tramo de prueba, se realiza por diferentes métodos, incluyendo procesos de tejido, compactación de fibras no tejidas o por combinación de ambos procesos.

Proceso de cementación de fibra continua.

Es un proceso por el que la geomembrana se obtiene por cementación de uno o más tipos de polímeros. El polímero elegido es hilado a través de una extrusora, los filamentos continuos que forman un manto son depositados en una plataforma transportadora, obteniéndose la orientación de la fibra durante esta operación por varios métodos tales como:

Rotación del cabezal, uso de campo eléctrico, control de corrientes de aire o simplemente por variación de la velocidad

de la plataforma transportadora. Los filamentos son cementados para formar una geomembrana, por medios químicos o térmicos, previo a su bobinado en rollos.

Proceso de punzado de fibra cortada.

La obtención de la geomembrana por el proceso de punzado, consiste en introducir un manto fibroso, obtenido por otros métodos, en una máquina equipada con agujas especiales diseñadas para tal fin. Mientras el manto es atrapado entre dos platos, las agujas lo atraviesan una y otra vez, reorientando las fibras hasta alcanzar el anclaje mecánico de las mismas. A veces el material fibroso es arrastrado a la sección de punzado de la máquina, sobre un substrato liviano.

La geomembrana utilizada en el proyecto fué manufacturada mediante un proceso de punzado, con fibras de polipropileno no tejido.

C A P I T U L O I I I

D I S E Ñ O

DESCRIPCION DEL PROBLEMA

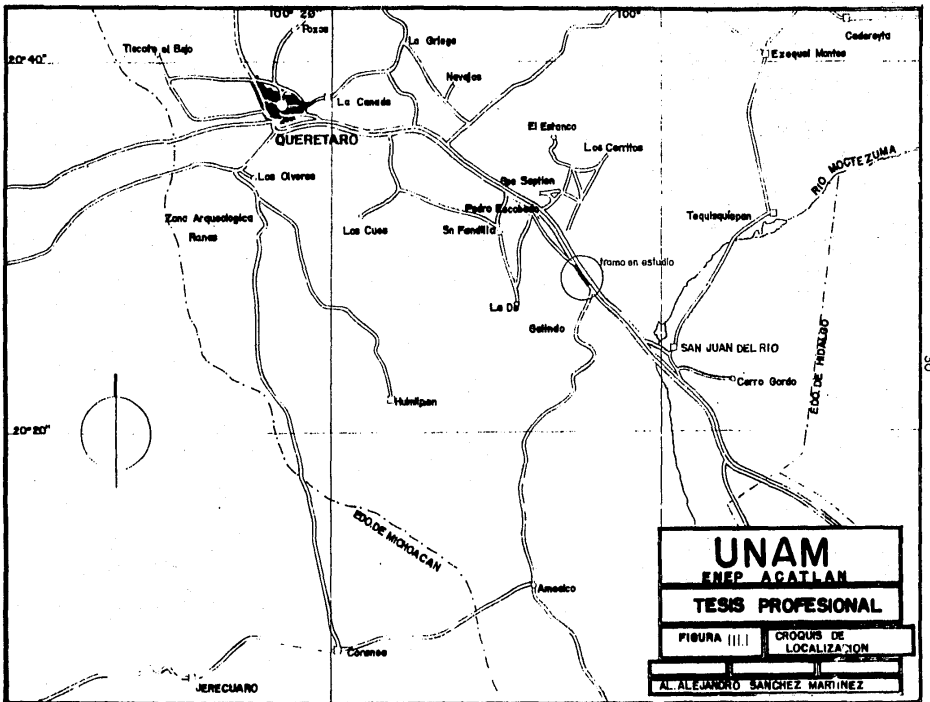
La carretera en donde se pretende colocar la geomembrana con fines experimentales, constituye actualmente el paso obligado entre la capital de México y la parte noroeste de la República mexicana, la mencionada carretera se convierte así en un importante acceso. Por esta razón la misma está sometida a un alto tránsito, en cuya composición vehicular se reporta un elevado porcentaje de vehículos pesados, alcanzando un 44% del total que circula por ahí. Este factor ha hecho que esta importante vía de comunicación haya sufrido fuertes deterioros, impidiendo la segura y cómoda circulación de los usuarios.

Localización y topografía

El tramo en estudio se ubica geográficamente entre los paralelos 20° y 21 del hemisferio norte y entre los meridianos 100 y 101 al sur-este de la ciudad de Querétaro. Este está comprendido en la autopista México-Querétaro, tramo Palmillas-Querétaro, km. 174+600 al km. 175+300, cuerpo izquierdo, (ver fig. III-1 se muestra plano de localización). La topografía corresponde a la llanura del Altiplanicie Meridional de la República, región conocida como el Bajío. El tramo se desarrolla en una zona prácticamente plana; la terracería está constituida por un terraplen cuya altura no sobrepasa 1.50 mts.

Geología

El camino en estudio queda comprendido dentro de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico (Ruíz 1948). Esta zona está caracterizada por predominar en ella derrames basálticos del terciario y cuaternario, numerosos volcanes y lagos cuya morfología, orientación y distribución, sugieren la idea de estar en fosas tectónicas. Esta circunstancia ha provocado -



la existencia de grandes valles o cuencas rodeadas por volcanes, los valles generalmente rellenos por grandes espesores de aluvión producto de la erosión de los volcanes del terciario y en menor proporción del cuaternario.

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

El camino en estudio atraviesa una zona de valle producto del modelo antes mencionado, representado por un depósito aluvial de material arcilloso-arenoso, con algunos afloramientos de rocas extrusivas (basaltos y fiolitas) medianamente interperizados.

Clima

De acuerdo a la clasificación de Köppen-Geiger el clima regional se clasifica como subtropical de altura, tipo mexicana, templado regular, con lluvias conveccionales en verano - (Cwb). Los factores climatológicos generales se consignan en la tabla III-1.

Tabla 1. Factores climatológicos
(Estación San Juan del Río, Gro.)

Precipitación anual (mm)	600
Temperatura media anual (°C)	16.4
Temperatura max. extrema (°C)	32.0
Temperatura min. extrema (°C)	-3.5

Hidrología y drenaje

El sistema de advenimiento regional es de tipo dentrítico, -- cuyo escurrimiento más importante es el del Río San Juan, -- que sin ser divagante es sinuoso.

Geometría de la sección

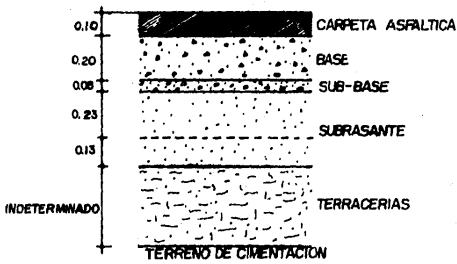
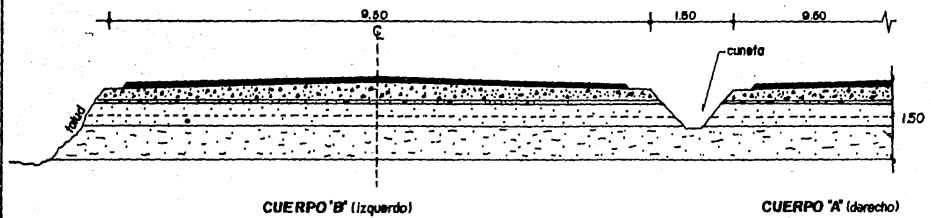
Por lo que respecta a la geometría del camino, la figura III -2 muestra los siguientes datos en promedio.

Trabajos de campo y laboratorio.

Como complemento de información se llevó a cabo una visita -- al sitio para evaluar el pavimento, establecer prioridades y estrategias de conservación y reconstrucción. La importancia de la evaluación radica en que ésta, es una valiosa herramienta para validar y mejorar los criterios de diseño de pavimentos o como base de referencia para analizar el comportamiento en condiciones de operación de la carretera; es decir, es un indicador que nos permite estimar si el pavimento fué sobrediseñado, bien diseñado o subdiseñado, además se pueden -- juzgar los métodos constructivos y el control que se llevó -- durante toda la obra.

La evaluación de un pavimento toma en cuenta la investigación y análisis del tipo e intensidad del tránsito; rugosidad, que afecta la calidad de rodamiento de los vehículos; deterioro superficial, cuya severidad se juzga subjetivamente -- con base en la inspección detallada de la carretera, y que -- pueden recopilarse fotográficamente, o en registros hechos -- al transitar a pie por el camino; evaluación estructural, para medir la resistencia, la cual generalmente se realiza a + través de mediciones de deflexión superficial, utilizando diversos equipos; resistencia al deslizamiento, para estimar -- la seguridad de manejo de los vehículos, la cual se realiza empleando equipos con diferentes diseños.

GEOMETRIA DE LA SECCION



TESIS PROFESIONAL

FIGURA III.2 | ESCALA 1:75 | ACOF. M.
AL. ALEJANDRO SANCHEZ MTZ.

la rugosidad y resistencia al deslizamiento reflejan aspectos funcionales del camino, en tanto que el deterioro superficial y la evaluación a través de mediciones de deflexión, corresponden a características estructurales de la obra vial. La rugosidad, generalmente se define como aquellas irregularidades superficiales que afectan adversamente la calidad de rodamiento del vehículo y en consecuencia la comodidad de los usuarios. Para medir la rugosidad se emplea el concepto del estado actual siendo éste evaluado por la:

Calificación actual

Índice de servicio

Comportamiento

La calificación actual, es el juicio de varios observadores - con referencia a la capacidad del pavimento, para servir al tránsito para el que fué diseñado. La apreciación debe considerarse exclusivamente las condiciones en el momento de la observación. Se utiliza una escala entre cero y cinco puntos, el valor de cinco corresponde a un pavimento excelente, en tanto que cero representa un pavimento intransitable.

Índice de servicio actual. Es una estimación de la calificación media de la carretera, la estimación puede ser deducida de la observación directa o por medios mecánicos con diferentes equipos, entre los que están: El rugómetro del Bureau Of Public Roads, el perfilómetro de Road Reserch Laboratory etc. para su aplicación es deseable que estos equipos estén bien calibrados.

El índice de servicio se calcula con la siguiente expresión:

$$IS = 5.03 - 1.9 \log (1 + SV) - 0.01 \sqrt{G + P} - 1.38 \frac{2}{RD}$$

donde:

SV = variación de la pendiente

C= Longitud del agristamiento por cada 100 m²

P= Área bacheada por cada 100 m²

RD= Profundidad de las deformaciones en roderas,
medidas con regla de 1.2 m

Por otra parte es necesario reconocer la dispersión y limitaciones de las medidas de rugosidad, de tal manera que en el análisis y en las decisiones se les dé el peso adecuado.

Deterioro superficial. Este se determina de manera subjetiva y puede agruparse en tres categorías:

- a).-Fracturas
- b).-Distorsión
- c).-Desintegración

Adicionalmente se consideran otros defectos como zonas de parches reparados, calaveras y zonas lloradas.

Resistencia estructural. Para realizar la evaluación estructural, generalmente se aplican pruebas no destructivas de deflexión. Entre los equipos más utilizados están los que miden la deflexión del pavimento bajo carga estática; viga benkelman, deflectógrafo móvil de los tipos Lacroix, el deflectómetro viajero, ó la prueba de placa.

El principio en que operan los tres primeros es el mismo, - para fines de esta tesis explicaré el funcionamiento de la viga benkelman, de la fig.III.3 la punta C de la viga que sirve como indicadora, se coloca en forma tal que quede centrada entre la doble llanta del camión lastrado, dicha punta bajará una cierta cantidad, debido a la deformación provocada en el pavimento por el peso aplicado, entonces el brazo D girará en torno a la articulación con respecto al brazo D previamente nivelado, y de esta forma el extensó---

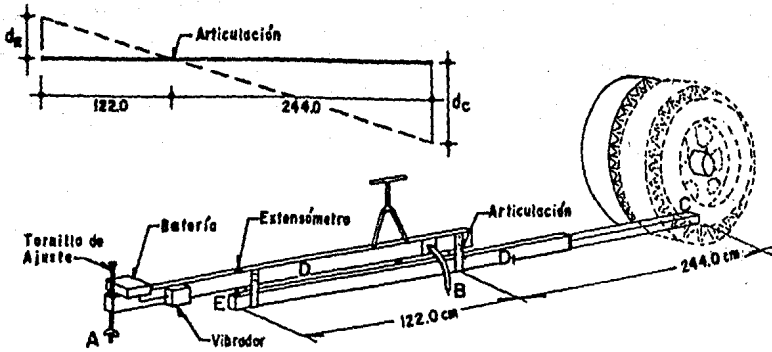
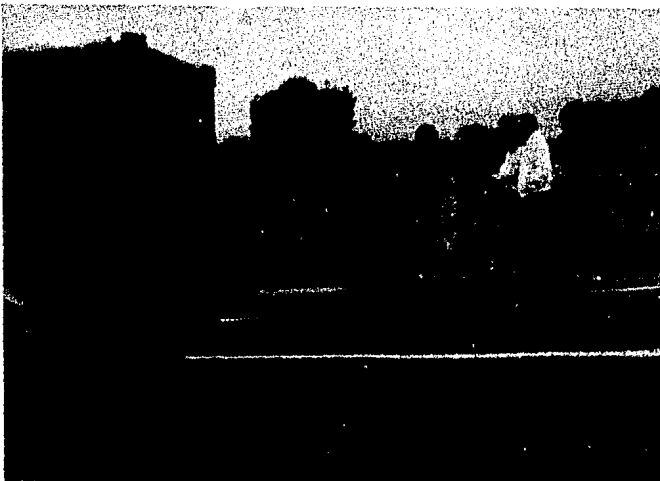


FIG.III.3 VIGA BENKELMAN

metro que se señala hará una lectura, si se retiran ahora las llantas cargadas, el punto C se recuperará en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo, el extensómetro hará otra lectura. Con las dos lecturas del extensómetro es posible saber cuánto se movió el punto E en la operación y con la geometría de la viga, se obtendrá correspondientemente la recuperación elástica de C al quitar el peso.

Es importante asegurarse, que los apoyos de la viga no queden dentro de la zona de influencia de las llantas cargadas, cuando se registra la lectura inicial.



VIGA BENKELMAN EN OPERACION

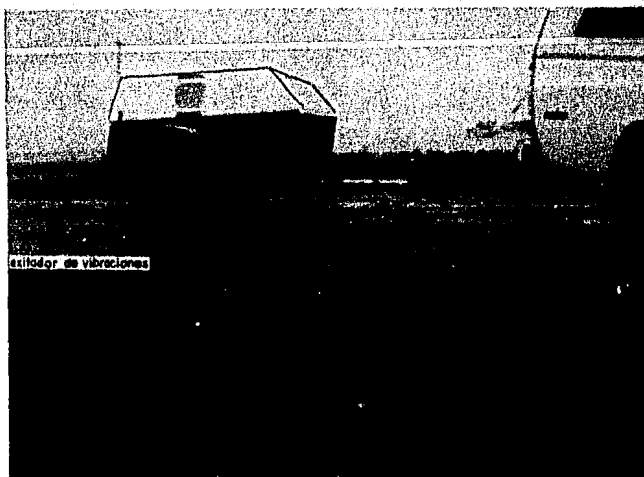


FIG.III-4 DYNAPLECT EN OPERACION

Para medir deflexiones bajo sollicitación dinámica constante se puede utilizar equipos como el DYNAPLECT, (fig.III-4), - cuyo funcionamiento es el siguiente: En esencia el DYNAPLECT se apoya en el método geofísico, que involucra el conocimiento de las propiedades elásticas de las rocas y de los suelos a partir del estudio de la propagación de las ondas elásticas provocadas por un excitador de vibraciones, la perturbación es registrada en diferentes puntos en los que previamente se han colocado sensores. Los movimientos detectados corresponden a trayectorias de las ondas elásticas refractadas en el contacto de formaciones de densidades diferentes, ó reflejadas por superficies de formaciones reflectoras.

Para fines de rehabilitación, se recomienda complementar las pruebas de deflexión con ensayos destructivos en algunos lugares de cada tramo, con objeto de conocer la estructuración del pavimento, y determinar sus características mecánicas en el laboratorio.

Resistencia al deslizamiento.

Para permitir la operación segura de los vehículos en época de lluvias se requiere que el pavimento tenga coeficientes de fricción adecuados entre la carpeta y las llantas de los vehículos, así como que exista un drenaje adecuado para evitar que el agua forme una película entre la llanta y el pavimento, reduciendo la fricción a cero.

El factor de fricción es el cociente, entre la fuerza paralela a la carga de contacto entre la llanta y el pavimento, bajo ciertas condiciones de drenaje, y la fuerza normal a dicha cara, la cual se debe al peso del vehículo.

$$f = \frac{F}{L}$$

De esta forma se deberá efectuar un exámen detallado del estado del pavimento, deben representarse exactamente en un plano todas las zonas de falla e indagar sus causas. Es sumamente importante distinguir entre rupturas debidas al tránsito y las cargadas, y las debidas al clima, drenaje o deficiencia de los materiales, así como una mano de obra defectuosa. La investigación del suelo deberá ser completa, a fin de que revele las variaciones importantes en su estructura, cambios de contenido de humedad, capas que retengan el agua, nivel de aguas freáticas y otros datos similares.

Deben estudiarse las características de drenaje del terreno, para comprobar si han de tomarse medidas correctivas antes de emprender cualquier trabajo de reparación.

Deberá también investigarse los lugares de origen de los materiales disponibles en la zona, tales como bancos de préstamo etc.

Dadas las explicaciones anteriores y como resultado de nuestra evaluación obtuvimos lo siguiente:

Se determinó el índice de servicio actual en un valor - - -

de 2.75 en promedio para todo el tramo, cercano al nivel de rechazo de 2.5, considerando que la construcción del tramo es reciente (data de julio de 1982); hubiera sido deseable un nivel de servicio de 4 y 5.

También se practicaron dos sondeos del tipo pozo a cielo abierto, con objeto de conocer espesores y calidad de los materiales que constituyen actualmente la estructura del pavimento, en los kilómetros 174+750 y 174+650 (ver tabla III.2) a los cuales se hará referencia en párrafos posteriores de este capítulo. El perfil estratigráfico obtenido se presenta en la figura III.5.

Por lo que se refiere a daños superficiales se pudieron apreciar algunos deterioros consistentes en agrietamiento reticular de regular intensidad, algunos desprendimientos superficiales y fisuras capilares, aún cuando la carpeta presenta también como defecto de construcción una textura irregular y exudación de asfalto en forma errática.

Gracias a información recopilada en la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT, se pudo constatar que se han efectuado trabajos de conservación que consistieron en la escarificación de la carpeta existente, utilizando la base como sub-base y construyendo sobre ella una base modificada con 3 o 4% de cemento portland, de 20 cm de espesor y una carpeta de concreto asfáltico con espesor de 10 centímetros. Estos trabajos se efectuaron en el período comprendido entre diciembre de 1981 y julio de 1982.

Pruebas de laboratorio.

Los trabajos de laboratorio se centran en la obtención de los parámetros índice, que permitan estimar el comportamiento del terreno bajo diferentes condiciones. De esta manera para clasificar los suelos se podrá juzgar su granulometría y su plasticidad. Así como su peso volumétrico seco máximo

AUTOPISTA: MEXICO-QUERETARO
TRAMO: PALMILLAS-QUERETARO
CUERPO: IZQUERDO CARRIL DERECHO
SUBTRAMO: DEL KM 174+600 AL KM 176+300

PERFILES ESTRATIGRAFICOS

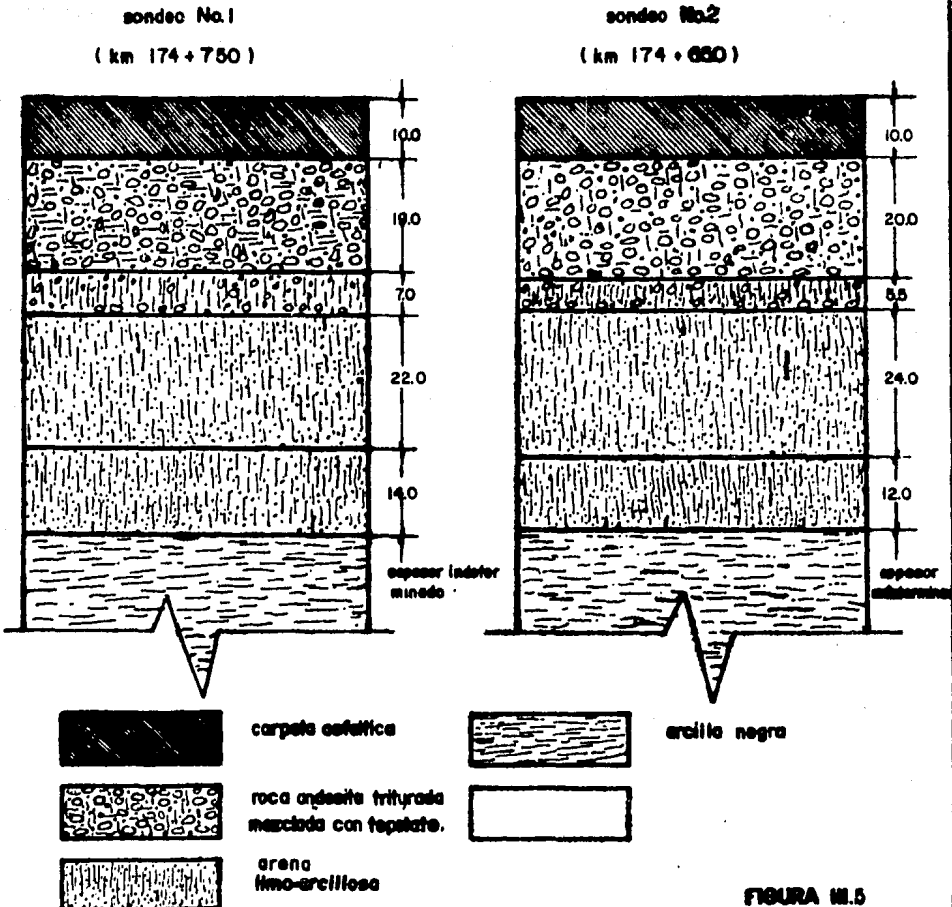


FIGURA III.5

y el v.r.s estándar, como índices de resistencia.

También se extrajeron corazones de la carpeta a los cuales se les determinó:

- a).-Espesor
- b).-Peso volumétrico y grado de compactación
- c).-Composición granulométrica
- d).-Porcentaje de vacíos
- e).-Estabilidad
- f).-Contenido de asfalto

Los resultados aparecen en la tabla III.2.a

Todas las muestras de la sub-estructura, base, sub-base - subrasante y cuerpo de terracería fueron ensayadas para determinarles:

- g).-Clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).
- h).-Contenido de agua
- i).-Límites de consistencia, (Líquido y plástico), LL y LP
- j).-V.R.S.
- k).-Composición granulométrica

Además en forma selectiva se les determinó:

- l).-Equivalente de arena
- m).-Contracción lineal
- n).-Expansión

Los resultados se muestran en la tabla III.2.b

Análisis de resultados y conclusiones preliminares

La deficiencia estructural más notable se refiere a la carpeta asfáltica, cuyas propiedades de los agregados pétreos, en

TABLA III.2.b CALIDAD DE LOS MATERIALES

CAPA	CARACTERISTICAS DEL MATERIAL	KILOMETRAJE				OBSERVACIONES
		174 650		174 750		
TERRENO NATURAL	TAMAÑO MAXIMO	4.75		4.75		el terreno natural, esta - constituido por una or- cilla de alta plastici- dad y bajo VRS.
	% QUE PASA MALLA Nº 475	100		100		
	% QUE PASA MALLA Nº 200	95		95		
	LIMITE LIQUIDO %	81		81		
	INDICE PLASTICO	52		51		
	CONTRACCION LINEAL %	17.3		17.2		
	P.E.S. MAXIMO Kg/m ³	1290		1290		
	COMPACTACION %	107		99		
	VRS. (ESTANDAR) SAT. %	3.1		2.4		
	VRS. DEL LUGAR %					
	EXPANSION %	8.60		8.56		
CLASIFICACION SUCS	CH1		CH			
ESPESOR cm	indeterminado		indeterminado			
SUB-RASANTE	TAMAÑO MAXIMO	63		63		
	% QUE PASA MALLA Nº 475	67		73		
	% QUE PASA MALLA Nº 200	20		10		
	LIMITE LIQUIDO %	41		36		
	INDICE PLASTICO %	18		14		
	CONTRACCION LINEAL %	4.5		5.1		
	P.E.S. MAXIMO Kg/m ³	1497		1607		
	COMPACTACION %	97		116		
	VRS. (ESTANDAR) SAT. %	70		71		
	VRS. DEL LUGAR %					
	EXPANSION %	0.82		0.29		
CLASIFICACION SUCS	SC-SM		SC			
ESPESOR cm	36		36			
SUB-BASE	% QUE PASA MALLA Nº 475	100		100		El equivalente de arena no cumple con especi- ficaciones. La curva granulometri- ca se aloja en la zona II
	% QUE PASA MALLA Nº 200	18		11		
	P.E.S. MAXIMO Kg/m ³	1873		2023		
	EXPANSION %	0.0		0.0		
	VRS. (ESTANDAR) SAT. %	116		146		
	EQUIV. DE ARENA %	19		16		
	LIMITE LIQUIDO %	34		36		
	INDICE PLASTICO %	14		12		
	COMPACTACION %	105		108		
	CONTRACCION LINEAL %	4.7		4.1		
	CLASIFICACION SUCS	SC		GP GC		
ESPESOR cm	5.5		7.0			
BASE	% QUE PASA MALLA Nº 475	100		100		El E.A. y el L.L. no cum- plan con especificacio- nes. La curva granulometri- ca se aloja en las zo- nas I y II respectiva- mente.
	% QUE PASA MALLA Nº 200	12		8		
	P.E.S. MAXIMO Kg/m ³	2106		2080		
	EXPANSION %	0.0		0.0		
	VRS. (ESTANDAR) SAT. %	136		169		
	EQUIV. DE ARENA %	21		16		
	LIMITE LIQUIDO %	35		35		
	INDICE PLASTICO %	9		11		
	COMPACTACION %	95		96		
	CONTRACCION LINEAL %	3.1		3.7		
	CLASIFICACION SUCS	GP GM		GP GM		
ESPESOR cm	20		18			

CALIDAD DE LA CARPETA

TABLA III.2.a

CAPA	Características mecánicas	174 730	175 130	OBSERVACIONES
CARPETA	TAMANO MAXIMO	3/4"	3/4"	La estabilidad es alta y el
	% QUE PASA MALLA No 200	7	55	% de vacíos no cumple --
	CONTENIDO D ASFALTO	5.7	6.8	especificaciones
	G DE COMPACTACION %	97	99	
	ESTABILIDAD kg	780	840	
	FLUJO mm	2.0	1.8	
	RESPECIFICO kg/m ³	2132	2176	
	% DE VACIOS	133	14.7	

lo que respecta a absorción y granulometría, no garantiza un comportamiento futuro apropiado. La muestra asfáltica por su parte indica una rigidez excesiva (estabilidad Marshall), con deflexiones tolerables muy bajas; gran contenido de vacíos y como consecuencia alta permeabilidad y baja durabilidad, con tendencia al agrietamiento prematuro, el contenido de asfalto es muy variable y el espesor de la carpeta resultó escaso ($e = 10$ cm) según el análisis que posteriormente se describirá.

La compactación de la base resultó insuficiente (95 % en vez de 100 %). El espesor característico para fines de revisión es de 20 cm y se recomienda, dado el bajo contenido de cemento, que se le considere como una base hidráulica.

La sub-base, como tal también es de calidad variable y deficiente en sus propiedades de deformabilidad plástica (índice plástico alto y equivalente de arena bajo).

La subrasante conforme a los resultados de resistencia de VRS se infiere que su valor de diseño es superior a 20 % .

Por su parte el terreno natural es de calidad deficiente, constituido por un CH (arcilla de alta plasticidad), posee una expansión alta, así como un VRS bajo y un índice plástico alto.

Tránsito

Los estudios de aforos de tránsito efectuados previamente indican que el TDPA (tránsito diario promedio anual), es del orden de 16,000 vehículos, con una tasa de crecimiento anual estimada en 6 % y una distribución vehicular como se muestra en la tabla siguiente:

<u>TIPO DE VEHICULO</u>	<u>Ap</u>	<u>Ac</u>	<u>B2</u>	<u>C2</u>	<u>C3</u>	<u>T2-S2</u>	<u>T3-S1</u>	<u>T3-S2</u>
Porcentaje	55	I	II	9	9	I	I3	I

Conforme a lo descrito se recomiendan los siguientes parámetros para la rehabilitación de la estructura del pavimento; aplicando el procedimiento recomendado por el instituto de Ingeniería de la UNAM, se deducen los siguientes espesores de grava equivalente; en la tabla III.3 se presenta el procedimiento para transformar el tránsito mezclado al correspondiente tránsito equivalente a ejes sencillos de 8.2 ton, referido al carril de diseño (TDPA). En el análisis se consideró que todos los vehículos transitan cargados, así como un periodo de diseño de 10 años y un $Q_u = 0.8$.

De la tabla III.3

$$\sum L = 8.02 \times 10^7 \text{ (para } z=0 \text{)}$$

$$\sum L = 1.17 \times 10^8 \text{ (para } z=60 \text{)}$$

A continuación se procederá a determinar los espesores de las capas de la estructura, para lo cual utilizaremos la gráfica III.I

Para un diseño a partir del terreno natural;

$$\overline{VRS} = \overline{VRS} (1 - 0.84CV)$$

Donde: \overline{VRS} Valor relativo de soporte de diseño

$CV = \frac{\sigma}{\overline{VRS}}$ coeficiente de variabilidad

\overline{VRS} Valor medio del VRS

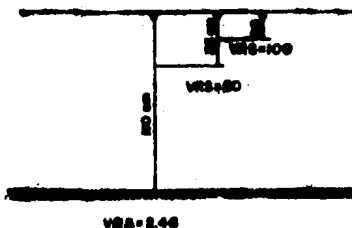
$$\sigma = 0.35$$

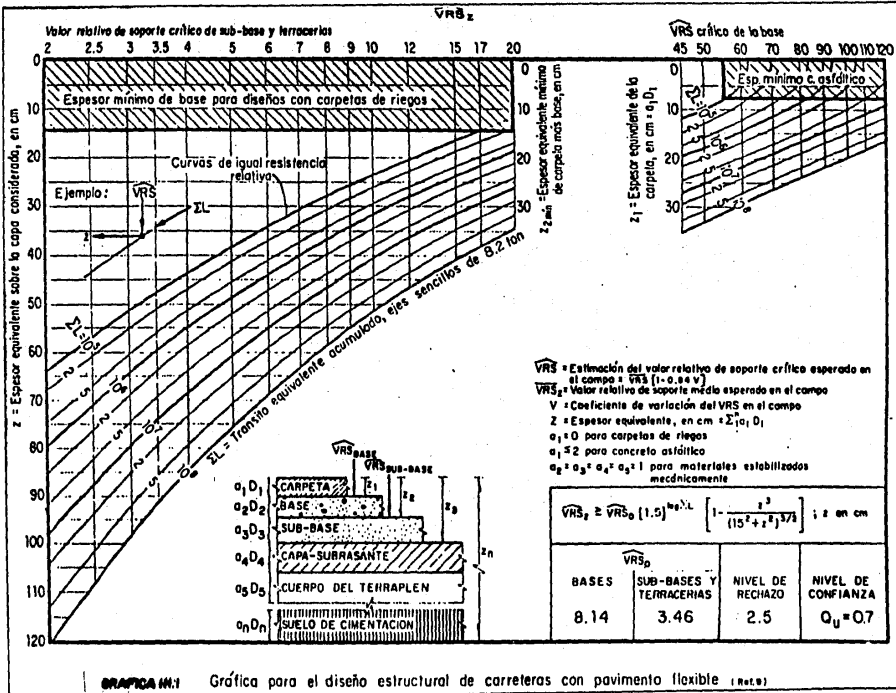
$$\overline{VRS} = 2.75$$

$$CV = \frac{0.35}{2.75} = 0.127$$

$$\therefore \overline{VRS} = 2.75 (1 - 0.84(0.127)) = 2.46$$

entonces:





AUTOPISTA MEXICO QUERETARO
TRAMO PALMILLAS QUERETARO
SUBTRAMO DEL KM 174 800 AL KM 175 300

TABLA III.3

Cálculo del tránsito equivalente acumulado ($\sum L$)

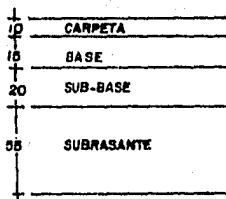
TIPO DE VEHICULO	COMPOSICION DEL TRANSITO	COEFICIENTE DE DISTRIBUCION DE VEHICULOS CARGADOS O VACIOS		COMPOSICION DEL TRANSITO				COEFICIENTES DE DAÑO				No. DE EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 9.2 TON				
		CARGADOS	VACIOS	CARGO	VACIO	Z=0	Z=16	Z=30	Z=60	Z _c						
						2.000	1.890	2.457	2.939	0.1800	0.1701	0.2210	0.2848			
A 2	0.55	CARGADOS	1.0	0.56	0.004	0.000	0.000	0.000	0.0022	0.0000	0.0000	0.0000				
		VACIOS	0.0													
A' 2	0.01	CARGADOS	1.0	0.01	0.538	0.094	0.083	0.018	0.0084	0.0008	0.0002	0.0002				
		VACIOS	0.0													
B 2	0.11	CARGADOS	1.0	0.11	2.000	1.890	2.457	2.939	0.2200	0.2090	0.2703	0.3233				
		VACIOS	0.0													
C 2	0.09	CARGADOS	1.0	0.09	2.000	1.890	2.457	2.939	0.1800	0.1701	0.2210	0.2848				
		VACIOS	0.0													
C 3	0.09	CARGADOS	1.0	0.09	3.000	2.817	2.457	2.940	0.2700	0.2556	0.2210	0.2848				
		VACIOS	0.0													
T2-S2	0.01	CARGADOS	1.0	0.01	4.000	3.110	2.881	2.789	0.0400	0.0311	0.0288	0.0279				
		VACIOS	0.0													
T3-S1	0.13	CARGADOS	1.0	0.13	3.000	3.431	4.747	5.759	0.3900	0.4490	0.6171	0.7487				
		VACIOS	0.0													
T3-S2	0.01	CARGADOS	1.0	0.01	3.000	3.886	4.747	5.761	0.0500	0.0586	0.04747	0.05761				
		VACIOS	0.0													
SUMAS		1.00			1.00	EJES EQUIVALENTES				1.879	1.1827	1.4040	1.6888			
COEF DE ACUMULACION DEL TRANSITO C_T n= AÑOS DE SERV.=10 TCAT= 8%								C _T X TDPA EN CARRIL DE PROYECTO				89278400	89278400	89278400	89278400	
TDPA: TRANSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL = 18000				CD CARRIL DE DISEÑO = 0.90				$\sum L$				8.02 X 10 ⁷	8.05 X 10 ⁷	8.73 X 10 ⁷	1.17 X 10 ⁸	

47

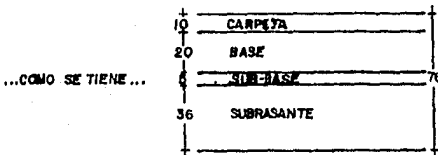
TCAT TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DEL TRANSITO

$$C_T = \left[\frac{1 + r^t - 1}{r} \right]^{1/t} \quad C_T = \left[\frac{1 + 0.08^{10} - 1}{0.08} \right]^{1/10} = 1.0811$$

$$18000 \times 0.90 = 16400 \times 1.0811 = 89278400$$



LO QUE REQUIERE...



ENTONCES:

110-76 = 34
 REQUIERE 34 cm DE SOBRESESPESOR
 EN GRAVA EQUIVALENTE

SE CONSIDERO UN EQUIVALENTE DE 15 PARA
 LA CARPETA

Para el tránsito previsto en los próximos 10 años, se requiere un sobre-espesor en grava equivalente de 30 cm como mínimo conforme a este método; con una sobrecarpeta de 15 cm de espesor, quedaría cubierto este requisito.

Conforme al análisis anterior existan dos posibilidades para rehabilitar el pavimento.

- Permitir la operación de la estructura actual hasta su nivel de rechazo. Una vez alcanzado este momento se levantará la carpeta existente y se sustituirá por una base tratada con cemento asfáltico y una carpeta asfáltica de 20 y 10 cm de espesor respectivamente.
- Construir una sobrecarpeta con espesor de 15 cm, previo de bastastado en caliente, en una profundidad máxima de 2 cm, con objeto de aprovechar parcialmente la capacidad estructural de la carpeta actual.

Rehabilitación del pavimento existente.

Para la rehabilitación del pavimento se decidió colocar una sobrecarpeta con espesores de 16 y 8 cm, en los kms. 174+600 al

174+900 (tramo I) y 175+000 al 175+300 (tramo II), respectivamente, quedando una estructura como la mostrada en la figura III.5.

La colocación de la geomembrana fué propuesta por la Dirección General de Servicios Técnicos, de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, con objeto de experimentar con dicho elemento de refuerzo. La petición obedecía a que la utilización de la geomembrana no permitiría un reflejo de las grietas existentes en la carpeta subyacente; es decir, la aparición en la sobrecarpeta de grietas por reflexión, cuyo efecto sería de graves consecuencias en breve tiempo. También se consideró que los mencionados subtramos representaba una buena oportunidad para experimentar con dicha geomembrana, porque la subestructura de éstos no presentaba daños, atribuyendo los daños manifestados en su superficie, en su mayor parte a las deficiencias detectadas en la carpeta, en lo que se refiere a la calidad de los agregados pétreos, contenido de asfalto y porcentaje de vacíos de la mezcla, el resultado fué una mezcla heterogénea con permeabilidad alta, muy rígida y con tendencia al agrietamiento prematuro.

ESTRUCTURACION DE LOS SUBSTRAMOS DONDE SE COLOCO LA GEOMEMBRANA

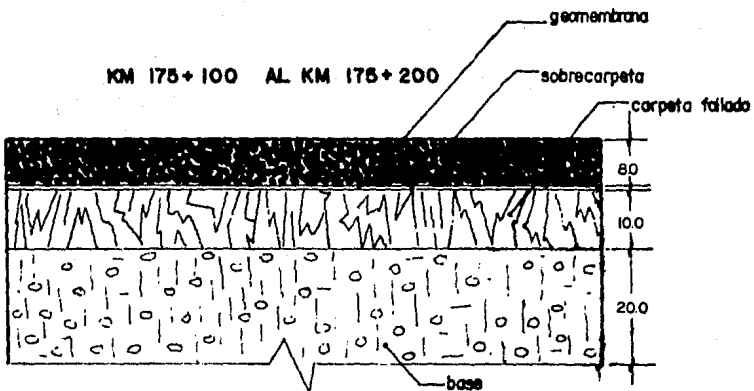
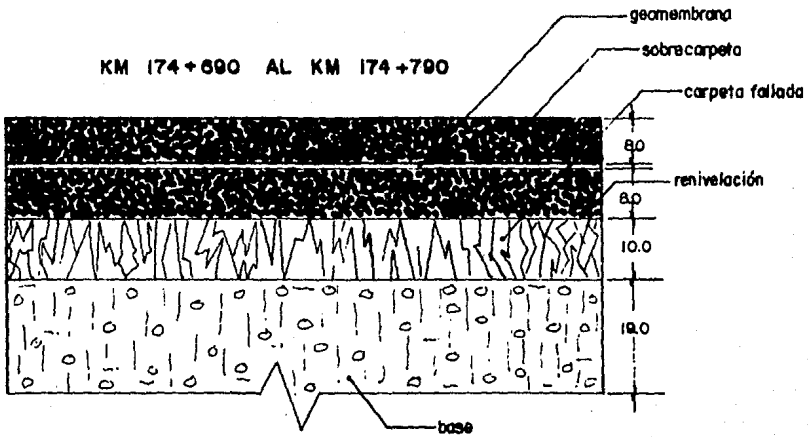


FIGURA .111.5

C A P I T U L O I V

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Considerando las desiciones tomadas y expuestas en el capítulo anterior, para la rehabilitación del pavimento se procederá de la siguiente manera;

Previo a la colocación de la sobrecarpeta (subtramo II) o renivelación (subtramo I), se sanearán las averías existentes en la carpeta actual consistentes en figuras y agrietamiento reticular como ya se mencionó con anterioridad; de acuerdo - al siguiente criterio;

- a).-Cuando su ancho sea menor o igual a 3 mm, se rellenarán con material asfáltico, con una temperatura de aplicación -- que garantice su penetración, se recomiendan asfaltos rebajados de fraguado rápido.
- b).-Cuando su ancho sea mayor a 3mm, se rellenarán con mezcla de producto asfáltico y arena, cuya fluidez garantice la penetración, o con capas alternas de arena y producto asfáltico, siempre cuidando que este último quede en la última capa.
- c).-Se extenderá el material sobrante que haya quedado al terminar el relleno.
- d).-En ningún caso deberá ampliarse una grieta para obtener mejor penetración del material de relleno.

Una vez que se han efectuado las reparaciones pertinentes, se procederá de la siguiente forma:

Subtramo II km. 175+000 al 175+300

- a).-Se barrerá la superficie para que no haya polvo, materia orgánica, manchas de grasa o plaquetas de arcilla pegadas. - La superficie barrida podrá presentar textura abierta y fisuras, con lo que se logrará una perfecta penetración del cemento asfáltico y de ello resultará una mejor liga.

b).-Previo riego de liga con cemento asfáltico en proporción de 1.1 lts/m^2 , la geomembrana será tendida mediante el desenrollado manual o mecánico de los rollos, para tal fin se puede utilizar un tractor con aparejo especialmente diseñado, ésto permitirá el tendido de la geomembrana en forma práctica y pareja.

La geomembrana deberá ser extendida con la mínima cantidad de arrugas, antes de que el asfalto se enfríe y pierda su adhesividad. En caso de que al tenderla se formen pliegues importantes la práctica aconseja, cortar y eliminar el pliegue. El material será desenrollado de modo tal que el lado con pelusa quede en contacto con el cemento asfáltico.

c).-La colocación de la carpeta superficial deberá ser consecutiva a la instalación de la fibra, para ello se utilizará una mezcla en caliente. Cuando el cemento asfáltico ascienda a través de la geomembrana y aflore en la superficie, antes de que la mezcla de la sobrecarpeta hubiere sido aplicada, será necesario secar el aglutinante de las áreas afectadas con arena. Con esto se logrará evitar que la maquinaria de construcción levante la película cuando pase sobre la misma.

d).-La aplicación de la mezcla se llevará a cabo a una temperatura menor de 149 C , la temperatura de la mezcla jamás deberá exceder de 163 C , de lo contrario podría dañarse el material que constituye la geomembrana.

e).-Una vez tendido el concreto asfáltico, lo cual se realizará mediante una extendidora se deberá compactar con rodillo liso de peso ligero, para prever el incrustado y acomodo del pétreo. Posteriormente se seguirá planchando la carpeta con rodillos lisos y neumáticos, siempre cuidando que el equipo no fracture por peso o amasado las partículas de agregado pétreo.

f).-Se deberán escoger días en los que no exista amenaza de lluvia y se decidirán horarios que permitan regar el asfalto; aproximadamente a las 10.00 hrs. ésto permitirá mantener la temperatura del asfalto y con ello se facilitará el incrustado del material pétreo y aún quedará tiempo para efectuar el proceso de compactación, per varias horas.

Se evitará iniciar riegos después de las 4.00 P.M., a los -- cuales no habrá tiempo de proporcionar todos los cuidados.

g).-El riego de liga será incorporado por una petrolizadora circulando sobre la superficie barrida.

h).-Se deberá compactar de las orillas hacia el centro del - pavimento.

Limpieza de cunetas

Se realizará la limpieza o remoción de materiales, piedras o cualquier material extraño, que impida el escurrimiento libre del agua, el material removido se juntará y depositará dentro del derecho de vía, donde no pueda ser arrastrado por -- las aguas hacia la corona del camino.

Si la cuneta está zampeada, al hacer la limpieza deberá cuidarse de no deteriorar el zampeado y ésta deberá revisarse -- minuciosamente, a efecto de corregir cualquier desperfecto -- que permita la filtración de agua.

No se permitirá el crecimiento de hierba en el interior de -- la cuneta, en caso de haberla, se deberá arrancar de raíz.

Subtramo I (km 174+600 al 174+900)

a).-Se barrerá la superficie para que no haya polvo, materia orgánica, manchas de grasa o plaquetas de arcilla pegadas. La superficie barrida podrá presentar textura abierta y fisuras, con lo que se logrará una perfecta penetración del producto agfáltico, y de ello resultará una mejor liga.

b).-Previo a la renivelación con concreto asfáltico, que en promedio tendrá un espesor de 8 cm, se efectuará un riego de liga en proporción de 0.5 lts/m². Para la realización de la renivelación se utilizará una extendedora, con ello se logrará un renivelado práctico y parejo. Con objeto de lograr un espesor compactado de 8 cm, la extendedora dejará al pasar - un espesor de concreto asfáltico de 10 cm.

c).-Una vez tendido el concreto asfáltico, se deberá planchar con rodillo liso de peso ligero, para proveer el incrustado y acomodo del pétreo. Durante las horas subsecuentes se seguirá planchando con rodillos lisos y neumáticos, siempre cuidando que el equipo no fracture por peso o amasado las partículas del agregado pétreo.

El procedimiento a seguir, de aquí en adelante, es el mismo al descrito a partir del inciso (b) del subtramo II.

C A P I T U L O V

ANALISIS DE RESULTADOS

ANALISIS DE RESULTADOS

Para dar inicio a este capítulo, que sin lugar a duda es el de mayor relevancia, debemos abrir un breve espacio y reflexionar sobre aquellos aspectos que se han venido manejando y algunos otros no mencionados aún.

En esencia nuestro objetivo es, encontrar la mejor combinación de materiales con metas previamente señaladas, tendientes a optimizar técnica y económicamente la construcción y rehabilitación de los pavimentos en México. Para lograrlo debemos no sólo ser razonables, sino objetivos al analizar el comportamiento del tramo de prueba y con base en la experiencia obtenida, establecer las prioridades y estrategias más viables, así como la metodología más adecuada que dé una solución realista, ante las realidades de la construcción de la red carretera mexicana.

En el análisis se tratarán de tener presentes todas las variables ligadas al comportamiento del tramo experimental, entre las cuales las más importantes serían; la variable tiempo, la calidad de los materiales y el criterio de diseño utilizados.

Un tema de reflexión resulta ser el tiempo de vida relativamente tan corto que tiene el experimento, pues si inicialmente el pavimento fué diseñado para una vida útil de 10 años, hasta el momento sólo ha transcurrido un 6% de su vida útil (aproximadamente), por lo que sería prematuro dar conclusiones deterministas; sin embargo, se presenta una opinión, basada en la observación directa y de acuerdo a la evaluación practicada después de la rehabilitación del tramo de prueba.

Haciendo referencia a la calidad de los materiales utilizados, cabe hacer notar lo siguiente:

La sobrecarneta que cubre la geomembrana, fué elaborada con material pétreo para base asfáltica, cuyo tamaño máximo es una pulgada; las muestras asfálticas analizadas dejan ver una estabilidad baja y un alto contenido de vacíos (15.5%, se tolera 8% como máximo según las especificaciones), provocando baja durabilidad y cierta tendencia al agrietamiento prematuro (ver tabla V.A)

a).-Revisión estructural del pavimento por deflexiones, aplicando el procedimiento propuesto por el Departamento de Carreteras de California.

Determinación del Índice de Tránsito

$$IT = 6.7 \left(\frac{CE}{IO} \right)^{1119}$$

Donde: $CE = p \sum CE \cdot F_p$ Carga equivalente de 5000 lb

Donde: p = Período de años de diseño

$$F_p = \frac{I + \frac{(TDPA)}{(TDPA)}}{2} \quad \text{Factor de proyección}$$

Donde: TDPA = Tránsito Diario Promedio Anual

Los índices f e i se refieren al instante final e inicial del período de 10 años

Para el cálculo del número de cargas por rueda equivalente de 5000 lb (CE), que puede esperarse durante la vida de diseño se proponen ciertos factores de conversión, (ver tabla - V.I).

CALIDAD DE LA CARPETA

TABLA V.A

CAPA	Características mecánicas	174 730	175 130	OBSERVACIONES
CARPETA	TAMAÑO MÁXIMO	1"	1"	La estabilidad y el % de vacíos no cumplen especific.
	% QUE PASA MALLA No. 20	6	10	
	CONT. ASFALTO EN MEZCLA	6.1	6.7	
	% DE COMPACTACION	95	98	
	ESTABILIDAD kg	481	508	
	FLUJO mm	3.5	3.0	
	P. ESPECÍFICO kg/m ³	2048	2113	
	% DE VACÍOS	15.5	11.1	

Tabla V.I

Factores de equivalencia para llantas en arreglo dual de vehículos de varios ejes con ruedas estándar de 2270kg (5000 lb)

Número de ejes	Valor de carga equivalente (CE), para un año de servicio del pavimento	
	Carreteras principales	Carreteras secundarias
2	280	200
3	930	690
4	1320	1070
5	3190	1700
6	1950	1050

El análisis de tránsito, con base en la fig. V.I. se hace en la tabla V.2.

Tabla V.2.

Análisis de tránsito

Tipo de vehículo	Volumen promedio diario anual	Volumen promedio diario anual en al carril de diseño	Constante CE	(CE)
Ap	8,800	8,360	-----	
Ac	160	152	-----	
B2	1,760	1,672	280	468,160
C2	1,440	1,368	280	383,040
C3	1,440	1,368	930	1'272,240
T2-S2	160	152	1,320	200,640
T3-S1	2,080	1,976	1,320	2'608,320
T3-S2	160	152	3,190	485,032
TOTAL	16,000	15,200		CE=5'417,432

De la ecuación del factor de proyección y con una tasa de crecimiento anual estimada en 6% queda:

$$(TDPA)_f = (TDPA)_i (1 + 0.06)^{10}$$

De donde la relación:

$$\frac{(TDPA)_f}{(TDPA)_i} = 1.79$$

Por tanto el factor de proyección es:

$$F_p = \frac{1 + 1.79}{2} = 1.395$$

y:

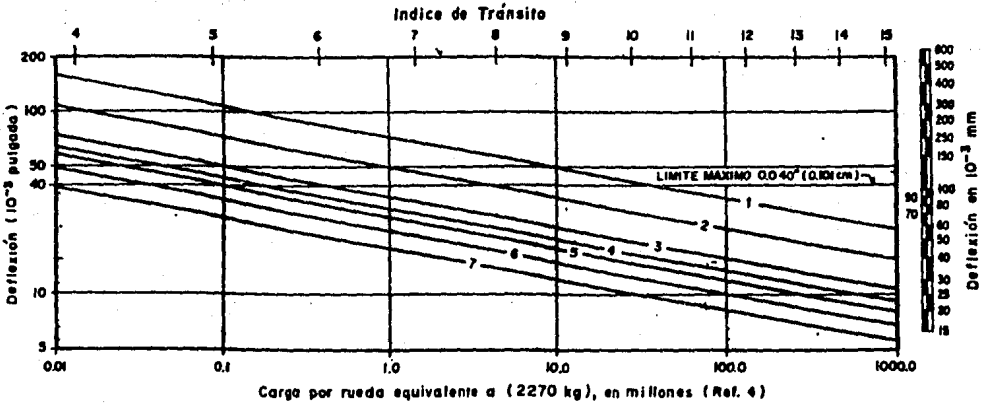
$$CE = 10 \times 1.395 (5'391,950) = 75'596,138.61$$

Se estará ahora en condiciones de calcular el valor de IT

$$IT = 6.7 \left(\frac{75'596,138.61}{10^6} \right)^{0.118} = 11.21$$

Deferminación del refuerzo utilizando las deflexiones medidas con Viga Benkelman.

Con ayuda de la gráfica V.1, en cuyo eje de las ordenadas se representan los valores de deflexión tolerable (δ_m), y -



TIPOS DE SUPERFICIES DE RODAMIENTO	Espesor: (cm)
1.- Tratamiento Superficial	1.2
2.- Concreto Asfáltico	3
3.- Concreto Asfáltico	6
4.- Concreto Asfáltico	7.5
5.- Concreto Asfáltico	9
6.- Concreto Asfáltico	10
7.- Concreto Asfáltico	15
7.- Base Tratada con Cemento	15

GRAFICA V.1 Gráfica para la determinación del nivel tolerable de deflexión en el Método de California Ref. 4

en el eje de las abscisas se representan los valores de IT , se determinó el valor de la deflexión tolerable, utilizando para ello las curvas correspondientes a 7.5 y 15 cm de espesor de concreto asfáltico, los valores obtenidos aparecen en la tabla V.3.

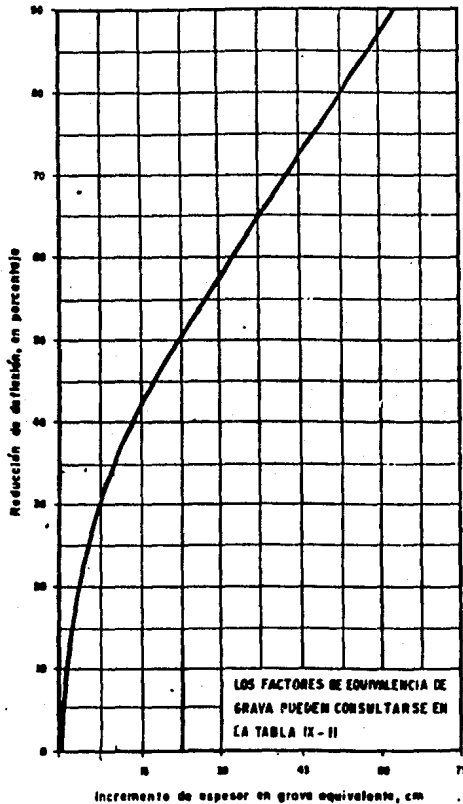
A continuación se determinó la deflexión estadística representada por δ_{90} de la siguiente manera: El valor δ_{90} es tal que el 20% de los valores obtenidos sea mayor y el 80% sea menor. Los valores de δ_{90} aparecen en la tabla V.3.

El valor de δ_{90} se comparó con la deflexión tolerable obtenida; como δ_{90} resultó ser mayor que la deflexión tolerable, se procedió a determinar un porcentaje de reducción en la deflexión medida según la siguiente expresión:

$$R_d = \frac{\delta_{90} - \delta_{tm}}{\delta_{tm}} (100)$$

Los valores obtenidos

se muestran en la tabla V.3. Con el valor de R_d , se entró a la gráfica V.2, para obtener los espesores de grava equivalente que se requieren como refuerzo del pavimento en estudio (ver tabla V.3).



GRÁFICA V.2

Incremento del espesor de un pavimento (grava equivalente) en función del coeficiente de reducción de deflexiones (Método de California, Ref.4)

Determinación del refuerzo con deflexiones medidas con Equipo Dynaflet.

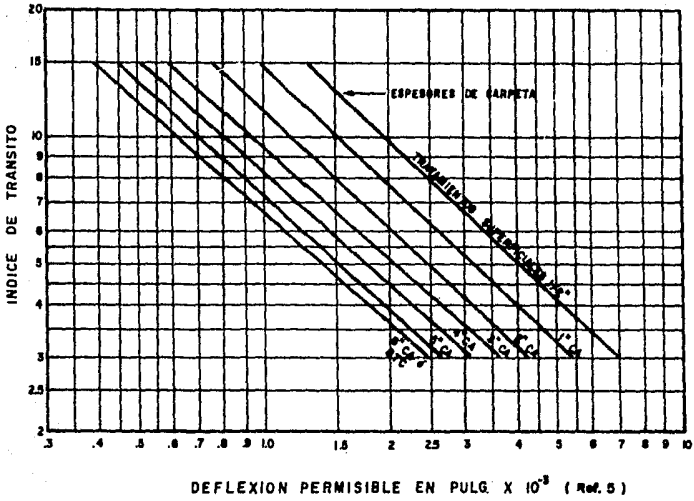
Con ayuda de la gráfica V.3, se determinó la deflexión tolerable en la superficie del pavimento, para lo cual se utilizaron las curvas correspondientes a espesores de concreto agfáltico de 3" y 6", los resultados obtenidos se muestran en la tabla V.3.

A continuación se determinó la deflexión estadística representada por δ cuyos valores aparecen en la tabla V.3. El valor de δ se comparó con el valor de la deflexión tolerable obtenido: como $\delta = (\bar{X} + 2\sigma)$, resultó ser mayor que la deflexión tolerable y apoyándonos en la gráfica V.4, se determinó el incremento en espesor de concreto asfáltico requerido como refuerzo del pavimento en estudio, (ver tabla V.3).

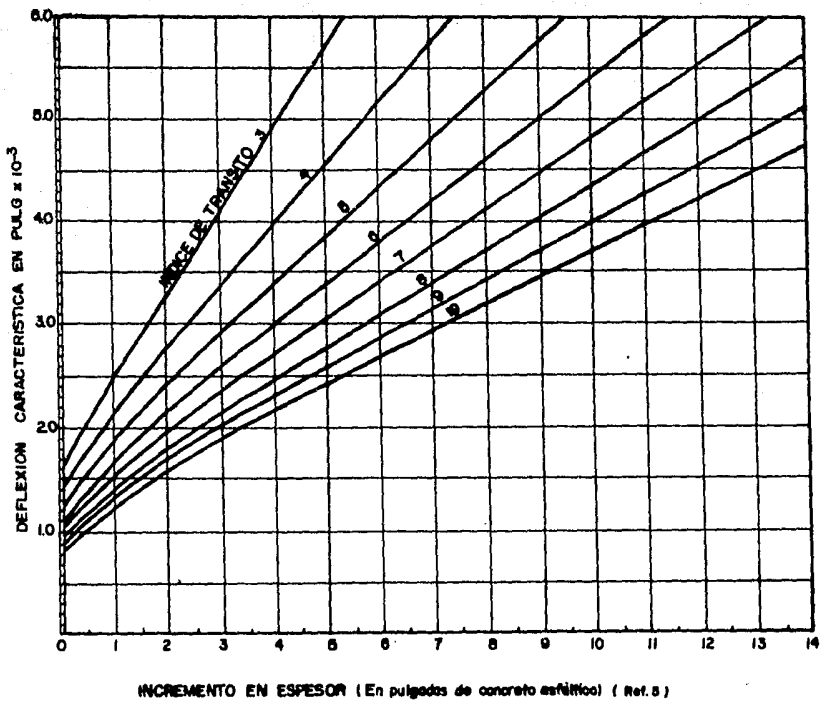
Evaluación del pavimento

b).-A partir del mes de junio en que se colocó la geomembrana en el tramo experimental, se llevó a cabo un levantamiento general mensual, con objeto de evaluar las condiciones superficiales del pavimento y seguir su evolución con detalle (ver tablas V.4). asimismo se efectuaron mediciones periódicas de deflexión a cada 20 m, a lo largo de los dos subtramos, con viga benkelman utilizando para ello un camión lastrado con 3.2 ton; también se efectuaron mediciones con equipo dynaflet con objeto de conocer en forma directa las deflexiones de tipo dinámico que experimenta el pavimento cuando es sometido a oscilaciones persistentes; es decir, de duración muy corta en sentido vertical.

Las mediciones tanto con viga benkelman, como con equipo dynaflet, fueron tomadas en diferentes puntos del camino de acuerdo al siguiente criterio;



GRAFICA V.3



GRAFICA V.4

TABLA V.3 Resumen de requerimientos de sobre-espesor según el análisis por deflexiones

KILOMETRAJE	VIGA BENKELMAN				EQUIPO DYNAPLET			
	Deflexión tolerable $\delta_m \times 10^3$	Deflexión $\delta_m \times 10^3$	$R_v = \frac{\delta_m}{\delta_m}$ (100)	Espesor en cm de grava equiv.	Deflexión tolerable $\delta_m \times 10^3$	Deflexión $\delta_m = (R - 26)$	Espesor de concreto castigo en cm	
174 600 174 700	8.7	19.5	55.4	28	0.54	190	8.6	
174 700 174 800	8.7	19.5	55.4	28	0.54	188	8.1	
174 800 174 900	8.7	17.2	49.5	21	0.54	180	7.1	
175 300 175 200	18.6	25.2	36.3	11	0.81	2.08	9.1	
175 200 175 100	18.6	27.5	32.4	8	0.81	183	7.5	
175 100 175 000	18.6	27.2	31.8	7.5	0.81	2.10	10.2	

EVALUACION DE PAVIMENTOS

CARRETERA: MEXICO-QUERIETARO TRAMO: KM 174+800 AL 178+800 ORIGEN: PALMILLAS FECHA: JULIO

CARRAMIENTOS	CONDICIONES ESTRUCTURALES (E) excelente, (B) muy bueno (MB), bueno (B), regular (R), malo (M), muy malo (MM)		DAÑOS OBSERVADOS (ninguno (0), menor (1), moderado (2), mayor (3), severo (4))												CARACTERÍSTICAS DE TRANSITO			OBSERVACIONES (Condiciones climáticas, topografía, geometría, ancho, pendiente, drenaje, curva horizontal o vertical, etcétera)	
			CAMINO		GRIETAS			CARPETA		MORMACONES		MANTENIMIENTO		TOPA			CLASIF.		
			TIPO	MATERIAL	LONGITUDINALES	TRANSVERSALES	POLIGONALES	ABERTURAS	ESTADO ACTUAL	RECONSTRUCCION	RECONSTRUCCION	RECONSTRUCCION	RECONSTRUCCION	RECONSTRUCCION	RECONSTRUCCION	RECONSTRUCCION			RECONSTRUCCION
174+590-174+800	CH	T	M	4.5															Los deformaciones ocasionadas en la zona de los mormacos del tramo son debidas a obras de construcción.
174+810-174+840	CH	T	M	4.5															
174+850-174+870	CH	T	M	4.5															
174+870-174+900	CH	T	M	4.5															
174+900-174+930	CH	T	M	4.5															
174+930-174+960	CH	T	M	4.5															
174+960-174+990	CH	T	M	4.5															
174+990-174+1020	CH	T	M	4.5															
174+1020-174+1050	CH	T	M	4.5															
174+1050-174+1080	CH	T	M	4.5															
174+1080-174+1110	CH	T	M	4.5															
174+1110-174+1140	CH	T	M	4.5															
174+1140-174+1170	CH	T	M	4.5															
174+1170-174+1200	CH	T	M	4.5															
174+1200-174+1230	CH	T	M	4.5															
174+1230-174+1260	CH	T	M	4.5															
174+1260-174+1290	CH	T	M	4.5															
174+1290-174+1320	CH	T	M	4.5															
174+1320-174+1350	CH	T	M	4.5															
174+1350-174+1380	CH	T	M	4.5															
174+1380-174+1410	CH	T	M	4.5															
174+1410-174+1440	CH	T	M	4.5															
174+1440-174+1470	CH	T	M	4.5															
174+1470-174+1500	CH	T	M	4.5															

TABLA V-4

EVALUACION DE PAVIMENTOS

CARRETERA: MEXICO-QUERETARO TRAMO: KM 174-800 AL 175+300 ORIGEN: PALMILLAS FECHA: OCTUBRE

ADORNAMENTOS		CONDICIONES ESTRUCTURALES excelente (E), muy bueno (MB), bueno (B), regular (R), malo (M), muy malo (MM)										DAÑOS OBSERVADOS ninguno (0), menor (1), moderado (2), mayor (3), severo (4)					CARACTERISTICAS DE TRANSITO			OBSERVACIONES (Condiciones climáticas, se técnicas topográficas, geométricas, ancho, pendiente, acostamientos, curva horizontal y vertical, sobre elevación)				
		CAMINO					GRIETAS					CARPETA	INFORMACIONES	RECONSTRUCCION LOCALIZADA	TOTAL CLASIFICACION									
NO	A	TIPO DE PAVIMENTO	ESTADO DE CONSERVACION	ESTABILIDAD TERRESTRE (T)	SUELO Y SUB-DRENAJE	REGULACION DE AGUA	DESVIACIONES Y DESNIVEL TERRESTRE	CONDICIONES LONGITUDINALES	POLIGONALES		ABERTURAS		ESTADO DE LA CARPETA	INFORMACIONES	RECONSTRUCCION LOCALIZADA	TOTAL	CLASIFICACION							
									CALLADO (C.A.P.)	MAPA (50.0cm)	FISURAS	SRIETAS (angos)					FALTA DE ADHESION	ESTADO DE LA CARPETA	INFORMACIONES		A	B	C	
174+120-174+810	CH	T	M																	X			Los abastecedores camión...	
174+810-174+840	CH	R	M																		X			da a lo largo de las "trazas"
174+840-174+870	CH	T	M																		X			del trazo son débiles y de...
174+870-174+900	CH	T	M																		X			fectos constructivos
174+900-174+930	CH	T	M																		X			La carpeta muestra una tra...
174+930-174+960	CH	T	M																		X			que sobren en un 30% del...
174+960-174+990	CH	T	M																		X			area total de la superficie
174+990-174+820	CH	T	M																		X			da rodamiento
174+820-174+850	CH	T	M																		X			
174+850-174+880	CH	T	M																		X			Los curvas se encuentran...
174+880-174+910	CH	T	M																		X			abundantes por material gra...
174+910-174+940	CH	T	M																		X			ducto de la escorificación
174+940-174+970	CH	T	M																		X			de carpeta antigua
175+080-175+080	CH	T	M																		X			
175+080-175+110	CH	T	M																		X			
175+110-175+140	CH	T	M																		X			
175+140-175+170	CH	T	M																		X			
175+170-175+200	CH	T	M																		X			
175+200-175+230	CH	T	M																		X			
175+230-175+260	CH	T	M																		X			
175+260-175+290	CH	T	M																		X			
175+290-175+300	CH	T	M																		X			

Las mediciones se practicaron en las rodadas externa e interna del carril derecho, en el cuerno izquierdo del tramo experimental, de ello tenemos un reporte ordenado en el anexo 1.

Como complemento de información se realizaron mediciones de deformación permanente con perfilógrafo en secciones transversales a cada 20 m, en los dos subtramos, las cuales aparecen dibujadas en el anexo 2.

Análisis de las gráficas de deflexión con la viga benkelman.

Las deflexiones medidas con viga benkelman acusan una alta dispersión, cuyos valores medios están por arriba de la deflexión tolerable. En las gráficas del anexo 1.a, se puede observar -- que las deflexiones más altas coinciden con el punto de contacto entre el pavimento que contiene geomembrana y el que no lo contiene; a las deflexiones medidas se les han aplicado una serie de ajustes y correcciones, consistentes en eliminar aquellos valores muy disparados, o que se encuentran fuera de rango, los valores que fueron eliminados, aparecen encerrados en un círculo en las gráficas del anexo 1.a, y los valores promedio y desviaciones estándar corregidos, aparecen en la tabla resumen.

Es pertinente hacer notar que existe una correspondencia bastante definida, entre la magnitud de las deflexiones y el espesor de la carpeta; observese la tabla resumen, en la rodada interna, el subtramo al cual corresponde una deflexión promedio de 24×10^{-3} (aproximadamente), es justamente al que hemos atribuido un valor de 16 cm de espesor de sobrecarpeta, mientras el subtramo con deflexión promedio de 27×10^{-3} (aproximadamente) tiene un espesor de sobrecarpeta de 8 centímetros.

Si hacemos una comparación de los valores de deflexión, entre los obtenidos de la rodada externa y los obtenidos de la roda-

da interna, observaremos que los últimos son ligeramente mayores.

Análisis de las gráficas de deflexión y de los 5 geófonos - con equipo Dynaflect, anexo 1.b y 2 respectivamente.

Por lo que corresponde a las mediciones de deflexión realizadas con equipo Dynaflect, las observaciones y comentarios -- son los siguientes:

Las deflexiones se ven ligeramente influenciadas por la presencia de la geomembrana, traduciéndose en valores de deflexión menores. Esto es claramente observable en la tabla resumen y en las gráficas de los 5 geófonos del anexo 2.

La deflexión ha aumentado conforme transcurre el tiempo, observamos, en la tabla resumen, los valores promedio obtenidos en los diferentes meses y concluiremos que los valores mayores corresponden justamente a los del mes de noviembre.

análisis del perfil de los 5 geófonos (ver anexo 2)

El perfil de los 5 geófonos está dibujado en una gráfica semi-logarítmica, en donde el eje de las ordenadas en escala logarítmica representa los valores de deflexión, y el eje de las abscisas (en escala natural), corresponde al kilometraje de cada estación o punto monitoreado.

Los perfiles forman familias de curvas que representan diferentes condiciones de comportamiento de la estructura del pavimento, por citar un ejemplo, nos indican cuando se trata de un medio heterogéneo y cuando de uno homogéneo.

La deflexión leída en el sensor número 1, es el primer indicador de resistencia o debilidad del pavimento, claro que ello involucra el conocimiento de los siguientes aspectos, -- mismos que ya utilizamos cuando se realizó la revisión estructural.

- a).-Determinación de la deflexión característica, basada en un estudio estadístico de las lecturas del sensor No. 1.
- b).-Determinación del Índice de Tránsito "IT" (basado en el método de California).

En relación a la familia de curvas, una curva cóncava indica que la capa superficial es la más débil de la estructura, una curva convexa, indica que las capas inferiores presentan mayor debilidad; también la pendiente de las curvas indica si el conjunto o cualquiera de las capas integrantes de él, son o no débiles; por ejemplo, pendientes que tienden a infinito indican debilidad, en cambio pendientes que tienden a cero indican resistencia.

Los sensores más cercanos a las ruedas rígidas donde se aplica la carga, nos dan el conocimiento de las capas superficiales - mientras los sensores más alejados nos indican el comportamiento de las capas profundas.

En el presente trabajo, sólo se analizarán dos de las gráficas que se presentan en el anexo 2, con objeto de que el lector logre un mejor entendimiento de su interpretación, posteriormente se analizarán todas ellas en conjunto, haciendo las observaciones pertinentes e indicando oportunamente cuál fué la causa que dió origen a los reflejados en las gráficas.

Analizando la gráfica del anexo 2, perteneciente al mes de julio, rodada interna, km 174+890 al km 174+590.

La buena uniformidad de la familia de curvas representa un comportamiento homogéneo, La forma convexa en la parte superior - indica que las capas inferiores son más débiles; sin embargo, - las curvas presentan la forma cóncava en su parte inferior indicando que las capas intermedias (la base y la subbase), junto con las terracerías son las más débiles del sistema. En general la gráfica muestra un buen comportamiento del pavimento, con pendientes suaves (relativamente), indicio de resistencia.

Obsérvese también como la lectura del geófono número 1, baja sensiblemente en el subtramo donde se colocó la geomembrana.

Analizando la gráfica del anexo 2, perteneciente al mes de noviembre, rodada externa, km 175+300 al 175+000.

La mala uniformidad de la familia de curvas, significa resistencias muy variables; sin embargo, se observa como característica de la familia de curvas pendientes fuertes (cerca de los 45°, medidas con respecto a la horizontal y en el sentido de las manecillas del reloj), indicio de debilidad del sistema.

Con excepción de los primeros 60 m, la carpeta acusa un mal comportamiento, incluso en los cadenamientos 175+100 y 175+090, muestra mayor debilidad que la capa subyacente (la base). Por su parte la subrasante es la capa con mejor comportamiento, obsérvese la cóncava en la parte media y la forma convexa en la parte inferior, obsérvese también la pendiente en esta parte de las curvas.

La terracería representada por la última parte de las curvas acusa un comportamiento pobre.

Análisis general de los perfiles de las gráficas de los 5 geófonos.

A grandes rasgos los perfiles de las gráficas de los 5 geófonos dejan ver un comportamiento heterogéneo (relativamente) del sistema, con resistencias variables.

Se puede observar como característica típica de la familia de curvas en su parte superior, pendientes variables (resistencias variables), en su parte media superior pendientes pronunciadas indicio de debilidad, en su parte media inferior pendientes suaves indicio de resistencia, y en su parte inferior

pendientes pronunciadas indicio de debilidad.

De esta manera las capas de base y sub-base representadas por la parte media superior de los perfiles, acusan poca resistencia respecto de la carpeta, consecuencia de esto y al estar el sistema sometido a la acción continua de las curvas del tránsito, ha provocado que estas capas hayan transmitido efectos de fatiga a la carpeta degradándola (obsérvese en las gráficas de los 5 geófonos la evolución de la parte superior de las curvas).

Por su parte la subrasante, representada por la parte media inferior, es la capa con mejor comportamiento, obsérvese la forma cóncava en la parte media y la forma convexa en la parte inferior, indicio de mayor resistencia de esta capa.

Por último la terracería deja ver un comportamiento deficiente, la pendiente fuerte de la parte inferior de la familia de curvas lo corroboró.

Es importante hacer notar, puesto que estamos analizando el comportamiento de la geomembrana, que la deflexión leída en el sensor número 1, tiende a descender ligeramente en donde existe geomembrana, indicio de que en esta zona el pavimento opone mayor resistencia a ser flexionado.

La deflexión media disminuye cuando se aumenta el espesor de la carpeta de concreto asfáltico (obsérvese las gráficas).

Por lo que respecta a las mediciones de deformación permanente tomadas con perfilógrafo, mismas que aparecen dibujadas en secciones transversales en el anexo 3, se pueden observar algunas zonas de enclavamiento de hasta 1.5 cm de profundidad, dichas deformaciones son debidas a defectos en la construcción de la sobrecarpeta y se considera que éstas no han tenido una evolución de importancia trascendental.

CONCLUSIONES

Dadas las características de los deterioros prematuros mostrados por el pavimento, deducidos de la observación directa, y con base en los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio y campo se concluye lo siguiente:

a).-Es evidente que existe una deficiencia estructural, dado que las combinaciones de resistencia al esfuerzo cortante de cada capa, y los respectivos espesores, no son los adecuados para que se establezca un mecanismo de resistencia apropiado; es decir, la falla prematura del pavimento, es debida a una incongruencia estructural evidenciada por la falta de calidad y espesores necesarios a efecto de satisfacer el criterio establecido por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, de la existencia de una relación lineal entre el logaritmo de resistencia y el logaritmo del número de repeticiones de carga. - Haciendo notar que el desequilibrio se genera en su mayor parte en la terracería, cuya calidad es deplorable.

b).-La construcción de la sobrecarpeta ha inducido una incompatibilidad de flexibilidades en la estructura del pavimento; el módulo de elasticidad de ésta capa ha aumentado drásticamente y desproporcionalmente respecto de la capa que le subyace, estableciendo un mecanismo incompatible elásticamente, lo que estimula la aparición prematura de los efectos de fatiga.

c).-La construcción de las sobrecarpetas tuvo deficiencias notables, en lo que se refiere a homogeneidad y uniformidad, especialmente en las juntas, en donde se pudieron observar algunas deformaciones debidas a exceso de asfalto en la mezcla, - aún cuando la carpeta presenta como defecto una textura abierta e irregular en un 35% del área de su superficie y deformaciones longitudinales

d).--El alto contenido de vacíos es también, en parte, un componente que propicia las condiciones para un fisuramiento prematuro del pavimento, físicamente representa la existencia de grandes huecos, o muchos de ellos entre partículas y partículas del pétreo, que forman planos de falla por donde la grieta se extiende rompiendo la homogeneidad de la mezcla.

e).--De acuerdo a la revisión estructural realizada en páginas anteriores, es evidente que el pavimento requiere la colocación de un refuerzo para llegar a una vida útil de 10 años; al respecto se considera conveniente, que antes de colocar -- los espesores necesarios; obtenidos a partir de la revisión -- realizada por el método propuesto por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (ver anexo 4), llevar a cabo pruebas de consolidación al material que constituye el terreno natural, a fin de determinar si éste, por efecto de la presión ejercida por el propio peso de la estructura pudiera consolidarse, previo a esta forma éste fenómeno susceptible de ocurrir.

En relación al comportamiento de la geomembrana en el tramo -- experimental, se concluye lo siguiente:

f).--En éste caso existe una deficiencia estructural como ya -- se mencionó con anterioridad; por tanto, con la colocación de la geomembrana como elemento de refuerzo, no se lograrán obtener los resultados óptimos favorables esperados.

Cabe hacer la aclaración siguiente: La colocación de la geomembrana trae consigo una disminución de las deflexiones elásticas, así como de las deformaciones plásticas del pavimento, sin embargo, éstas no se consideran de trascendencia en el -- comportamiento del mismo, dado que, si bien es cierto que al aplicar la carga entra en tensión el refuerzo, también es verdad, que éste por sus propiedades de alargamiento se flexiona junto con la sobrecarpeta, y por tanto no se contrapone a los

efectos de tensión, contra los cuales la mezcla asfáltica no es resistente.

Por consiguiente, la afirmación hipotética hecha en el desarrollo del presente trabajo, de que con la colocación de la geomembrana se lograría un efecto similar al del acero de refuerzo en el concreto hidráulico, es relativamente falsa.

g).- La colocación de la geomembrana contrarresta la aparición de las grietas o fracturas por reflexión en la sobrecarpeta, - inducidas por las grietas existentes en la carpeta que le subyace. De esta manera la colocación de la geomembrana podrá prolongar la vida útil del pavimento.

h).- La geomembrana no es sustituto de un buen diseño, tampoco de un procedimiento constructivo deficiente, ni mucho menos de un diseño inadecuado de las obras de drenaje y subdrenaje de un pavimento.

La colocación de una geomembrana se fundamentará en los siguientes conceptos:

i).- Las cargas actúan en la superficie y los esfuerzos disminuyen con la profundidad, luego el requerimiento de resistencia será máximo en la superficie.

ii).- El riesgo de falla por fatiga, depende de la intensidad del esfuerzo reiteradamente aplicado, en confrontación con la resistencia máxima del elemento (especialmente a la tensión si se trata de concreto o mezcla asfáltica).

En este sentido el comportamiento de un pavimento a largo plazo, dependerá del equilibrio existente entre la resistencia proporcionada a su estructura, y los efectos destructivos colaterales del tránsito y las variables ambientales a que este expuesto.

Es importante hacer quedar bien claro, que éste es el resultado de la experimentación hecha con un tipo de geomembrana, y por ello las conclusiones aquí presentadas no se deberán aplicar en forma general, dado que las variables que intervinieron (confección de la geomembrana, material que la constituye así como las condiciones de experimentación) en la prueba son exclusivas de la misma. Por consiguiente, se deberá actuar con un criterio objetivo para utilizar correctamente la experiencia aquí obtenida.

SUGERENCIAS PARA INVESTIGACIONES FUTURAS

Convendrá implantar un control de calidad a los materiales utilizados, así como mantener un estricto y eficiente control durante la construcción de pavimentos (especialmente en el caso de una investigación).

Convendrá seguir la evolución de dicho camino hasta el fin de su vida útil, claro está que la destrucción prematura será siempre una sorpresa desagradable; sin embargo, ni el fracaso parcial o absoluto podrán asegurar que en el futuro esta fué una experiencia sin utilidad sino todo lo contrario.

En futuras colocaciones será conveniente anclar a la geomembrana de sus extremos longitudinales, de tal forma que absorva con mayor intensidad los esfuerzos de tensión.

Finalmente se deduce la conveniencia de fomentar el uso de soluciones especiales en donde la naturaleza del problema -- así lo requiera, de esta manera impulsaremos el desarrollo dando auge a la investigación cuya práctica es elemental para el avance de la tecnología.

A N E X O I

RESUMEN DE MEDICIONES DE DEFLEXION CON VIGA BENKELMAN Y EQUIPO DYNAPET CORREGIDOS

KILOMETRAJE	JULIO 17 DE 1985				AGOSTO 27 DE 1985				OCTUBRE 9 DE 1985				NOVIEMBRE 11 DE 1985				R
	V.BENKELMAN		E.DYNAPLET		V.BENKELMAN		E.DYNAPLET		V.BENKELMAN		E.DYNAPLET		V.BENKELMAN		E.DYNAPLET		
	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	
174 590 - 174 690	23.6	3.0	1.67	0.116	24.8	6.82	1.53	0.136	23.6	3.24	1.73	0.064	16.5	2.45	1.78	0.151	
174 690 - 174 790	24.8	3.28	1.65	0.068	23.01	3.48	1.66	0.165	25.43	3.26	1.79	0.162	19.4	2.43	1.62	0.210	
174 790 - 174 890	24.9	2.59	1.74	0.118	27.3	5.84	1.73	0.116	22.6	2.56	1.86	0.227	19.0	2.86	1.63	0.110	
175 000 - 175 100	26.3	3.57	1.90	0.168	28.6	6.82	2.00	0.272	27.7	5.64	2.12	0.129	23.0	2.7	2.06	0.256	
175 100 - 175 200	26.8	3.57	1.77	0.166	34.0	7.79	1.70	0.185	27.0	3.57	1.94	0.129	20.4	1.8	1.94	0.166	
175 200 - 175 300	25.3	3.69	1.80	0.146	27.6	4.64	1.95	0.160	24.8	2.59	1.97	0.162	22.7	2.49	1.94	0.170	
174 590 - 174 690	20.5	3.20	1.49	0.097	20.19	4.01	1.60	0.175	17.3	2.27	1.56	0.197	16.1	1.92	1.64	0.166	
174 690 - 174 790	20.6	6.6	1.49	0.115	22.4	1.66	1.66	0.136	21.7	3.89	1.61	0.162	17.3	1.6	1.71	0.166	
174 790 - 174 890	20.0	1.94	1.58	0.126	24.3	2.92	1.70	0.126	23.0	1.94	1.62	0.129	19.3	1.61	1.77	0.144	
175 000 - 175 100	24.0	3.0	1.60	0.164	22.5	4.87	1.90	0.166	26.4	3.24	1.94	0.259	22.5	4.16	1.66	0.181	
175 100 - 175 200	22.8	2.59	1.66	0.224	26.17	4.14	1.63	0.235	24.7	1.62	1.71	0.259	22.5	3.5	1.59	0.133	
175 200 - 175 300	24.8	4.22	1.61	0.175	27.6	1.94	1.66	0.165	26.1	2.27	1.91	0.227	23.6	2.4	1.69	0.216	

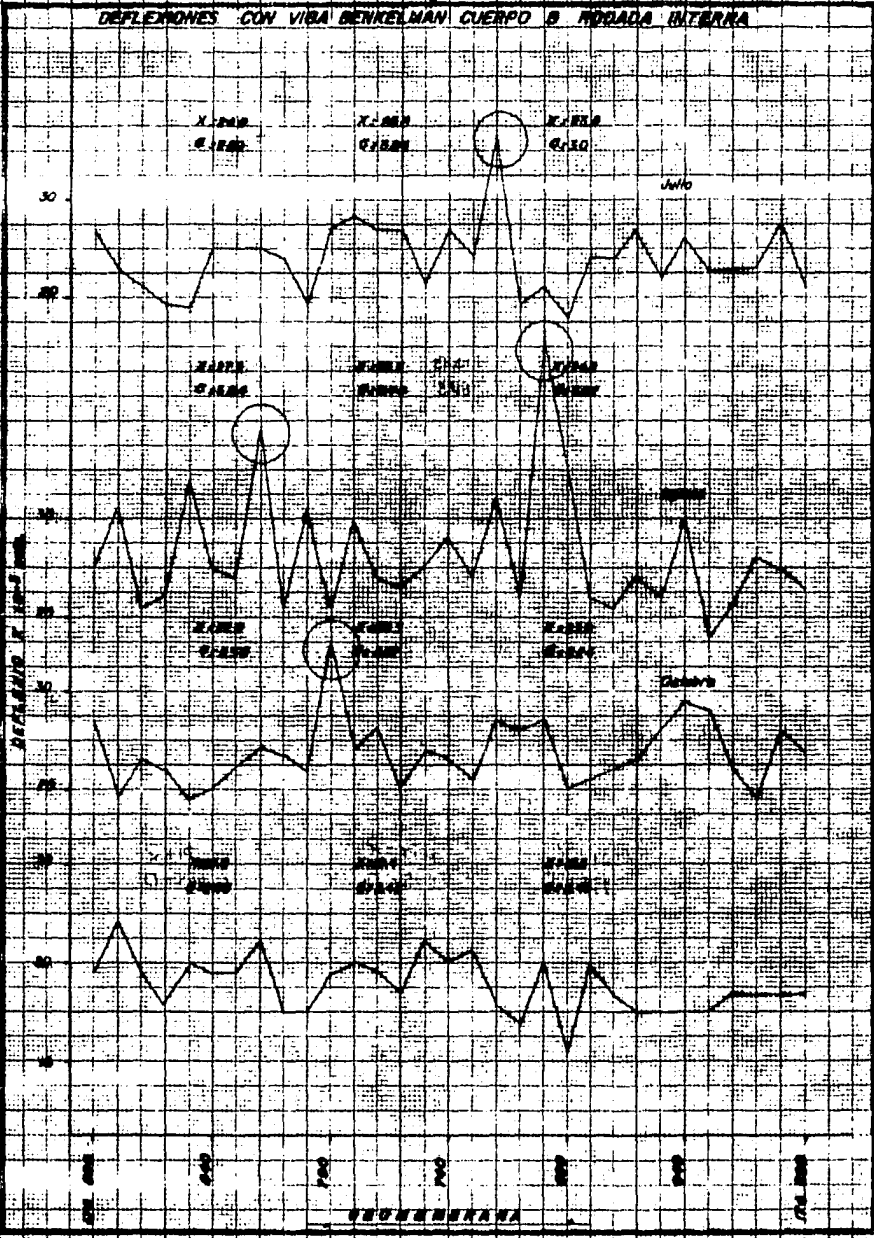
\bar{X} - MEDIA

σ - DESVIACION ESTANDAR

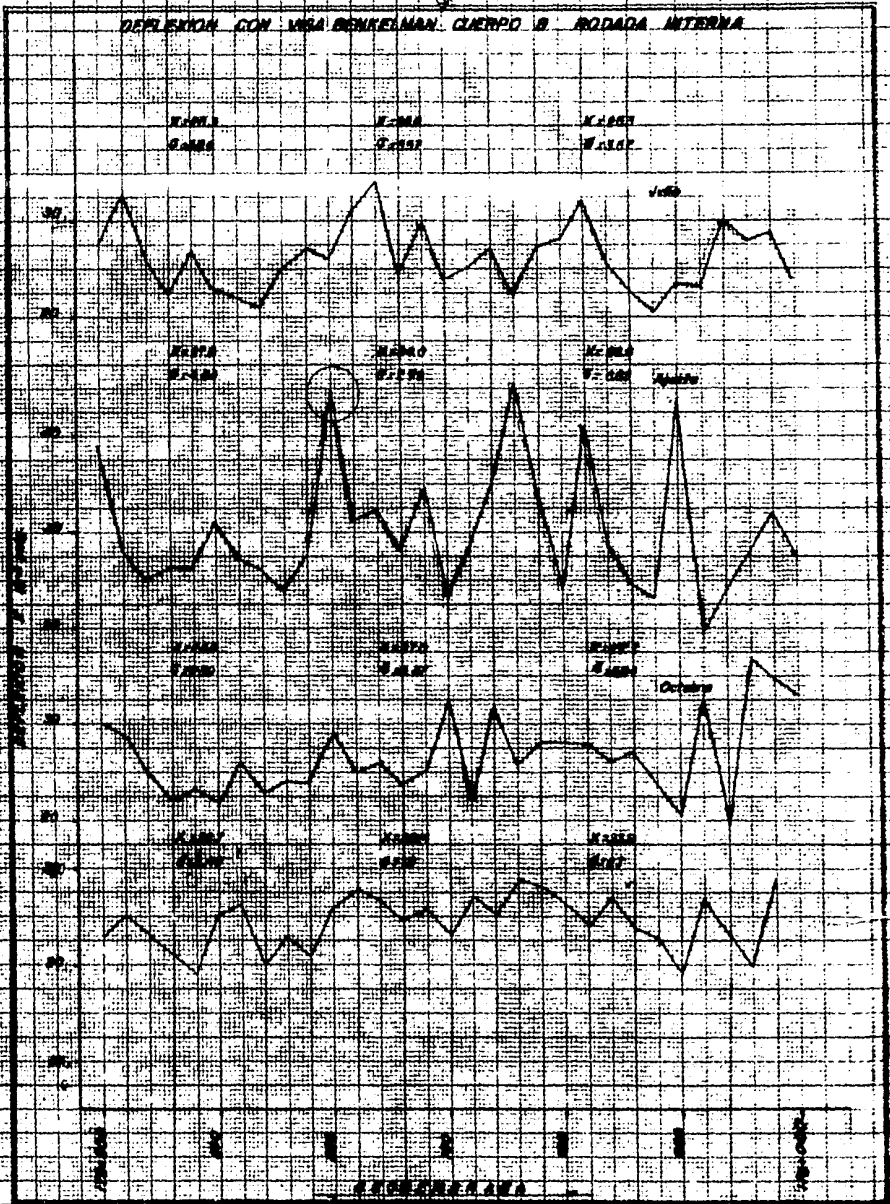
•• SUBSTRAMOS QUE CONTIENEN SOBREMEDIANA

INTERNATIONAL

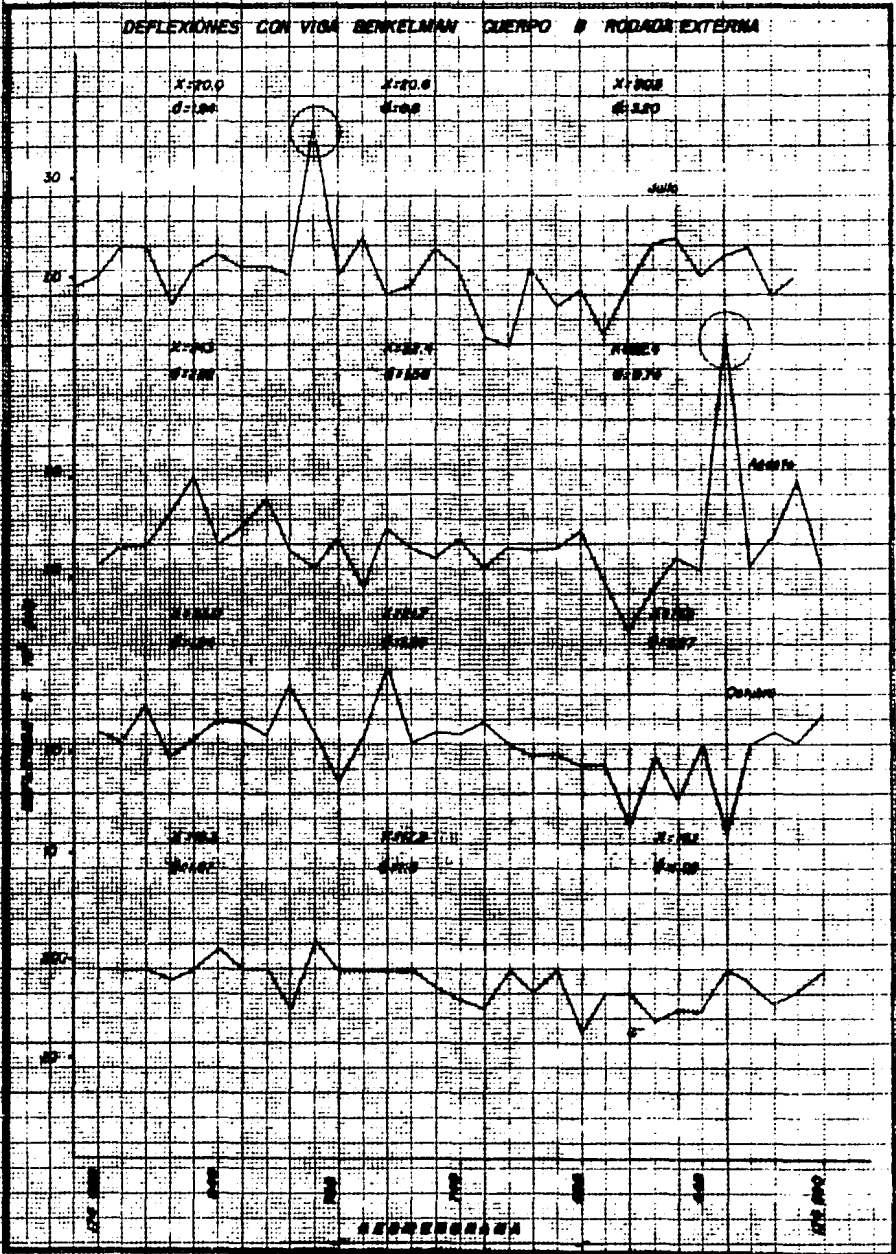
DEPLECIONES CON VIBRA BENKELMAN CUERPO B RODADA INTERNA



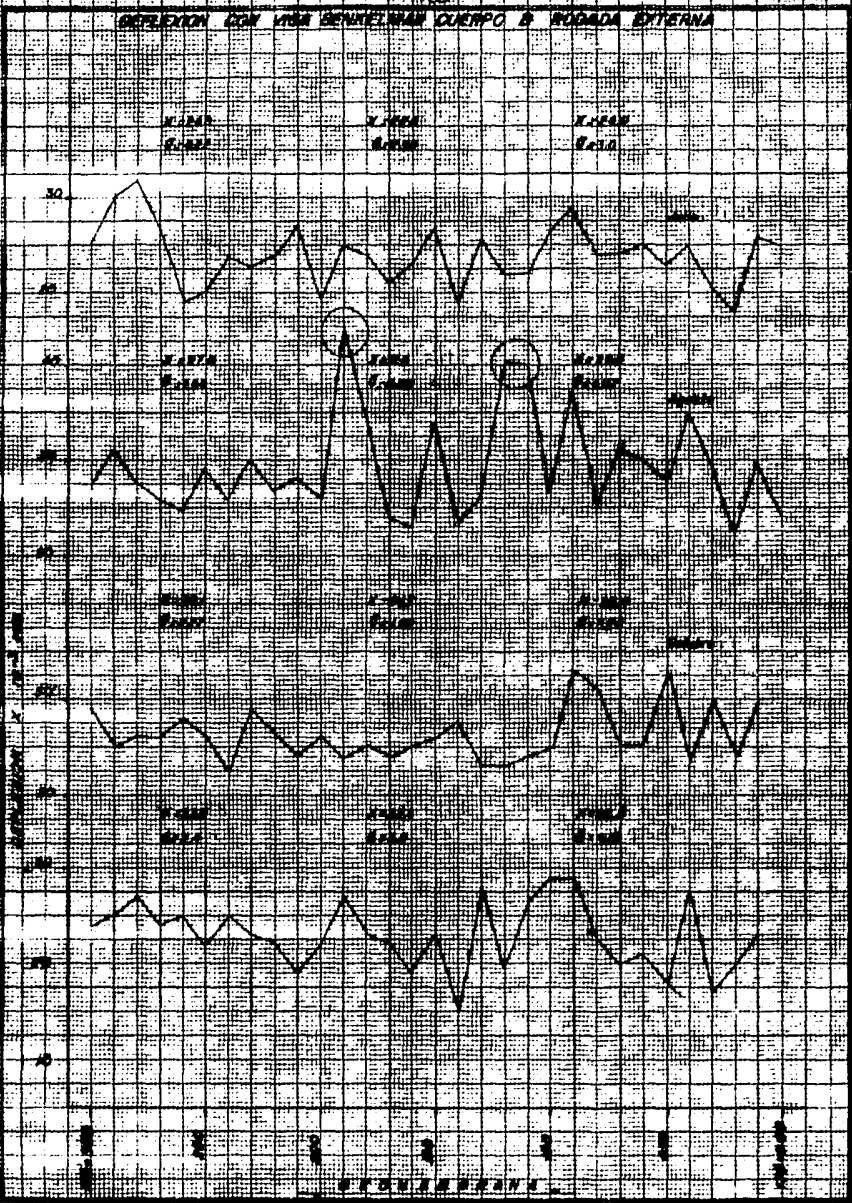
DEFLEKSIJON CON VISA BENKELMAN CUERPO B RODADA INTERNA



DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN CUERPO # RODADA EXTERNA

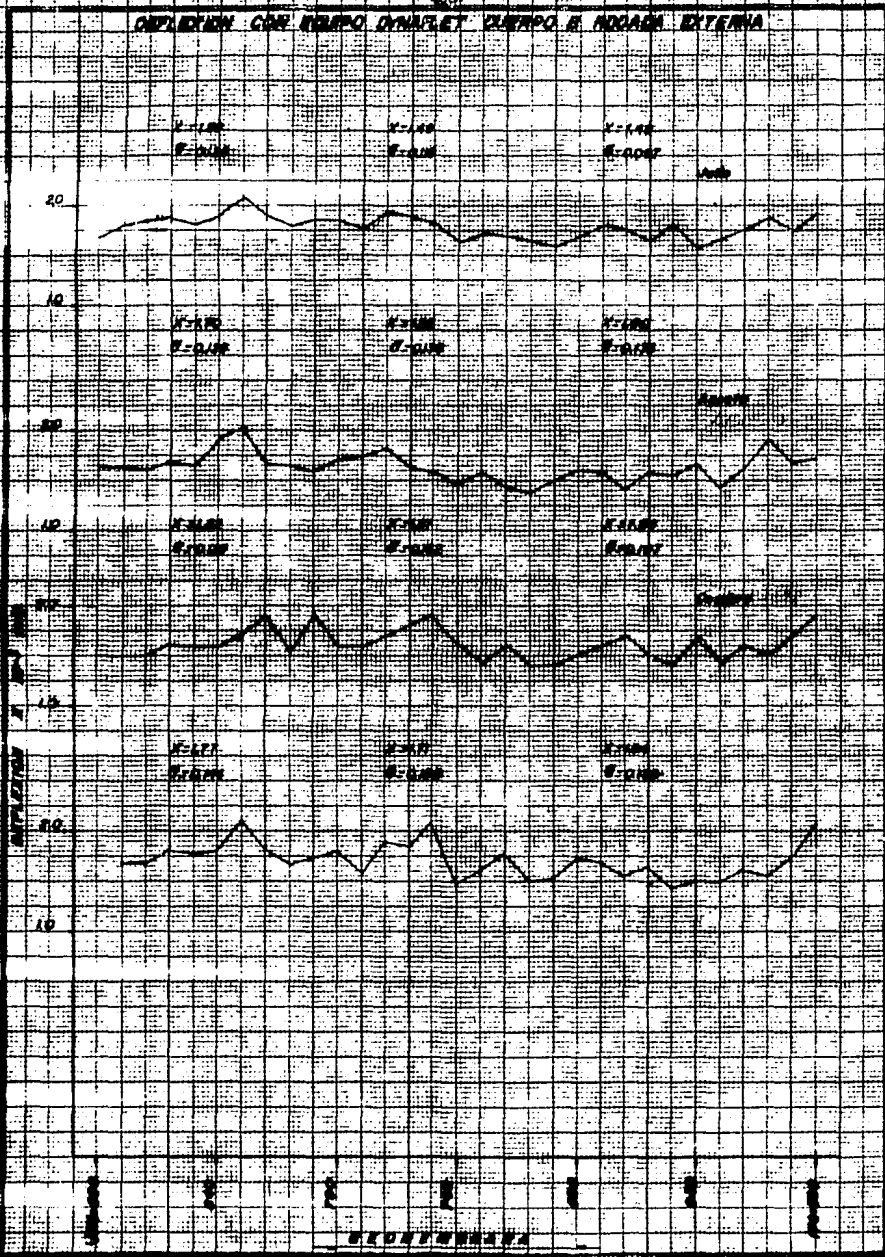


REFLEXION CON VISA BENEFICIAL CUERPO E RODADA EXTERNA

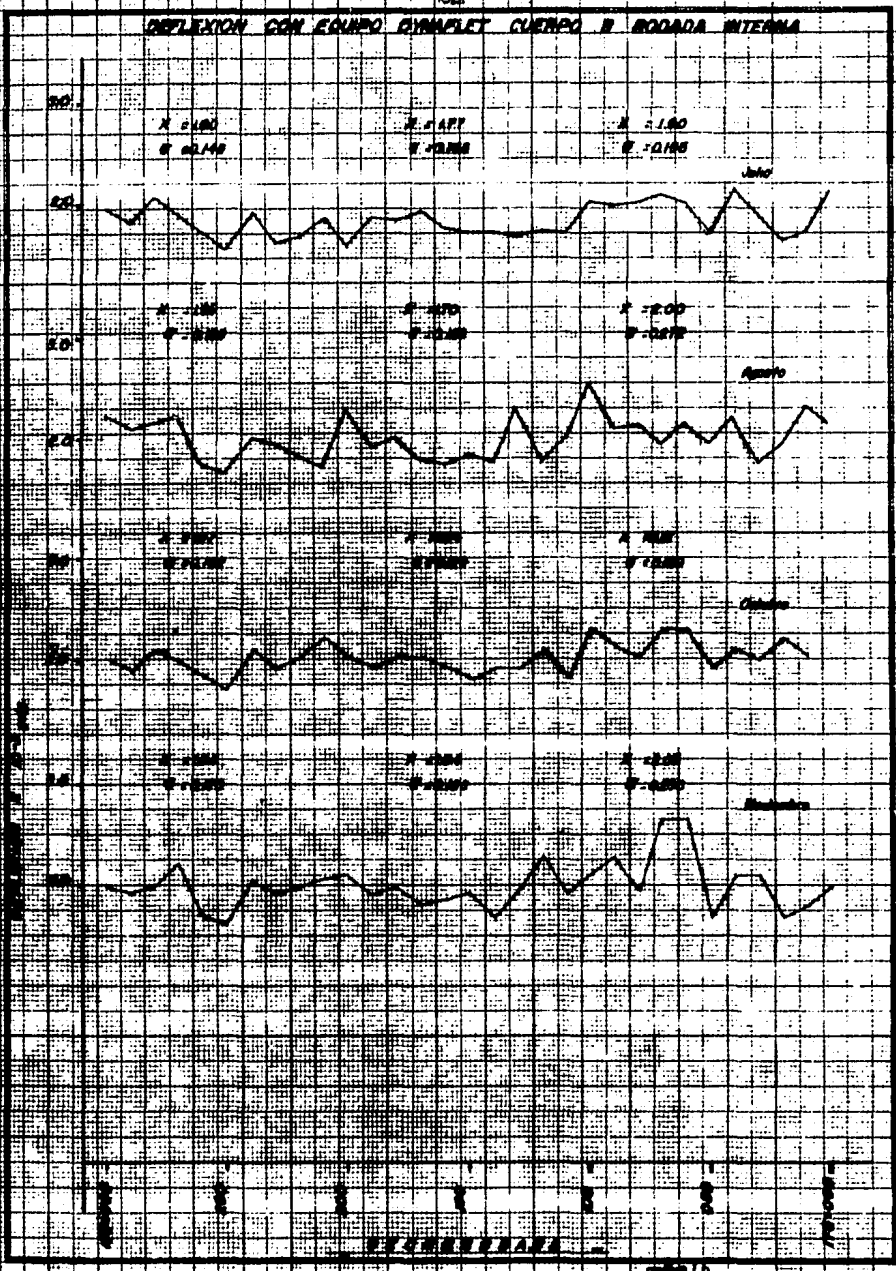


MONTE

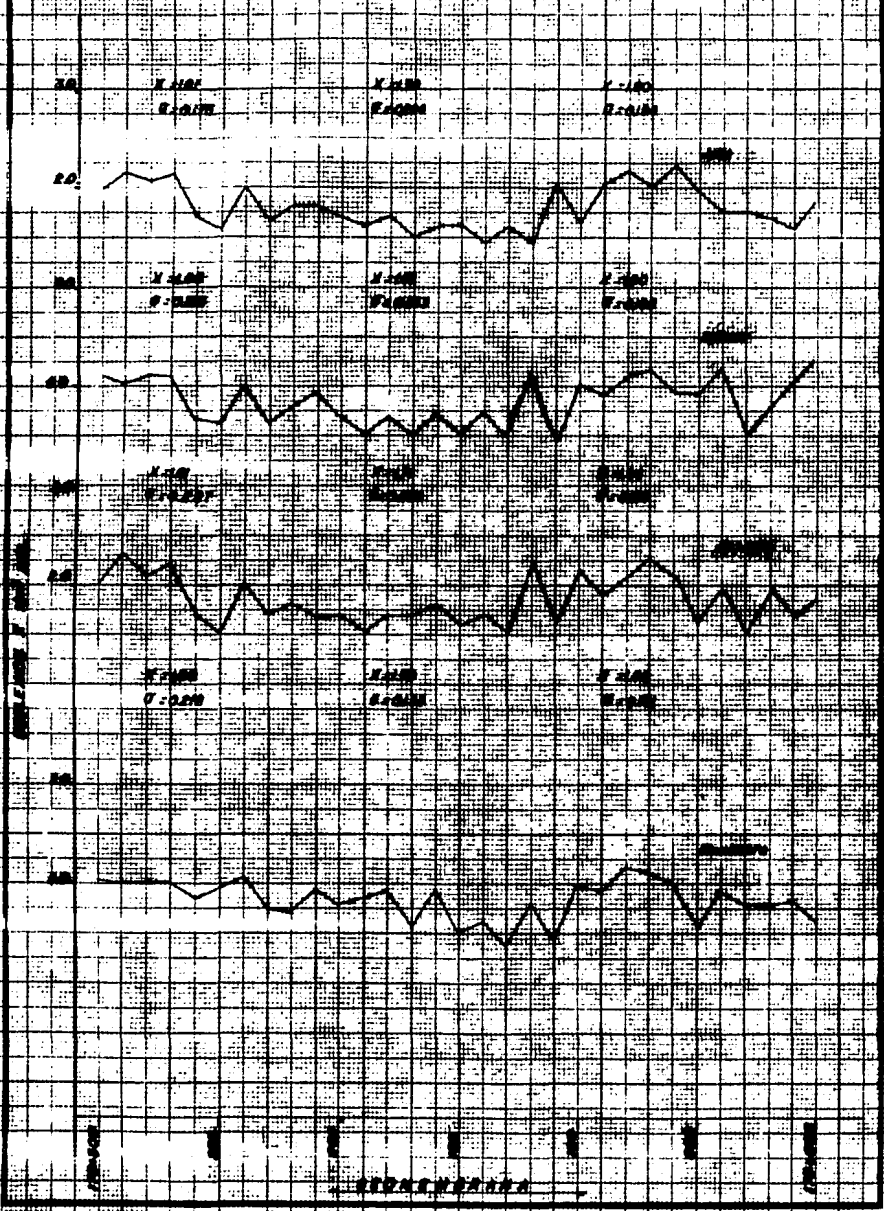
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЦЕНТРА И ПОДАВА ИДЕАЛЬНА



DEFLEXION CON EQUIPO SYMPLET CUERPO II RODADA INTERNA

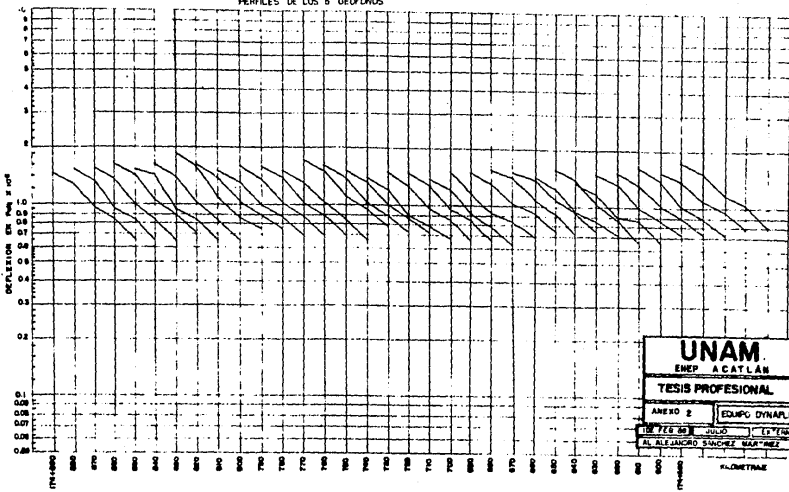


DEFLEXION CON CARGO COMPLETO CARRRO B RODADA EXTERNA



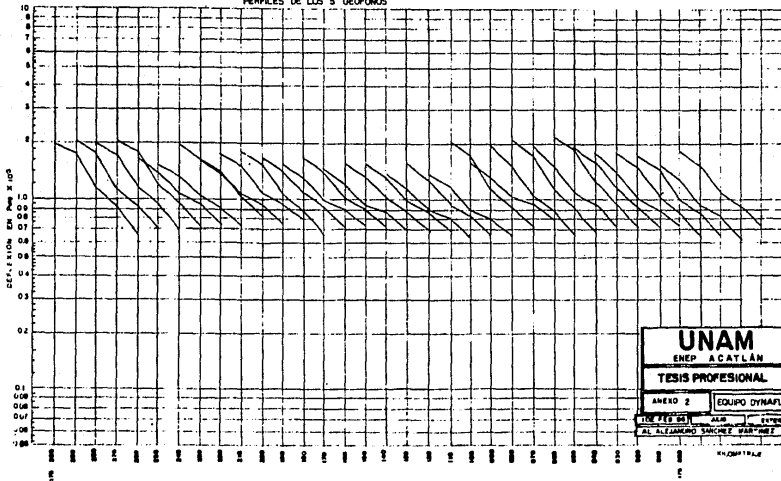
A N E X O 2

DEFLEXIONES DINAMICAS CON EQUIPO DYNAFLECT
 AUTOPISTA MEXICO-QUERETARO TRAMO PALMILLAS-QUERETARO
 CUERPO IZQUIERDO CARRIL DERECHO SUBTRAMO DEL KM 174 500 AL 174 600
 PERFILES DE LOS 5 GEOMETRUS



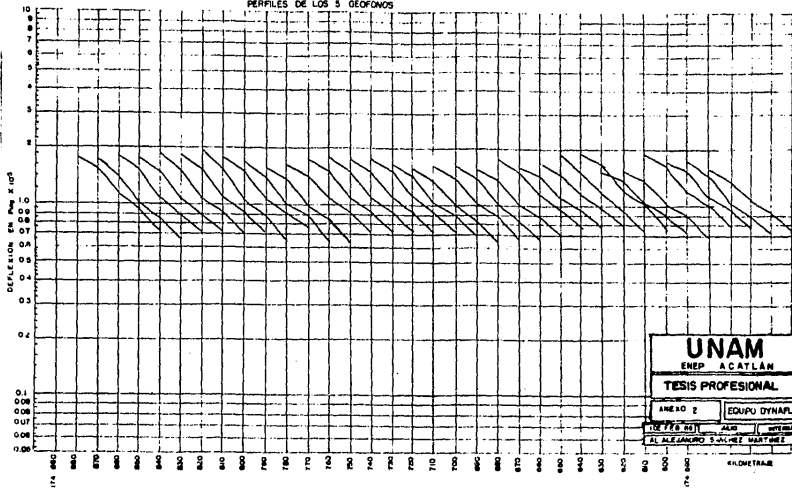
DEPLEXIONES DINAMICAS CON EQUIPO DYNAFLECT

AUTOPISTA MEXICO-QUERETARO TRAMO PALMILLAS-QUERETARO
CUERPO IZQUIERDO CARRIL DERECHO SUBTRAMO DEL KM 175 000 AL 175 300
PERFILES DE LOS 5 GEOPONOS



DEFLEXIONES DINAMICAS CON EQUIPO DYNAFLECT

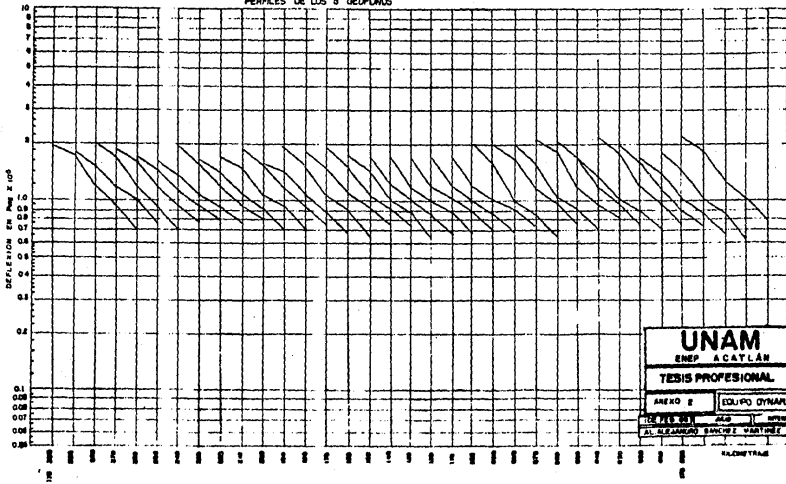
AUTOPISTA MEXICO-QUERETARO TRAMO PALMILLAS-QUERETARO
CUERPO IZQUIERDO CARRIL DERECHO SUBTRAMO DEL KM 174 890 AL 174 890
PERFILES DE LOS 5 GEOFONOS



UNAM
ENEP ACATLÁN
TESIS PROFESIONAL
ANEXO 2 EQUIPO DYNAFLECT
ALEJANDRO SUAREZ MARTINEZ
KILOMETROS

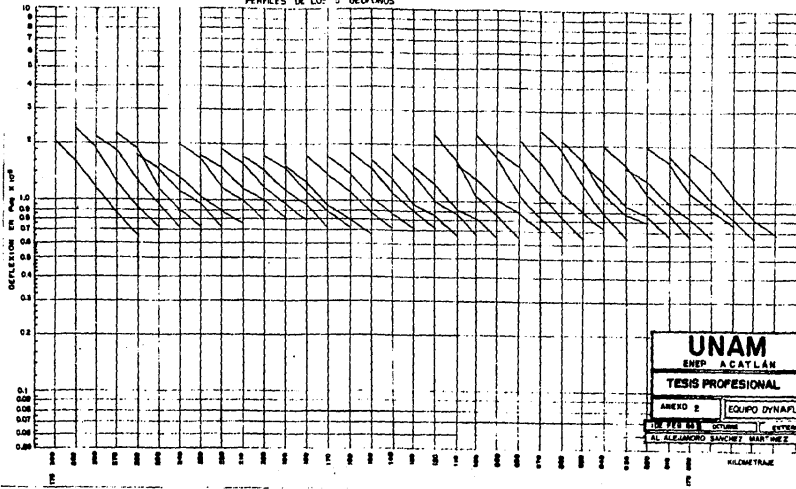
DEFLEXIONES DINAMICAS CON EQUIPO DYNAPLECT

AUTOPISTA MEDICO-QUERETARO TRAMO PALMILLAS-QUERETARO
 CUERPO IZQUIERDO CARRIL DERECHO SUBTRAMO DEL KM 175 000 AL 176 300
 PERFILES DE LOS 3 GEOPONOS



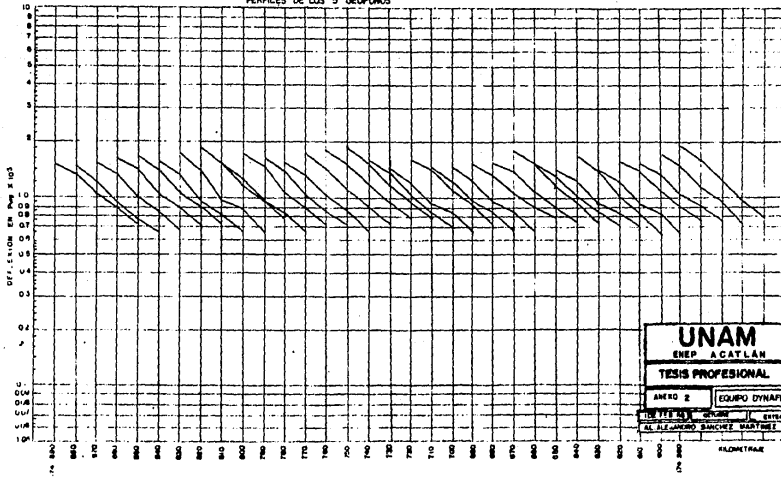
DEFLEXIONES DINAMICAS CON EQUIPO DYNAPLECT

AUTOMISTA MEXICO-QUERETARO TRAMO PALMILLAS-QUERETARO
CARRIL IZQUIERDO CARRIL DERECHO SUBTRAMO DEL KM 176 000 AL 178 300
PERFILES DE LOS 5 DEDFINUS



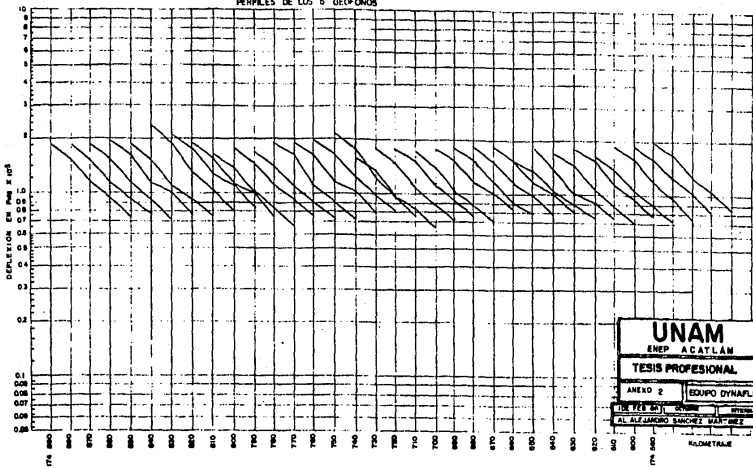
DEFLEXIONES DINAMICAS CON EQUIPO DYNAPLECT

AUTOPISTA MEDICO-QUERTARO TRAMO PALMILLAS-QUERTARO
CUERPO IZQUIERDO CARRIL DERECHO SUBTRAMO DEL KM 174 800 AL 174 600
PERFILES DE LOS 5 GEOPONOS



DEFLEXIONES DINAMICAS CON EQUIPO DYNAFLECT

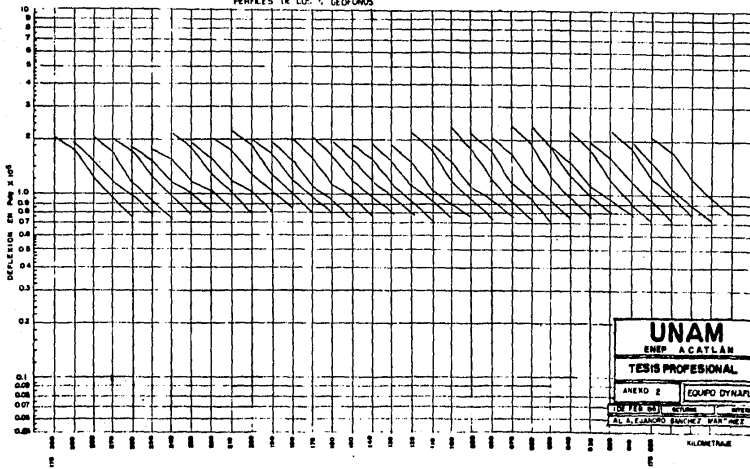
AUTOPISTA MEDICO-QUERETARO TRAMO PALMILLAS-QUERETARO
 CUERPO IZQUIERDO CARRIL DERECHO SUBTRAMO DEL KM 174 800 AL 174 800
 PERFILES DE LOS 5 GEOPONOS



UNAM	
ENEP ACATLÁN	
TESIS PROFESIONAL	
ANEXO 2	EQUIPO DYNAFLECT
DE TEE BY	ESTUDIA
AL ALFARERO SANCHEZ MARTINEZ	
KILOMETRAJE	

DEFLEXIONES DINAMICAS CON EQUIPO DYNAFLECT

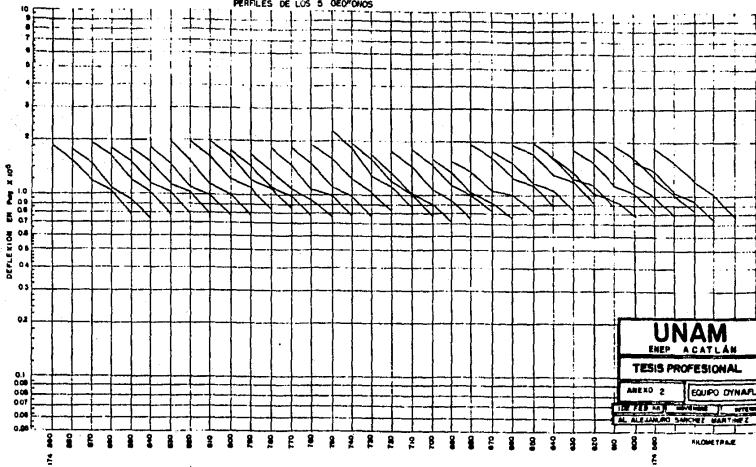
AUTOPISTA MEXICO-QUERETARO TRAMO PALMILLAS-QUERETARO
CUERPO IZQUIERDO CARRIL DERECHO SUBTRAMO DEL KM 178 000 AL 178 300
PERFILES DE L.L.F. 10 GEORGANS



DEFLEXIONES DINAMICAS CON EQUIPO DYNAFLECT

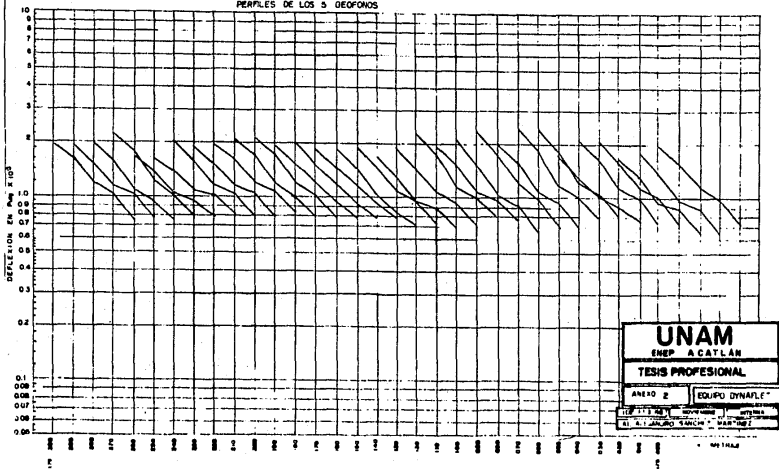
AUTOPISTA MEDICO-QUERETARO TRAMO PALMILLAS-QUERETARO
CUERPO IZQUIERDO CARRIL DERECHO SUBTRAMO DEL KM 174 800 AL 174 850

PERFILES DE LOS 5 OROPONDOS



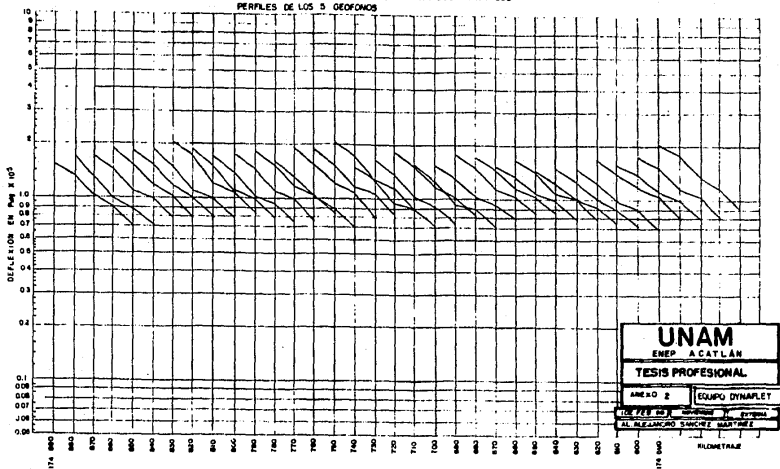
DEFLEXIONES DINAMICAS CON EQUIPO DYNAPLECT

AUTORISTA MEXICO-QUERETARO TRAMO PALMILLAS-QUERETARO
CUERPO IZQUIERDO CARRIL DERECHO SUBTRAMO DEL KM 175 000 AL 175 300
PERFILES DE LOS 5 GEOPONOS



DEPLEXIONES DINAMICAS CON EQUIPO DYNAPLECT

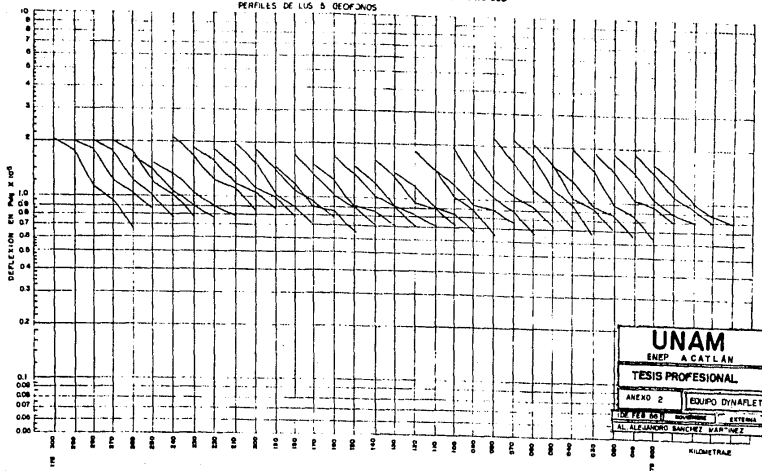
AUTOPISTA MEDICO-QUENETARO TRAMO PALMILLAS-QUENETARO
 CUERPO IZQUIERDO CARRIL DERECHO SUBTRAMO DEL KM 174 800 AL 174 890
 PERFILES DE LOS 5 ODEONOS



UNAM
 ENEP ACATLAN
 TESIS PROFESIONAL
 AMEHO 2 EQUIPO DYNAPLECT
 ALBERTO SANCHEZ MARTINEZ

DEFLEXIONES DINAMICAS CON EQUIPO DYNAFLECT

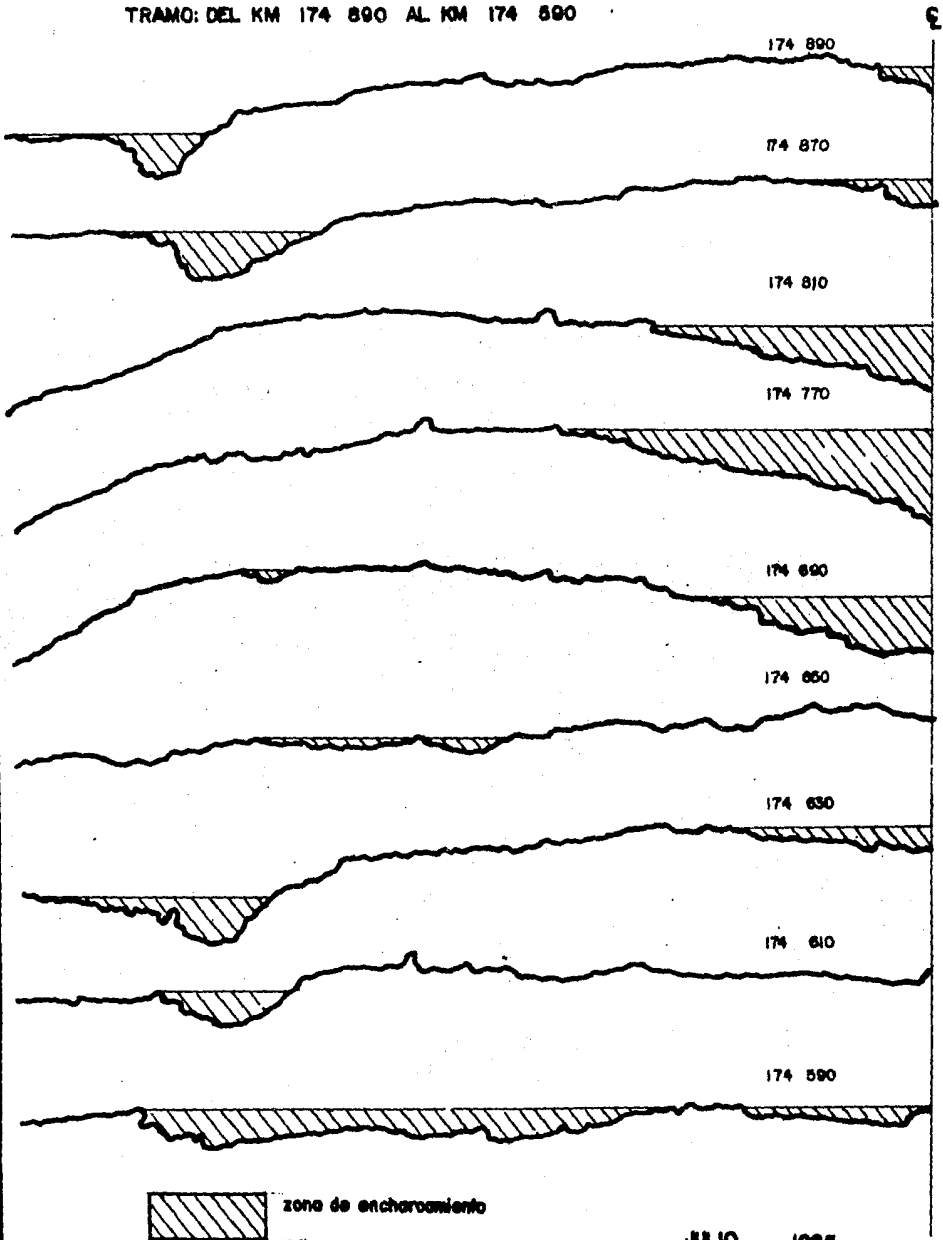
AUTOPISTA MEXICO-QUERETARO TRAMO PALMILLAS-QUERETARO
CUERPO IZQUIERDO CARRIL DERECHO SUBTRAMO DEL KM 178 000 AL 178 300
PERFILES DE LUGAR DE DEFLEXIONES



A N E X O 3

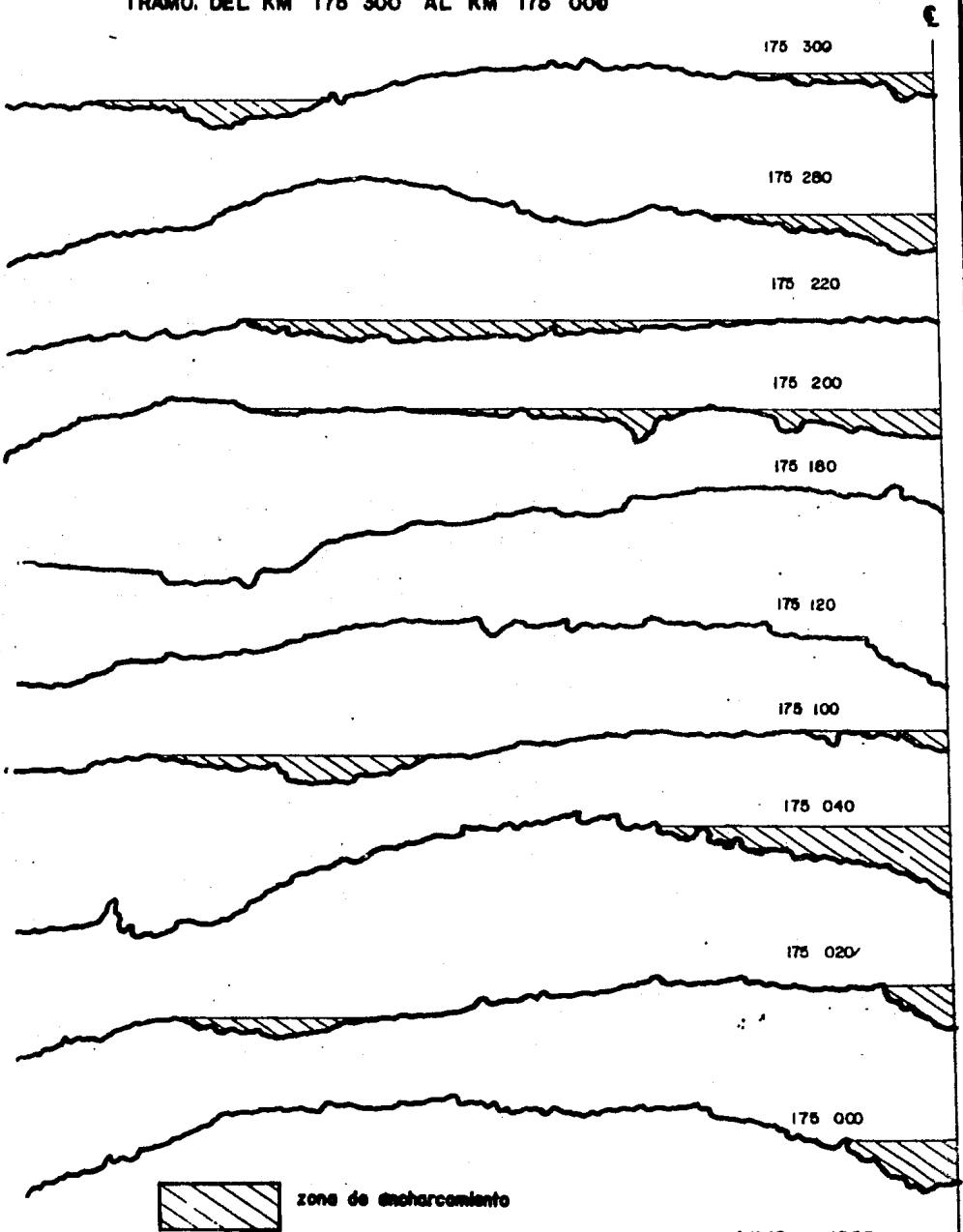
SECCIONES TRANSVERSALES TOMADAS CON PERFILOGRAFO

TRAMO: DEL KM 174 890 AL KM 174 590



SECCIONES TRANSVERSALES TOMADAS CON PERFILOGRAFO

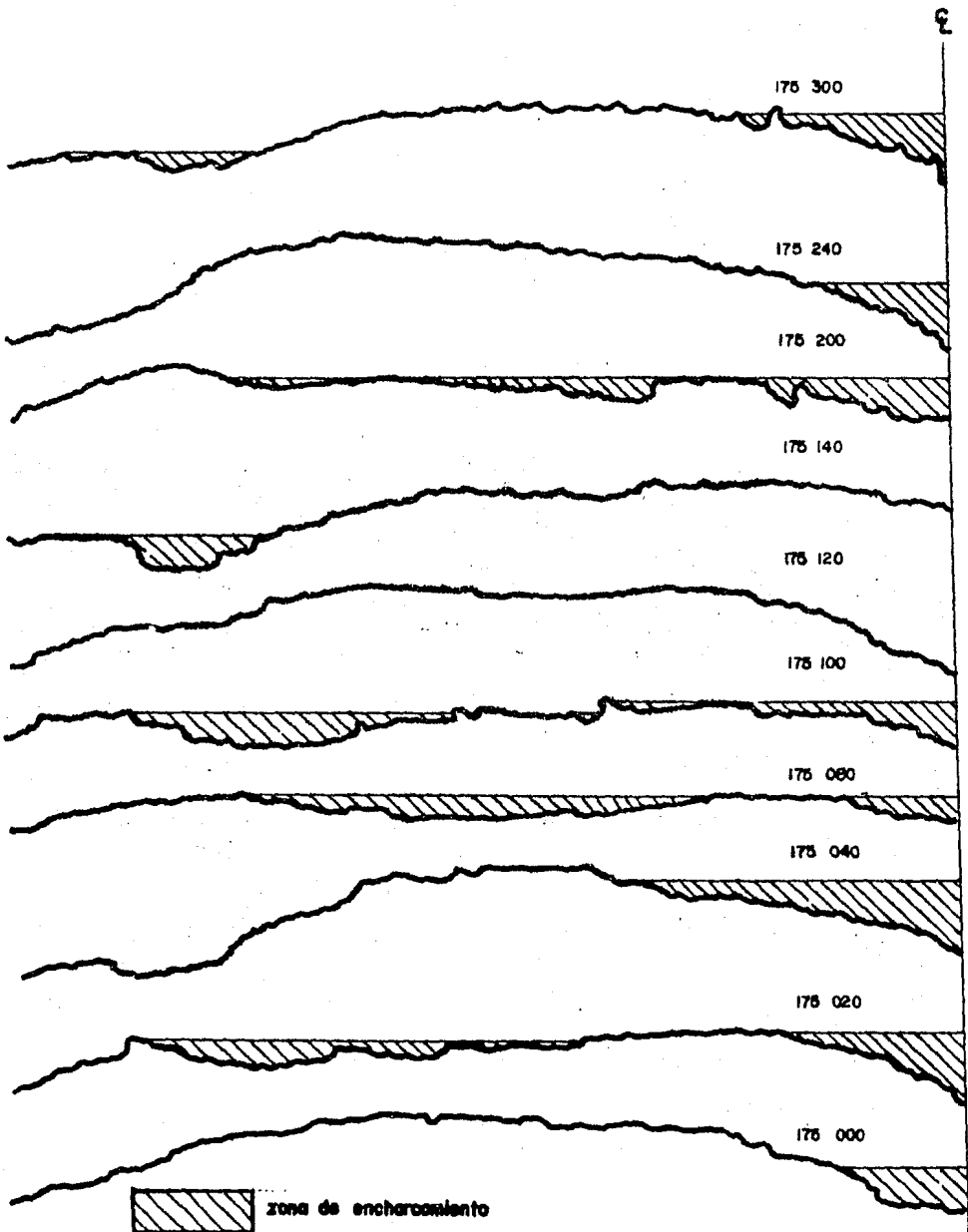
TRAMO: DEL KM 175 300 AL KM 175 000



JULIO 1985

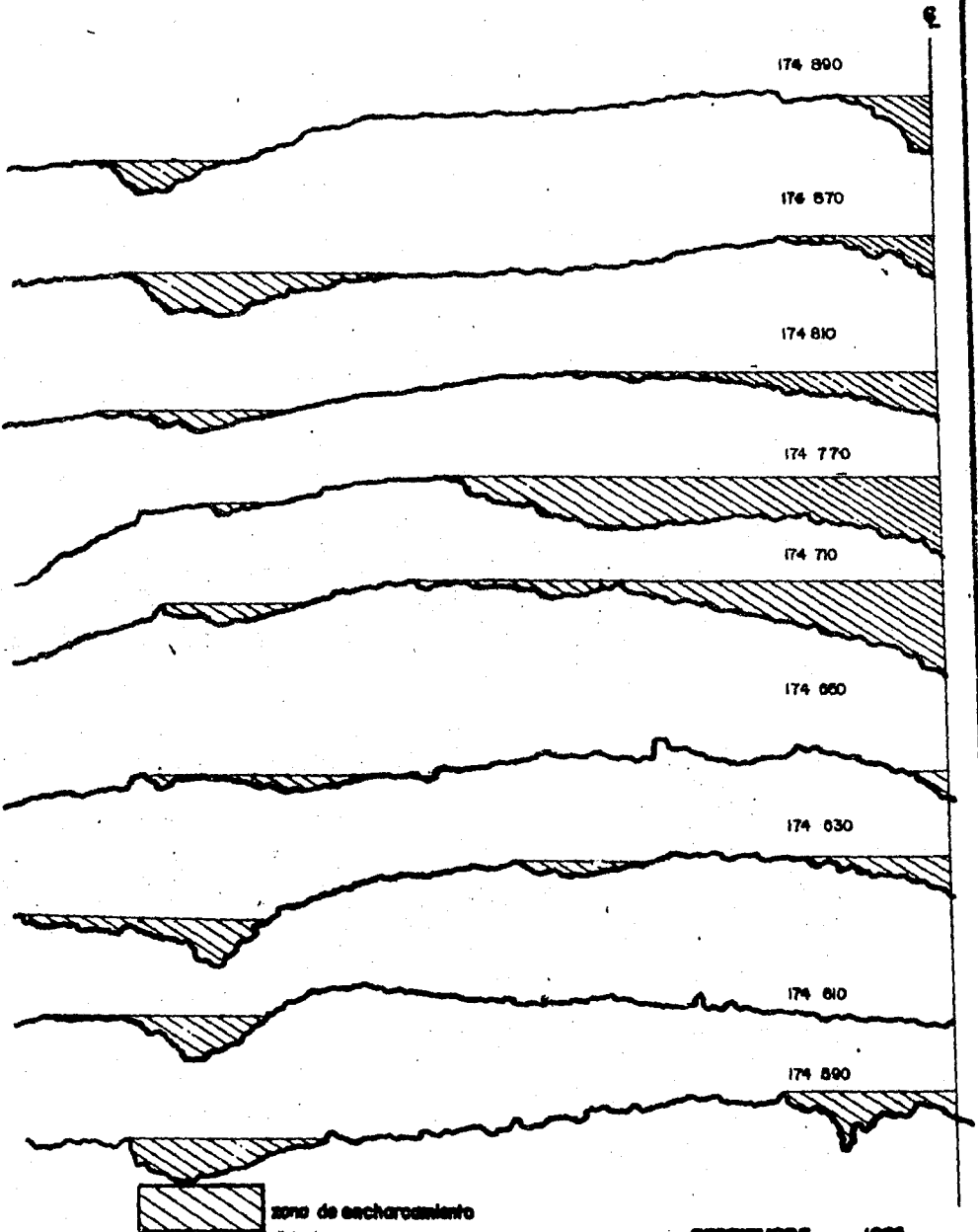
SECCIONES TRANSVERSALES TOMADAS CON PERFILOGRAFO

TRAMO: DEL KM 175 300 AL KM 175 000

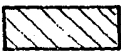
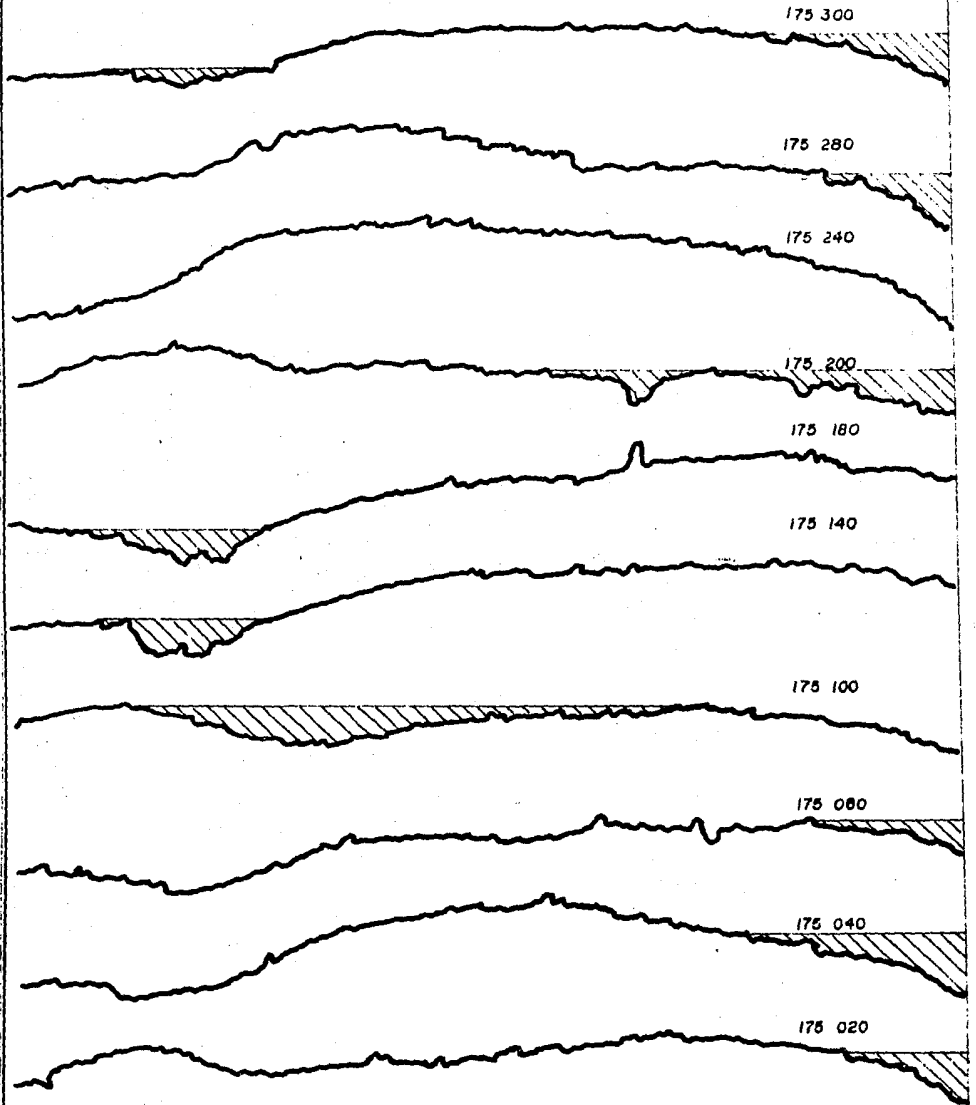


SEPTIEMBRE 1985

SECCIONES TRANSVERSALES TOMADAS CON PERFILOGRAFO
 TRÁMO: DEL KM 174 890 AL KM 174 590



SECCIONES TRANSVERSALES TOMADAS CON PERFILOGRAFO
TRAMO DEL KM 175 000 AL KM 175 300



zona de encharcamiento

NOVIEMBRE 1985

A N E X O 4

**DISEÑO DEL PAVIMENTO
FLEXIBLE**

METODO
INST. DE INGENIERIA CAR

CARRETERA
AUTOPISTA
MEXICO - QUERETARO
TRAMO
PALMILLAS - QUERETARO
KM 174+000 a KM 175+300

**DATOS DE
PROYECTO**

TDA 2 SENT= 32 000.

CLASIFICACION :

A= 55 %
A2= 1 %
B2= 11 %
C2= 9 %
C3= 9 %
T2-S1= 13 %
T2-S2= 1 %
T3-S2= 1 %
TASA= 0.05
TDAcd= 14,400.
VRS PRM :
TERRACERIA 2.5
SUBRASANTE 70 %
SUB-BASE 120 %
BASE 136 %

**CALCULO
ESTRUCTURAL
PRM. RLO/36**

PAPA QU= 0.6
U=0.84
DANO SUP
VRS 00=0.39

Z= 0.00
DU.=1.158
ANO 16.
EL= 80,221,833.

BASE

DANO SUP
VRS 00=0.39

Z= 26.00
DU.=1.431
ANO 10.
EL= 99,134,095.
VRS MIN= 79.6
V= 0.13
VRS PRM= 89.4
VRS PRM ESP.= 130.00

VIDA UTIL DE LA CAPA
ILIMITADA

SUB-BASE

DANO PROF
VRS 00=3.08

Z= 46.00
DU.=1.630
ANO 16.
EL= 112,922,787.
VRS MIN= 14.3
V= 0.20
VRS PRM= 17.2
VRS PRM ESP.= 100.00

VIDA UTIL DE LA CAPA
ILIMITADA

SUBRASANTE

DANO PROF
VRS 00=7.08

Z= 51.00
DU.=1.667
ANO 10.
EL= 115,504,241.
VRS MIN= 11.9
V= 0.25
VRS PRM= 15.1
VRS PRM ESP.= 70.00

VIDA UTIL DE LA CAPA
ILIMITADA

TERRACERIA

DANO PROF
VRS 00=3.08

Z= 91.00
DU.=1.797
ANO 12.
EL= 124,425,840.
VRS MIN= 4.1
V= 0.30
VRS PRM= 5.4
VRS PRM ESP.= 2.52

VIDA UTIL DE LA CAPA
0 AÑOS 2 MESES

REQUEPIMIENTO ESTADO.

SOBRECARGETA CA. 0.07 %
BASE ASFALTICO 0.20 %

VRS PEQUERIDO EN LA CAPA
CONSIDERADA .

BASE ASF.

DANO SUP
VRS 00=0.88

Z= 14.00
DU.=1.154
ANO 10.
EL= 79,921,304.
VRS MIN= 143.4
V= 0.12
VRS PRM= 166.1
VRS PRM ESP.= 170.00

VIDA UTIL DE LA CAPA
11 AÑOS 8 MESES

TERRACERIA

DADO PROF

VRS 00=3.99

Z= 135.00

an.=1.834

ANG 10.

CL= 127.074.961.

VPS MIN= 1.9

V= 0.30

VRS PPM= 2.5

VRS PPK ESP.= 2.50

VIDA UTIL DE LA CAPA

9 AÑOS 6 MESES

BIBLIOGRAFIA

- 1).-FRANCISCO FERNANDEZ RODARTE LAZO. CONSERVACION DE AEROPUERTOS. PRA. LEICION. MEXICO, D.F. AGOSTO DE 1978.
- 2).-GONZALEZ CISNEROS RAFAEL. CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS -- EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE PAVIMENTOS. SEMINARIO DE PAVIMENTOS, MEXICO, D.F. NOVIEMBRE DE 1980.
- 3).-HVELM, R. F. TIPOS Y CAUSAS DE FALLA EN LAS PAVIMENTACIONES DE CAMINOS. TRABAJO PRESENTADO EN EL TREINTA Y SIETEAVO CONGRESO ANUAL DE LA DIRECCION DE INVESTIGACION -- DE CARRETERAS EN WASHINGTON, D.C., ENERO DE 1958.
- 4).-RICO RODRIGUES Y DEL CASTILLO HERMILO. LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES. 1a. REIMPRESION. MEXICO EDITORIAL LIMUSA, 1978. VOLS. I Y II.
- 5).-ROBERTO LANDEROS ORTIZ. PROCEDIMIENTO DYNAFLECT PARA LA EVALUACION DE PAVIMENTOS POR DEFLEXIONES. ART. DE LA -- SCT. MEXICO, D.F., ABRIL DE 1979.
- 6).-TORRES ALCALA VICTOR. ESTRUCTURACION DE LOS PAVIMENTOS. POBENCIA, MEXICO, D.F. NOVIEMBRE DE 1980.
- 7).-VICTOR A. SOFELIO CORNEJO Y ARTURO DIAZ LOZADA. EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL Y RECONSTRUCCION DEL PAVIMENTO DE LA CARRETERA TOLUCA-MORELIA. TESIS PROFESIONAL, MEXICO, D.F. 1979.
- 8).-W. J. DYKES. THE USE OF FABRIC INTERLAYERS TO RETARD REFLECTIVE CRAKING. TRADUCCION ABEL PUGA. GREENVILLE, SOUTH CAROLINA, FEBRUARY, 18-20, 1980.

- 9).-CORRO C. , SANTIAGO Y PRADO O. , GUILLERMO. DISEÑO ESTRUCTURAL DE CARRETERAS CON PAVIMENTO FLEXIBLE. INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA UNAM. # 325, 1980.

INDICE

Introducción.....	1
Capítulo I.- Antecedentes e importancia del estudio...	7
Causas que originan las fallas en los pavimentos flexibles y tipos de falla....	10
Capítulo II.- Geomembrana	23
Propiedades mecánicas.....	24
Confección de la geomembrana	26
Capítulo III.- Diseño	
Descripción del problema.....	29
Localización y topografía.....	29
Geología.....	29
Clima.....	31
Hidrología y drenaje.....	32
Geometría de la sección.....	32
Trabajos de campo y laboratorio.....	32
Análisis de resultados y conclusiones . preliminares.....	41
Tránsito.....	44
Diseño.....	45
Capítulo IV.- Procedimiento constructivo.....	51
Capítulo V.- Análisis de resultados.....	56
Revisión estructural.....	58
Evaluación del pavimento.....	63
Análisis de las gráficas de deflexión con viga benkelman.....	69

Análisis de las gráficas de deflexión y de los cinco geófonos obtenidas con el equipo Dynaflect.....	70
CONCLUSIONES.....	74
SUGERENCIAS PARA INVESTIGACIONES FUTURAS.....	77
ANEXO 1 Gráficas de deflexion con equipo Dynaflect y Viga benkelman.....	78
ANEXO 2 Gráficas de los 5 geófonos.....	88
ANEXO 3 Secciones transversales tomadas con perfiló- grafo.....	101
ANEXO 4 Revisión estructural y nuevo diseño por el método propuesto por el Instituto de Inge- nería de la UNAM.....	107
BIBLIOGRAFIA.....	110