

39
24.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ACATLAN".**

**REDISEÑO Y REHABILITACION DE PAVIMENTOS
CON EL USO DE GEOTEXTILES.**

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
RICARDO ENRIQUE LORTIZ HERMOSILLO

ASESOR: ING. FERNANDO ARMANDO HERNANDEZ TREJO.



MEXICO, D. F.

1987.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

SR. ORTIZ HERMOSILLO RICARDO ENRIQUE
ALUMNO DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
P R E S E N T E

De acuerdo a su solicitud presentada con fecha de 22 de Mayo de 1998, me complace notificarle que esta Jefatura de Programa tuvo a bien asignarle el siguiente tema de trabajo profesional titulado "REDISEÑO Y RENOVACION DE PAVIMENTOS CON EL USO DE GEOTEXTILES" el cual se desarrollara como sigue:

1. INTRODUCCION
2. LOS GEOTEXTILES
3. REDISEÑO Y RENOVACION DE PAVIMENTOS CON EL USO DE GEOTEXTILES
4. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
5. EXPERIENCIA CON GEOTEXTILES EN MEXICO
6. ASPECTOS ECONOMICOS
7. CONCLUSIONES

Asimismo fue designado como asesor de tesis el ING. FERNANDO ARMANDO HERNANDEZ TREJO, pido a Usted tomar nota 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 del trabajo profesional, el título del trabajo asignado. Esta comunicación deberá publicarse en el interior del trabajo profesional.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Acatlan Edo. de México a 10 de Agosto de 1998
ING. ENRIQUE ORTIZ
JEFE DE LA
JEFATURA DEL
PROGRAMA DE INGENIERIA
Ing. Enrique del Castillo Padilla
Jefe del Programa de Ingeniería Civil



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**



Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México, y en particular a los **Catedráticos de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales - Acatlán**, que fueron los que me formaron como profesionista en la rama de la Ingeniería Civil

A ti, **Padre**, que siempre has sido un buen ejemplo y querido consejero

A ti, **Madre**, por tu amor y tu apoyo

Al **Ingeniero Armando Hernández Trejo**, quien prestó todo su apoyo para la terminación de este documento, y por ser la persona que me dio la oportunidad para encaminarme en el comprometido trabajo del Ingeniero Civil

A ti, **Alejandra**, por todo lo que hemos compartido juntos y nos mantiene estrechamente unidos

A **Kerigma**, que representa la opción y realización para muchos jóvenes; y que a partir de una experiencia en común, logramos encontrar un espacio de fe y verdadera fraternidad.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**



CONTENIDO

<u>Introducción</u>	I
NUEVAS TECNOLOGIAS.	II
EL GEOTEXTIL COMO RETARDADOR EN LA REFLEXION DE GRIETAS.	III
<u>Capítulo I.</u>	1
LOS GEOTEXTILES.	
I.1. Definición de geotextil.	2
I.2. Fabricación de un geotextil	3
I.3. Diferentes tipos de geotextiles.	5
I.3.1. Geotextiles tejidos.	6
I.3.1.1. Proceso	6
I.3.2. Geotextiles no tejidos	6
I.3.2.1. Primera clase de unión	8
I.3.2.2. Segunda clase de unión	10
I.3.2.3. Tercera clase de unión.	10
I.3.3. Funciones de los geotextiles	12
I.4. Características de los geotextiles	14
I.4.1. Propiedades de los geotextiles	14
I.4.2. Clasificación de las propiedades.	15
I.4.2.1. Propiedades generales	17
I.4.2.2. Propiedades mecánicas.	18
I.4.2.3. Propiedades hidráulicas	24
I.4.2.4. Propiedades de durabilidad	29
I.5. Pruebas que se consideran más importantes para su aplicación en pavimentos.	30
I.5.1. Retención de asfalto	31
I.6. Importancia de las pruebas	32
I.7. Complicaciones de las pruebas.	33

REDISEÑO Y EVALUACION DE PAVIMENTOS CON EL USO DE GEOTEXILES.

II.1	Diseño por función	35
II.2	Diseño por especificación	38
II.2.1.	Guía de especificación para pavimentos	39
II.2.1.1.	Definición de las telas de pavimentación.	39
II.2.1.2.	Descripción	39
II.2.1.3.	Materiales	39
II.2.1.4.	Vida útil del geotextil	41
II.2.1.5.	Equipo	41
II.3.	Evaluación de pavimentos	41
II.3.1	Estado actual	42
II.3.1.1.	Calificación actual	42
II.3.1.2	Índice de servicio actual	43
II.3.1.3	Deterioro superficial	43
II.3.1.4	Resistencia al deslizamiento	44
II.3.1.5	Resistencia estructural	44
II.4.	Rediseño de pavimentos con geotextiles	49
II.4.1.	Diseño con geotextil	51
II.4.1.1	Refuerzo	52
II.4.2	Alternativa de diseño sin geotextil utilizando el método del Instituto de Ingeniería de la UNAM	54
II.4.3	Alternativa de diseño sin geotextil utilizando el método del Instituto Norteamericano del Asfalto	57
II.4.4	Alternativa de diseño con geotextil	60
II.5.	Rehabilitación de pavimentos.	61
II.5.1	Análisis de alternativas	61

Capítulo III.**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.**

III.1.	Proceso constructivo en la rehabilitación de un pavimento flexible.	64
III.2.	Cuidados preventivos	64
III.2.1	Empaque y almacenaje del geotextil.	64
III.3.	Equipo de pavimentación	65
III.3.1.	Petroliozadora	65
III.3.2	Equipo para el tendido del geotextil.	65
III.3.3	Equipos complementarios	65
III.4.	Requerimientos de construcción e instalación.	65
III.4.1	Limitaciones ambientales	65
III.4.2	Preparación de la superficie.	68
III.4.3	Capa reniveladora	68
III.4.4.	Aplicación de la capa ligante.	68

III.4.5. Colocación de la tela de pavimentación.	69
III.4.6. Tránsito sobre el geotextil	71
III.4.7. Trabajo preventivo	71
III.4.8. Colocación de la sobrecarpeta	71
III.4.9. Compactación de la mezcla asfáltica	73
III.4.10. Sello tipo Open Grade	73
<u>Capítulo IV</u>	76
EXPERIENCIA CON GEOTEXTILES EN MEXICO.	
IV.1. Autopista Libre México - Pachuca	
Km 23 + 640 al 49 + 250.	77
IV.1.1. Antecedentes	77
IV.1.2. Localización y topografía	77
IV.1.3. Geología	79
IV.1.4. Clima	79
IV.1.5. Características geométricas	79
IV.1.6. Pruebas y resultados de laboratorio	82
IV.1.7. Tránsito	82
<u>Capítulo V</u>	86
ASPECTOS ECONOMICOS.	
V.1. Análisis económico de la rehabilitación de un pavimento flexible usando un geotextil	87
V.2. Beneficios que aporta el geotextil	87
V.3. Comparación con una solución clásica.	88
V.4. Resultados que se obtuvieron de la comparación económica de ambas alternativas.	89
CONCLUSIONES.	92
BIBLIOGRAFIA.	98
ANEXOS.	102
ANEXO A. Alternativa de diseño al geotextil. Reciclado de la carpeta actual y diseño de refuerzo.	

- ANEXO B. Reporte de compactación y permeabilidad en capas asfálticas.
Pruebas en mezclas asfálticas.
Especificaciones para cementos asfálticos, asfaltos rebajados, riegos de sello y emulsiones.**
- ANEXO C. Análisis de costos básicos, precios unitarios y presupuestos de rehabilitación.**

INTRODUCCION.

Introducción

NUEVAS TECNOLOGÍAS.

Desde el momento en que surgió la necesidad de tener caminos en buenas condiciones se han buscado materiales que proporcionen la resistencia necesaria al suelo para soportar repeticiones de cargas y otros fenómenos como la oposición a la penetración del agua. Un ejemplo común es colocar materiales naturales como fibras vegetales sobre los suelos blandos con el fin de reforzarlos y evitar la incrustación de materiales de préstamo en la construcción de caminos. Aunque el empleo de materiales naturales, que por su justificación económica es siempre el más viable, como es el caso de los agregados pétreos, estos requieren diferentes procesos y tratamientos para modificar su comportamiento a las condiciones deseadas. Es por esto que se ha derivado hacia el uso de materiales artificiales para dentro de ciertos límites y como complemento y alternativa de los materiales naturales.

Otra de las causas en la búsqueda de nuevos materiales es el crecimiento del transporte carretero y sus cargas que son cada vez mayores, los que constituyen las causas del deterioro de muchas autopistas por lo que surge la invención de nuevas tecnologías de pavimentos que simplifiquen los procedimientos de construcción y que garanticen una vida útil mayor.

Los geotextiles, en la forma en que se les conoce fueron usados por primera vez en problemas relacionados con el control de la erosión. A finales de los años 60's la compañía francesa Rhône - Poulenc comenzó a experimentar con fibras no tejidas, punzonadas, para diferentes tipos de aplicaciones sobre todo para el refuerzo de caminos de terracerías. La función primaria en muchas de estas aplicaciones fue la de separación y/o refuerzo pero además se le comenzó a reconocer otro tipo de uso: la transmisión del agua a lo largo del plano de su estructura permitiendo la disipación de las presiones de poro y por lo tanto el de poder actuar como interceptores de flujo.

El uso extensivo de estas nuevas tecnologías se inicia en los años 70's, aparecen los primeros textiles y se adoptan los términos geotextil y geomembrana como denominación de materiales elaborados con polímeros que se emplean en geotécnica. Es también a partir de los años 80's que se desarrollan las georedes, geomallas y los geodrenes, productos que representan la segunda generación de geosintéticos.

El primer drenaje prefabricado que se diseñó fue hecho a base de tubería de PVC, innovación adecuada para controlar el exceso de agua en movimiento. Era redondo y estaba perforado, se colocaba en el fondo de la zanja e inmediatamente circulaba cualquier cantidad de agua que llegara hasta éste.

Después aparecieron los paneles de drenaje que consistían en corazones de plástico en forma de conos rodeados por un geotextil. Debido a su forma se convirtieron en buenos interceptores de flujo pero su capacidad para conducir el agua hacia el exterior era poca, especialmente en la parte interior ya que tienen una limitada capacidad de conducción. Finalmente aparece la segunda generación a los paneles de drenaje es un sistema de drenaje a base de un panel de drenaje con la capacidad de los tubos corrugados convencionales, excelentes para zonas con gran precipitación pluvial y nivel de aguas freáticas elevadas.

Los principales miembros de la familia de los geosintéticos son los geotextiles, geomembranas, georrédes y muchos otros denominados geocompuestos.

Otra tecnología que se desarrolló gracias a la invención del geotextil fue el CLAY - LINERS, con este nombre se conoce a una "membrana" formada por dos capas de geotextiles que encierran a arcilla bentonítica, a manera de sandwich. Estos geocompuestos son muy útiles para los rellenos sanitarios y para obras en las que se requiera impermeabilizar fondos o paredes.

Con el desarrollo de estas técnicas y nuevas tecnologías dentro de la industria textil, las cuales han sido aprovechadas por los ingenieros geotécnicos en la construcción de obras civiles se han encontrado que simplifican los procedimientos de construcción además de que poseen características muy importantes, y de que poseen propiedades mecánicas y físicas que más adelante nombraremos en detalle.

El desarrollo de nuevos productos y métodos de construcción siempre ha generado desconfianza, esto es, casi siempre por el desconocimiento de los casos en que se ha probado su eficacia y por la misma desconfianza hacia los productos. El proyectista no considera justificable la inversión que se tiene que realizar para adquirir estos nuevos productos, en cambio justifica que puede sustituirlos con un procedimiento constructivo típico que le ahorrara dinero en algunos casos, pero siempre a corto plazo.

EL GEOTEXTIL COMO RETARDADOR EN LA REFLEXIÓN DE GRIETAS.

Todos los pavimentos tienden a agrietarse bajo el efecto combinado del tránsito y del medio ambiente. Las grietas debilitan la estructura de un pavimento y facilitan la penetración del agua produciendo deformaciones permanentes.

La restauración de pavimentos ya viejos y con un número excesivo de grietas representan un problema posterior. La conservación por medio de la colocación de una sobrecarpeta empleando espesores variables que van desde los 5 a los 10 cm no detienen las grietas pre-existentes del pavimento anterior reflejándose éstas al poco tiempo en la nueva sobrecarpeta. La solución típica a este tipo de problemas es colocar sobrecarpetas de un espesor mayor del necesitado, lo que redundará en un aumento en los costos del mantenimiento.

Uno de los métodos nuevos para el control de grietas en los pavimentos es mediante el empleo de geotextiles. La colocación del geotextil como solución a dichos problemas se ha intentado de diferentes maneras, desde la colocación de franjas de geotextil a lo largo y por encima de dichas grietas y después a continuación la sobrecarpeta. Pero como las grietas no se presentan aisladas, sino por familias de ellas, generalmente paralelas entre sí, se recomienda la colocación del geotextil bajo toda la corona de la superficie de rodamiento, entre el pavimento antiguo y la sobrecarpeta con lo que además se instala una capa impermeable al impregnarse asfalto.

El prefijo "Geo" está relacionado a materiales que tienen que ver con los aspectos geotécnicos en obras de ingeniería, en obras cuyo principal material es el suelo y su amplia gama de granulometrías, sea ya empleado como material de cimentación o de construcción.

El objetivo general de la presente tesis es determinar las bondades del empleo de los geotextiles en la rehabilitación de pavimentos flexibles, y realizar una comparación económica con una solución clásica de rehabilitación.

En el primer capítulo se explica la clasificación de los geotextiles apartir de su forma de fabricación y se exponen sus características más importantes. En el capítulo segundo, se incluyen dos tipos de diseño para la inclusión de un geotextil, así mismo se ven las metodologías de evaluación de pavimentos. En el capítulo tercero se expone en forma ordenada y sistemática el proceso constructivo de la rehabilitación de un pavimento flexible haciendo uso de un geotextil. Continuando con el capítulo cuarto se presenta una experiencia con geotextiles, en particular se expone la rehabilitación de la autopista libre México - Pachuca del kilómetro 23 + 640 al 49 + 250. Finalmente en el capítulo quinto se analizan los costos de rehabilitación con la inclusión del geotextil y se hace una comparación con una solución clásica.

CAPITULO I

Capítulo I

LOS GEOTEXTILES.

I. 1. Definición de geotextil.

El objetivo de este capítulo es definir de la manera más clara y completa la palabra geotextil, así como dar una clasificación apartir de su forma de fabricación y explicar sus características más importantes.

Para comprender mejor lo que es un geotextil citaremos las siguientes definiciones:

"Son materiales de construcción, flexibles y permeables a los fluidos, capaces de retener partículas de suelo mayores que el tamaño de sus poros. Han sido diseñados y fabricados para trabajos de ingeniería civil"¹

"Son telas permeables que utilizadas en combinación con la cimentación, suelo, roca, tierra o cualquier otro material geotécnico forman parte de un proyecto, estructura o sistema realizado por el hombre. Se compone de un grupo de polímeros denominados plásticos, que son moléculas gigantes obtenidas sintéticamente a partir de derivados de la industria petroquímica"²

Por las anteriores definiciones podemos decir que un geotextil es un material artificial sintético, producto derivado del petróleo, cuyo uso es exclusivo en obras de ingeniería civil, en particular en obras geotécnicas.

El geotextil es el grupo más amplio dentro de los geosintéticos. Son textiles, en el sentido tradicional de la palabra, pero fabricado de fibras sintéticas, en lugar de las tradicionales de algodón, lana o seda. Con esto se evita la biodegradación.

Un geotextil se compone, como ya dijimos, por muchas fibras sintéticas llamadas polímeros, del griego "POLYS - MEROS", que quiere decir hecho de muchas partes. Estos polímeros poseen propiedades peculiares como: ligereza, ductilidad, maleabilidad, resistencia química alta, imputrescibilidad y relativa resistencia mecánica en proporción a su peso.

¹ OLIVARES, Sergio. Geosintéticos, geotextiles y geomembranas. SMMS, p. 113

² RAMÍREZ, Alejandro. Ob. cit., p. 19

Existen dos polímeros que dependen particularmente a su tipo de comportamiento durante su proceso de calentamiento

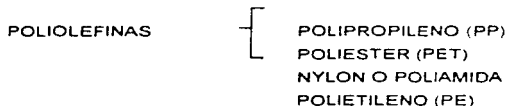
Polímero Termoplástico: Es aquel polímero que puede calentarse repetidamente: hasta reblandecerlo y luego moldearlo conforme al diseño, para que luego, al enfriarse conserve la última forma adoptada

Polímero Termofijado: Es aquel polímero en que su proceso de calentamiento no puede ser repetitivo. Cualquier calentamiento adicional al original solo conllevará a una degradación de dicho polímero

Los materiales termoplásticos son el polietileno (PE), polipropileno (PP), poliester (PET) y de los termofijados serían los hules de nitrilo y de butilo

I. 2. Fabricación de un geotextil.

Para la fabricación de geotextiles se emplean predominantemente cuatro tipos de plásticos (polímeros)



Los geotextiles se fabrican a partir de estos cuatro polimeros basicos, que son derivados del petróleo, éstos polimeros son utilizados para la fabricación de los geotextiles, aproximadamente en los siguientes porcentajes PP (65%), PET (32%), Nylon (2%) y PE (1%).

Se procede primero a transformarlos en filamentos. El plástico obtenido por POLIMERIZACIÓN, con apariencia de polvo, se mezcla con algunos agentes que mejoran su procesabilidad y otros que de alguna manera modifican sus propiedades finales, y después se granula. Se somete posteriormente a un proceso de EXTRUSIÓN, que consiste en hacer pasar los gránulos de plástico por un barril o cañón metálico en cuyo interior gira un tornillo sin fin, ver *fig. 1*, el cual mezcla, funde y comprime el material, transportándolo de un extremo a otro del cañón. La masa fundida se somete a temperaturas gradualmente mayores, mediante resistencias eléctricas colocadas a lo largo del cañón

El plástico fundido es obligado a pasar a través de una salida (DADO), que

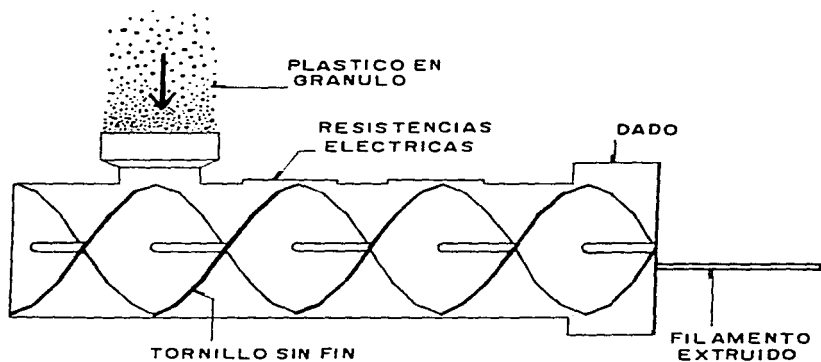


fig. 1 . Obtención de filamentos de plástico por el proceso de extrusión.

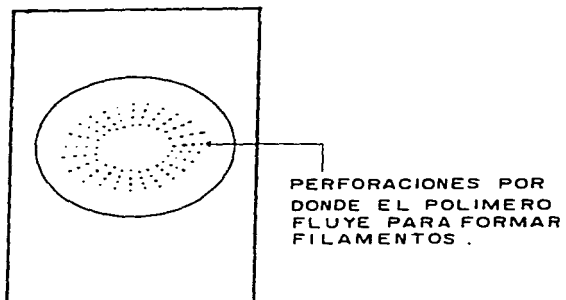


fig. 2 . Spinneret.

tiene la forma deseada. De éste modo se producen filamentos de sección transversal plana o cilíndrica, posteriormente estos filamentos se emplean para fabricar los geotextiles tejidos.

Para la fabricación de las fibras, se funde el polímero en PELLET (perla), por medio de calor y después de ser enfriados, se le obliga a fluir a través de un SPINERET, ver *fig. 2*, similar a una regadera de baño donde mediante la aplicación de tensión se reduce la sección transversal del filamento. Este proceso es definitivo en el establecimiento de las propiedades mecánicas de la fibra, pues como consecuencia de este proceso, se incrementa la resistencia a la tracción, el módulo de elasticidad, la resistencia a la humedad y se reduce la elongación. La explicación de éste fenómeno es que las moléculas del polímero que forman cadenas muy largas, originalmente se encuentran distribuidas en forma desordenada dentro de la fibra y al ejercerse el estiramiento son obligadas a alinearse en el sentido de la tracción. A este efecto se le denomina **ORIENTACIÓN MOLECULAR**, ver *fig. 3*.

Es importante hacer notar que al someter dichos materiales a temperaturas cercanas a su temperatura de ablandamiento (los plásticos no presentan punto de fusión exacto, sino más bien un rango amplio), la orientación se perderá, junto con las características de resistencia ya mencionadas. El punto de fusión aproximado del Polipropileno es a los 165°C y el del Poliester se presenta a los 250°C.

A continuación los filamentos se solidifican por cualquiera de los siguientes tres métodos: húmedo, seco y fundido, de los cuales el último es el más común. Su endurecimiento se realiza al mismo tiempo que se le da el alargado que les permite reducir todavía más el diámetro de las fibras.

Estas fibras (monofilamentos) pueden combinarse para formar un cable de varios filamentos.

Una vez que se tiene la fibra ya producida, se busca entonces producir la tela. Los dos tipos de manufactura pueden ser del tipo tejidos o no tejidos. Su mayor ventaja es que al ser porosos permiten una fácil circulación del agua a través y a lo largo de sí mismos, además de que se pueden conseguir con diferentes permeabilidades.

1. 3. Diferentes tipos de geotextiles.

Pueden clasificarse de acuerdo a su proceso de formación y por el tipo de fibra que los constituyen. Básicamente los dos tipos de geotextiles son:

-GEOTEXTILES TEJIDOS

-GEOTEXTILES NO TEJIDOS

+TERMOSELLADOS

+RESINAS
+ENTRELAZADOS MECANICAMENTE.
(PUNZONADOS)

1.3.1. Geotextiles tejidos.

Su proceso de fabricación es por urdido (tramado). Los elementos individuales se entrelazan en disposición geométrica regular perpendicularmente unos con respecto de otros. Se producen de manera convencional, en una máquina textil y en una gran variedad de tejidos. Estas variaciones tienen una influencia directa sobre las propiedades físicas y mecánicas del geotextil.

El patrón particular del tejido se determina por la secuencia en la que las fibras se entrelazan en el telar y por la posición de las agujas para el punzonado.

1.3.1.1. Proceso.

Dirección de la máquina y dirección transversal.

Es el proceso mediante el cual la lengüeta de la máquina levanta las fibras para permitir a la lanzadera insertar las fibras de hilo, luego de ello, la lengüeta desciende encerrando a las fibras de hilo. La lengüeta se vuelve a levantar y el proceso cumple un nuevo ciclo. Esta acción ha dado lugar a los nombres "Dirección de la máquina" y "Dirección Transversal de la máquina" que se utiliza en las pruebas de laboratorio en geotextiles, ver *fig. 4*.

La materia prima que se utiliza para la fabricación de los textiles tejidos, pueden ser monofilamentos, multifilamentos o cinta plana (raffia). Los polímeros pueden ser polipropileno, poliéster o polietileno.

Principales Características

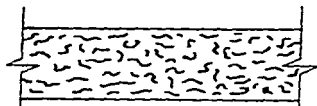
Varía el movimiento relativo entre fibras, su módulo de tensión varía de intermedio a alto. Pueden ser isotrópicos o anisotrópicos, tienen tamaños de abertura constante que se miden con procedimientos sencillos.

1.3.2. Geotextiles no tejidos.

Su proceso de fabricación es muy diferente al de los tejidos. Presentan una disposición de las fibras que pueden ser, de errática a orientada en alguna dirección. Los geotextiles no-tejidos incluyen cuatro pasos básicos: preparación de la fibra, formación del velo, ligado del velo y post-tratamiento.

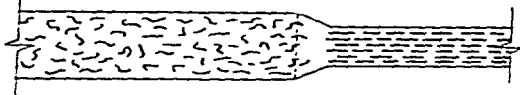
Las fibras obtenidas a través del spinneret se estiran para adelgazarlas, luego se dejan enfriar y se extienden sobre una mesa formando un velo continuo.

A.



Filamento sin estirar.
Cadenas moleculares sin
orientación definida.

B.



Filamento estirado.
Las cadenas moleculares se
orientan en el sentido de la
tracción.

fig. 3. Orientación molecular en filamentos a consecuencia del estiramiento.

Es en ésta parte del proceso en donde se le puede dar el acabado final de la fibra por varias maneras: rotación del spinneret, descargas eléctricas, introducción de corrientes de aire controladas o variando la velocidad de la banda transportadora, ver *fig. 5*

Luego de lo anterior se pasa a la unión, en donde los filamentos se adhieren los unos con otros, ya sea por calor, por medios químicos o mecánicos, y antes de iniciar el bobinado de los rollos de geotextil.

1.3.2.1. Primera clase de unión.

Proceso de termofundido o termofijado.

Los filamentos son orientados en forma irregular, distribuyéndose en todos los sentidos. El velo generalmente compuesto de filamentos continuos, se funden el uno sobre del otro, para soldar sus puntos de cruce, su unión por fusión se realiza pasando el material entre rodillos calientes, proceso que se denomina CALANDREO, ver *fig. 6*, lográndose así la unión de las fibras. La fibra que resulta es dura y compacta en apariencia. Con el proceso anterior se logran producir fibras de alta resistencia y de menores pesos por unidad de área que aquellas producidas por el simple punzonado, debido precisamente a la unión de las fibras utilizadas en ese proceso.

La materia prima que se utiliza en la fabricación de estos textiles son filamentos continuos de polipropileno o nylon/polietileno.

Las operaciones para unir o soldar las fibras varían de una marca a otra, y dependen también según las características que se quieran dar al geotextil. En la actualidad existen dos tipos de termofundidos:

Tipos de termofundidos

Homófilos.

Heterófilos

Homófilos - Los filamentos se componen de un solo polímero, y la operación de calandreo se realiza al pasar la tela entre dos rodillos que giran en sentido contrario.

Heterófilos - Los filamentos provienen de distintos polímeros, con diferentes puntos de fundición, lo que conduce a ligas fuertes y flexibles en los puntos de cruce.

Principales Características

No existe movimiento relativo entre las fibras. Productos ligeros y de espesor reducido, con Módulo de tensión intermedio y prácticamente isotrópicos.

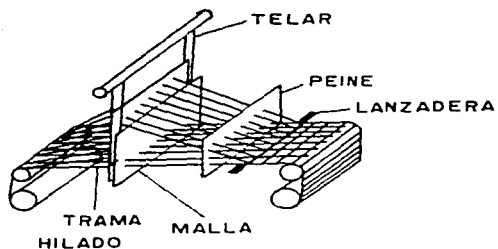


fig. 4. Fabricación de los geotextiles tejidos.

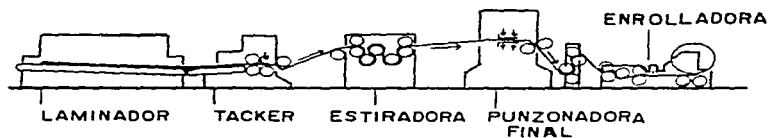


fig. 5. Fabricación de los geotextiles no tejidos.

Su peso por unidad de área es promedio por la falta de homogeneidad total en la distribución de la fibra. Presentan una variedad amplia de tamaños de abertura que es necesario medir por métodos indirectos.

1.3.2.2. Segunda clase de unión.

Proceso por medio de resinas.

El velo se rocía o se impregna con resinas del tipo acrílico. Luego de curarlo o calandrearlo, se forman unas uniones muy fuertes entre sus filamentos. A menudo se le induce el paso de una corriente de aire seco para restablecer la estructura de poro abierto de la fibra.

1.3.2.3. Tercera clase de unión.

Proceso de punzonado.

El velo se introduce en una máquina equipada con grupos de agujas de un tipo especial. Estas agujas son de 7.5 cm de longitud y tienen 3 ó 4 salientes o barbas, las cuales "enredan" mecánicamente a las fibras. Las agujas las atraviesan una y otra vez, por medio de una acción de subir y bajar, reorientando las fibras hasta alcanzar el anclaje mecánico de las mismas, y mientras el velo se encuentra atrapado entre la placa del punzonado y la banda transportadora, ver *fig. 7*.

Se pueden utilizar filamentos continuos o fibra cortada (0.15 m de longitud). Los polímeros más usuales son el polipropileno y el poliéster.

Principales Características.

Existe un movimiento relativo entre las fibras. Son productos con apariencia de felpa, gruesos. Pueden fabricarse isotrópicos o anisotrópicos. Su peso por unidad de área es promedio por la misma razón que los termosellados. Sus tramos de abertura también se miden por métodos indirectos, con la diferencia de que sus resultados se obtienen con mayor precisión que en los termosellados. Su espesor y permeabilidad varían con la presión.

El proceso de punzonado se usa generalmente para producir telas que tengan una alta densidad y que retengan una gran cantidad de granos de suelo.

Debe hacerse notar que la industria textil ha alcanzado tal madurez y sofisticación que puede producir todo tipo de tramas y de tejidos "a la medida" de las necesidades del ingeniero de diseño.

Dependiendo del tipo de materiales y procesos de fabricación se pueden obtener una variedad muy extensa de geotextiles con una combinación de

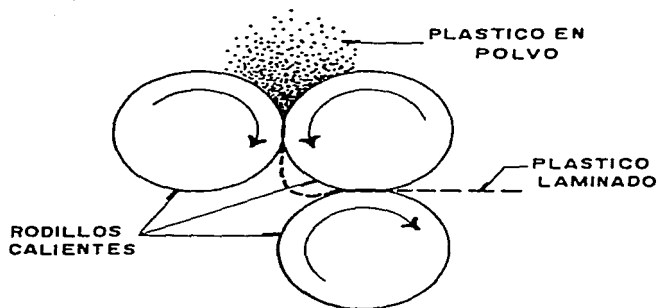


fig. 6. Fabricación de geotextiles por el proceso de calandreo.

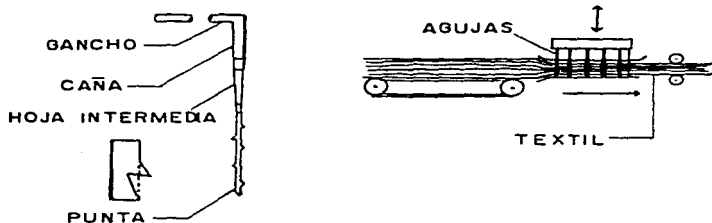


fig. 7. Proceso de punzonado.

propiedades muy diferentes, por ejemplo se tienen geotextiles que pesan menos de 150gr/cm², hasta otros que pesan 1000gr/cm², geotextiles que resisten menos de 5kg/cm² en tensión y otros que resisten 200kg/cm².

1.3.3. Funciones de los geotextiles.

Existen al menos ochenta aplicaciones específicas para las cuales son aplicables los geotextiles, sin embargo según VILLUREY (1990), las funciones de los geotextiles se pueden clasificar en seis categorías:

- 1 - Separación
- 2 - Refuerzo
- 3 - Filtración
- 4 - Drenaje
- 5 - Barrera impermeable
- 6 - Protección

1.- Separación.

El geotextil establece una frontera permeable entre diferentes masas de suelo o roca, segregando de este modo dos a más tamaños de partículas, minimizando o evitando la mezcla de materiales de diferente granulometría. De esta manera se preserva la resistencia y permeabilidad de agregados previniendo su contaminación con suelos cohesivos. La función que realiza el geotextil es mantener dos materiales separados. Existen muchas aplicaciones en la construcción donde esto es importante por ejemplo se tiene una carpeta asfáltica, un material base y toda la estructura del pavimento construida sobre un suelo blando, el textil en esta aplicación sirve solo como separador, para evitar que el material de la cimentación contamine el agregado. Se ha observado en caminos como éstos que el lodo sube a través de las grietas, esto es el primer sintoma de falla, después se forman grietas cada vez más grandes y finalmente la destrucción del pavimento. Cuando la separación es la función primaria para el caso de caminos pavimentados, es importante conocer el emplazamiento del geotextil con respecto al pavimento y a las cargas aplicadas.

Otra aplicación del geotextil como separador es como capa anticontaminante entre la capa rompedora de capilaridad y la capa subrasante en una carretera para evitar que las partículas de la capa subrasante se incruste en el material granular que constituye la capa rompedora.

2.- Refuerzo.

El geotextil imparte resistencia a la tensión a un sistema suelo-geotextil, incrementando la estabilidad estructural. El geotextil siendo un material resistente a la tensión puede complementar a aquellos materiales que tengan una baja resistencia a la tensión. El geotextil absorbe los esfuerzos en el

suelo de cimentación debido al esfuerzo cortante horizontal movilizado por las cargas verticales, esto hace que la membrana trabaje a tensión distribuyendo la carga sobre un área más grande. Se puede decir que es el mejoramiento de un sistema creado por la inclusión de un geotextil en donde la tela soporta tensiones y estabiliza la masa de suelo. Una aplicación clásica es en un muro de suelo reforzado. Otro ejemplo sería en la construcción de caminos sobre pantanos y depósitos compresibles en general.

3.- Filtración.

Se define como el sistema en equilibrio geotextil-suelo que permite el libre flujo de agua y gases, sin pérdida de suelo, a través del plano del textil. En una aplicación de filtración, se permite el flujo de agua a través del geotextil y se evita la migración de partículas de suelo, esto se utiliza en algunas aplicaciones de drenaje.

La filtración no es nueva, la aplicación de los geotextiles si lo es. Se han utilizado filtros de agregados por años, ahora se reemplazan algunas capas de agregados por una capa de geotextil.

4.- Drenaje.

Es probable que la utilización de geotextiles en drenajes sea la segunda área de aplicación, debido a que puede ser económico en muchas situaciones de control de permeabilidad.

Se define como el sistema en equilibrio geotextil-suelo, que permite el libre flujo del agua sin pérdida de suelo, en el plano del geotextil, durante un lapso indefinidamente largo. En un diagrama simplista, se tiene una presión vertical normal al geosintético y se permite que el agua fluya en su plano. Se utiliza en un dren vertical en el muro, donde se requiere disipar la presión del agua tras él, el agua del suelo se mueve hacia la tela, a través de la que pasa hasta el tubo colector y luego sale.

Cuando se utiliza un geotextil en el interior de una masa de suelo, como filtro o dren, se requiere en forma simultánea que la abertura entre las fibras sea lo suficientemente grande para que el agua fluya en forma casi libre y, al mismo tiempo sean lo suficientemente pequeñas para que no se destruya la estructura del suelo por migración de partículas.

5.- Barrera impermeable.

Se refiere a la aplicación de geomembranas elaboradas en el lugar y consiste de geotextiles impregnados generalmente con productos asfálticos. Impide el paso de fluidos y partículas de suelo, es aplicable sólo cuando el textil se ha impregnado con productos asfálticos, por definición los geotextiles son permeables, se hacen impermeables impregnándolos con asfalto. Se utilizan en la rehabilitación de pavimentos para proteger las capas inferiores y hacer el

pavimento más durable.

6.- Protección.

Los materiales térreos son fácilmente erosionables por las lluvia, el agua que escurre por las superficies desprotegidas causan serios daños, o durante la creciente de los ríos sus márgenes son erosionadas. La existencia de geotextiles flexibles y resistentes a la erosión y al intemperismo, permite confeccionar fundas o bolsas, que al ser llenadas con concreto, mortero o los mismos materiales térreos, forman reforzamientos que se amoldan a la superficie por proteger logrando confinarla y evitando su erosión.

También se extiende su uso cuando se trata de proteger contra daños mecánicos. Principalmente aplicado en rellenos sanitarios, para proteger sistemas de impermeabilización. Se coloca arriba, abajo o en ambos lados del revestimiento impermeable; lo que depende de donde se anticipe que pueda ocurrir el daño.

Funciones combinadas.

Aunque los geotextiles trabajan desempeñando alguna función específica, en algunas ocasiones pueden desempeñar dos o más al mismo tiempo. A continuación se describe un ejemplo.

En la prevención del reflejo de grietas en una sobrecarpeta asfáltica, en donde funcionará como barrera impermeable, al impregnarse de asfalto y como segunda función servirá como refuerzo al asfalto. En este caso, las funciones primaria y secundaria serán cubiertas al mismo tiempo.

1. 4. Características de los geotextiles.

Existen dos grupos de propiedades de los geotextiles, el primero va relacionado con la función que se le asigna a la tela, funciones que se nombraron en el tema anterior, y el segundo grupo depende de la capacidad de la tela para conservar su integridad y mantener su eficiencia durante toda la vida útil de la obra. Este último grupo influye en el diseño del procedimiento constructivo, en el que se deben de considerar las precauciones necesarias para evitar algún daño al geotextil durante su instalación.

Para conocer cual es la eficiencia y la capacidad de la tela para conservar su integridad durante toda su vida útil, los geotextiles se pueden estudiar a partir de sus propiedades.

1.4.1. Propiedades de los geotextiles.

La Tabla I muestra las principales propiedades de los geotextiles que son

de relevancia para su aplicación en la ingeniería civil

Se muestra en dicha tabla que la fabricación significa un gran efecto en los geotextiles sin importar para que tipo de propiedad se trate, se excluye sin embargo, en el caso del peso específico, estabilidad biológica, química y térmica en donde la fabricación no tiene nada que ver con dichas propiedades

La Sociedad Americana para Ensayos de Materiales (ASTM- American Society Testing Materials) comprende dos volúmenes para el ensaye de materiales textiles y un volumen para ensaye de plásticos

El Comité D-35 de la ASTM en Geosintéticos comenzó en 1977 como un Subcomité D-13 61 del Comité D-13 en Textiles. El objetivo del Comité D-35 fue el de proveer a los fabricantes y usuarios de geotextiles, con pruebas estándar, parámetros de las propiedades mecánicas y físicas de los geotextiles usados en ingeniería civil

El trabajo del Comité D-35 está dividido en tres grandes áreas con sus respectivos Subcomités

- 1 - Subcomité D-35 01 en Propiedades mecánicas
- 2 - Subcomité D-35 02 en Propiedades de durabilidad
- 3 - Subcomité D-35 03 en Propiedades de permeabilidad y filtración

1.4.2. Clasificación de las propiedades.

Propiedades Generales.

- Peso específico.
- Espesor
- Composición química.
- Absorción de agua

Propiedades Mecánicas.

- Resistencia a la tracción "Grab".
- Elongación a la ruptura
- Resistencia al rasgado
- Relación carga-elongación.
- Elongación bajo carga estática.
- Resistencia a la perforación o punzonamiento.
- Resistencia a la abrasión
- Fricción
- Isotropía
- Módulo de tensión

TABLA I.

Clasificación de las Propiedades de los Geotextiles y los factores que las controlan (Halburton)

Propiedad	Polímero	Factor que controla *	Fabricación
Propiedades Generales			
Peso Específico	3		0
Espesor	1		3
Absorción de agua	1		3
Homogeneidad	0		3
Propiedades Mecánicas **			
Resistencia a la Tracción	2		3
Elongación a la Ruptura	2		3
Relación Carga-Elongación	2		3
Elongación bajo Carga Estática	3		3
Fatiga	1		3
Resistencia a la Perforación	1		3
Resistencia al Reventamiento	2		3
Resistencia a la Abrasión	2		3
Fricción	1		2
Isotropía	0		3
Propiedades Hidráulicas			
Permeabilidad Transversal	0		3
Capacidad de Filtración	0		3
Resistencia al Taponamiento	?		3
Propiedades de Durabilidad			
Estabilidad Biológica	3		0
Estabilidad a la Luz Ultravioleta	3		1
Estabilidad Química	3		0
Estabilidad Térmica	3		0

* Escala de Claves.
 3 - gran efecto.
 2 - efecto significativo.
 1 - efecto ligero.
 0 - efecto insignificante.
 ? - efecto desconocido.

** Pueden variar muchísimo para el geotextil aislado contra el resultado con el geotextil en el suelo o agregado. El - Farnaeous y Nowatzki (1982) reportan incrementos mayores al 200% en la Resistencia a la Tracción de geotextiles confinados, en ensayos de laboratorio.

Propiedades Hidráulicas.

- Permeabilidad transversal (permisibilidad)
- Permeabilidad al aire.
- Permeabilidad al agua
- Relación de gradientes
- Tamaño de abertura aparente
- Flujo
- Resistencia a la tubificación

Propiedades de Durabilidad.

- Estabilidad biológica
- Estabilidad a la luz solar y al intemperismo.
- Estabilidad química
- Estabilidad térmica

1.4.2.1. Propiedades generales.

Peso específico.

El peso es una propiedad que se toma en cuenta para determinar el grado de dificultad que puede representar la colocación manual del producto. Su prueba se determina por los métodos ASTM D-1910 y ASTM D-3776, utilizada para comparar geotextiles entre sí. El textil se expresa en unidades de área, gramos por metro cuadrado y gramos por metro lineal. La determinación del peso puede hacerse con aproximaciones de 0.01% del peso del espécimen, la longitud y el ancho suelen medirse bajo tensión cero.

Espesor.

Es la distancia entre la superficie más alta y la más baja del material, medida bajo una presión específica de 2kPa. A mayor espesor, mayor permeabilidad en el plano de la tela y mayor potencial de absorción de agua. El espesor es medido con una exactitud de una milésima de pulgada, 0.001pulgadas (0.02 milímetros), el método es ASTM D-1777.

El espesor del geotextil es importante cuando se requiere en el cálculo de otra propiedad de la membrana, por ejemplo, la determinación del coeficiente de permeabilidad que requiere el espesor del espécimen a través del cual ocurre el flujo.

Composición química.

Con esta propiedad se puede determinar si el geotextil flotará o se hundirá al instalarse en zonas con tirante de agua, así como otros factores de su

comportamiento.

Absorción de agua.

Existen geotextiles hidrofílicos (absorben agua) o hidrofóbicos (que la rechazan).

1.4.2.2. Propiedades mecánicas.

Resistencia a la tracción "Grab" (carga de ruptura).

Al someter un geotextil a un esfuerzo de tracción, la resistencia del material a ser deformado se manifiesta mediante una tensión que se desarrolla en el plano del mismo. La resistencia a la tracción normalmente se reporta en el punto de ruptura. Esta propiedad es conocida como "la resistencia de Grab" y se puede medir con la prueba de resistencia usada comunmente en textiles con los métodos D-1682 y D-751 de la ASTM. Actualmente y de forma apropiada el método ASTM D-4632 es una prueba específicamente desarrollada para geotextiles, pues la ruptura se lleva a cabo en más tiempo que en la prueba típica de un textil, permitiendo que las fibras se alineen en el sentido de la tracción, como puede suceder en la aplicación geotécnica.

Normalmente se utiliza un espécimen de cuatro pulgadas de ancho centralmente sujetado con mordaza de una pulgada de ancho. La prueba puede completarse con una máquina de prueba de incremento constante transversal.

La relación esfuerzo-deformación se muestra en la *fig. 8* en donde la resistencia a la tensión es el máximo esfuerzo que soporta la muestra de geotextil.

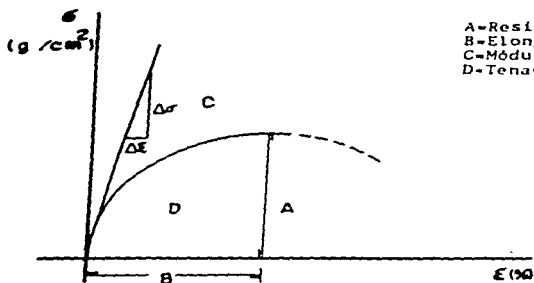
Se emplea para comparar daños por instalación teóricos contra la resistencia del geotextil contemplado en el proyecto y para el control de calidad.

Deformabilidad bajo tensión (módulo de Grab) El módulo de deformación influye en la capacidad de soporte del geotextil, el módulo de Grab es la pendiente inicial de la curva de la *fig. 8*.

Elongación aparente o elongación Grab.

Mediante el uso de extensómetros se determina paralelamente a la carga que ocasiona la ruptura, en la prueba de la Resistencia a la tracción "Grab".

Corresponde al incremento en longitud en el punto de ruptura, expresado en porcentaje de la longitud original de la muestra. Es una de las propiedades que mejor se relaciona con la resistencia a daños en el momento de la instalación, pues la elongación es otro componente de la respuesta del material a la aplicación de un esfuerzo de tracción. Los métodos utilizados son los de la ASTM



A=Resistencia Última
 B=Elongación
 C=Módulo de Grab- $\frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} = \frac{\Delta Y}{\Delta x}$
 D=Tenacidad

fig. 8. Prueba de resistencia a la Tensión de Grab.
Curva Esfuerzo - Deformación.

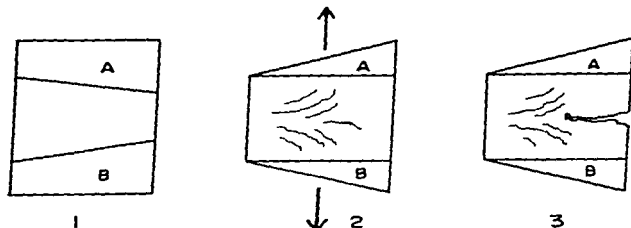


fig. 9. Prueba de resistencia al rasgado.

D-1682 y ASTM D-4632.

Tenacidad.

Es el trabajo necesario para llevar una muestra a la falla. Es el área bajo la curva de resistencia a la tracción de Grab de la *fig. 8*.

Resistencia al rasgado (rasgado trapezoidal).

Es la fuerza requerida para evitar la propagación de la ruptura de algunas fibras geotextiles.

Consiste en insertar una muestra trapezoidal de geotextil en una máquina de prueba de tensión con el objeto de que las fibras sean llevadas progresivamente al rasgado, para iniciar el proceso se hace un corte inicial de 5/8 de pulgada, ver *fig. 9*. Método de prueba ASTM D-4533 y D-2263.

Módulo de tensión (relación tracción-elongación).

Se define como el cociente entre el cambio en fuerza por unidad de ancho y el correspondiente cambio en deformación.

Indica la capacidad de soporte que puede proporcionar el textil, así como, inversamente, su capacidad de adaptarse a irregularidades del terreno donde se aplica. Diversos métodos de diseño de caminos revestidos, terraplenes y sobrecarpetas reforzadas con geotextiles toman en cuenta esta propiedad. Método ASTM D-4595-86.

Elongación a largo plazo con carga estática (flujo plástico-Creep).

Consiste en fijar cargas estáticas permanentes en muestras anchas de la tela que se va a ensayar, cargas que causan elongaciones diversas en las dimensiones originales del material, computándose la elongación obtenida a diferentes lapsos de observación. Los resultados son meros índices. Su propiedad es muy importante para el caso del refuerzo.

El método utilizado es el ASTM D-4595.

Resistencia al punzonamiento.

Es la fuerza que se opone a la penetración del material a través del geotextil.

Consiste en incrustar una varilla de 5/16 de pulgada de radio en una muestra de geotextil anclada en un molde de 1 3/4 de pulgada, ver *fig. 10*. Prueba de penetración ASTM D-751.

Resistencia a la abrasión.

Se define como la resistencia a la fricción a largo plazo. Se estudia para prevenir la formación de oquedades producidas a largo plazo por estar en

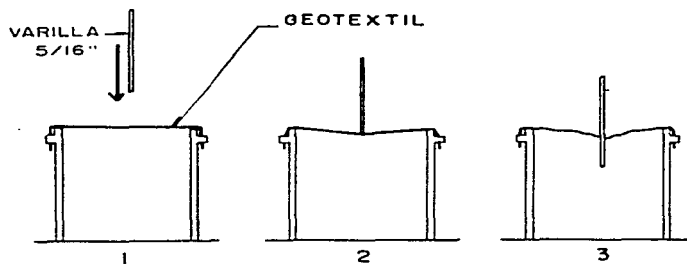


fig. 10. Prueba de resistencia al punzamiento.

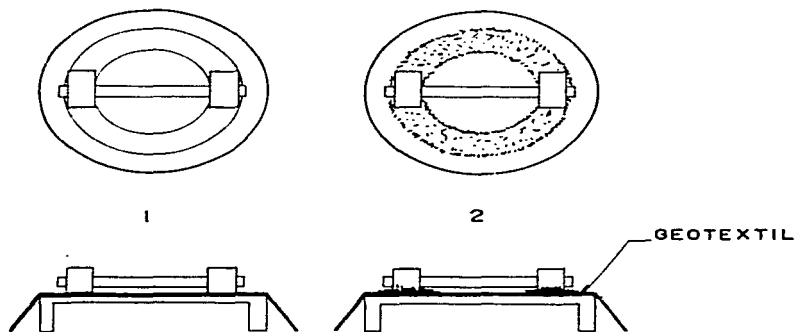


fig. 11. Prueba de resistencia a la abrasión.

contacto con el agregado

Prueba ASTM D-1175, prueba de Abrasión. Consiste en aplicar una carga dinámica (N-100 y W-100g) sobre un agregado que a su vez está colocado sobre una membrana para posteriormente evaluar el peso del material expulsado, debido a la fricción entre una y otra superficie. ver *fig. 11*.

Fricción.

La fricción que se desarrolla entre la superficie del geotextil y los demás materiales geotécnicos que se emplean en conjunto con este es responsable de la capacidad del textil para movilizar su módulo y proporcionar un refuerzo significativo dentro del arreglo. El método es el de la ASTM D-334.

Murray comparó la eficacia de diversos geotextiles para retardar la reflexión de grietas en pavimentos asfálticos y concluyó que los materiales con mayor módulo retardaban más la falla, en una relación casi lineal con su módulo secante a 5% de elongación. También observó que debido a la baja fricción que se presentaba dentro del sistema, este proporcionaba un deslizamiento en su fortaleza con el pavimento y por lo tanto no se aprovechaba satisfactoriamente su alto módulo. Si la fricción es muy baja el geotextil no resiste las fuerzas de tensión por lo que el sistema falla por deslizamiento.

Para determinar esta propiedad, se ensaya experimentalmente mediante pruebas de corte con la combinación de geotextil-agregados que se van a emplear.

Existen diferentes métodos que son adaptaciones de la prueba de esfuerzo cortante empleada en geotécnica, con modificaciones para fijar el geotextil al arreglo, ver *fig. 12*.

Isotropía.

De acuerdo a su fabricación, los geotextiles pueden presentar resistencia muy semejante en todos los sentidos en que se ensayen, en cuyo caso se consideran materiales isotrópicos. En caso contrario cuando la resistencia en algún sentido es superior a la de los demás sentidos, se considera un producto anisotrópico. Por lo general los productos tejidos son anisotrópicos. Su resistencia en el sentido diagonal a 45° es muy inferior a la de los sentidos principales. Esta consideración es de importancia al diseñar sistemas de tierra reforzada donde el esfuerzo que proporciona el textil es unidireccional y por lo tanto es importante señalar, de acuerdo con las propiedades del refuerzo, cual de sus lados será el que absorba el empuje de la tierra.

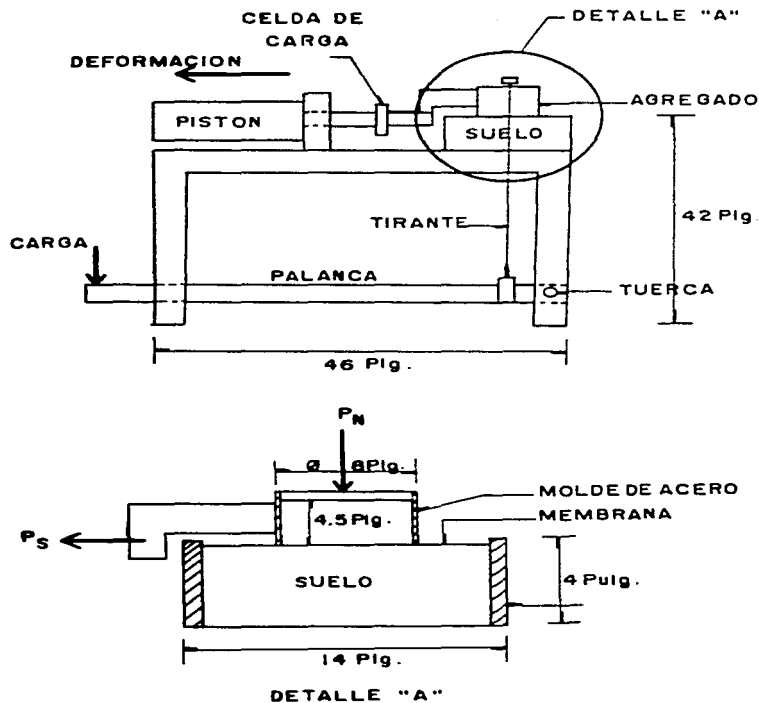


fig. 12. Aparato para medir la fricción entre el geotextil y el agregado o entre dos geotextiles (Tecnológico de Georgia 1980).

1.4.2.3. Propiedades hidráulicas.

Permeabilidad al agua.

Se determina en forma similar al caso de los agregados. Esta prueba se efectúa tomando un espécimen del geotextil, esta se coloca en una base y se acomoda con un tubo de 4 1/2 de pulgada de diametro en la parte superior. El agua se hace pasar por la parte superior del tubo desde donde fluye hacia abajo a través de la membrana y fuera de sistema. Se llevan a cabo tres pruebas con cargas constantes de 3, 12 y 36 pulgadas. Los datos se grafican de manera convencional para obtener la permeabilidad de la geotextil en cm/seg. Con lo anterior se designa a K_n como el coeficiente de permeabilidad transversal y K_p como el coeficiente de permeabilidad en el plano del geotextil. Si se designa como h al espesor de la tela, entonces por lo tanto se derivan la permitividad como K_n/h y la transmitividad como K_p/h .

Permeabilidad al aire.

Se define como el volumen de aire que fluye a través de un material bajo una diferencia de presión entre las dos superficies del geotextil. Se expresa en pies cúbicos por minuto de aire por pie cuadrado de geotextil. Metodo D-737 de la ASTM.

Flujo.

Se deben de considerar dos tipos de flujo en los geotextiles: el flujo normal y el flujo a través del plano del textil, ver *fig. 13*.

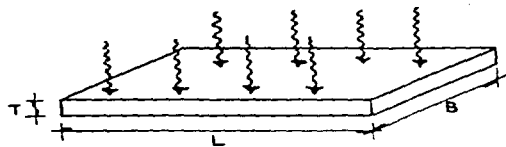
Se define como el volumen de agua que fluye a través del textil, se mide en unidades de volumen por unidad de tiempo (m^3/seg). Se calcula empleando permeámetros de carga constante o permeámetros de carga variable.

Permeabilidad transversal (permisibilidad).

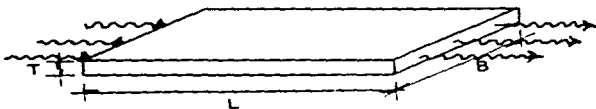
Se define como la cantidad de flujo volumétrico de agua por unidad de área, por unidad de carga hidráulica bajo condiciones de flujo laminar, en una dirección normal a través del geotextil. Es una propiedad directamente relacionada con la filtración.

Multiplicada por el espesor nominal de la tela, se convierte en el coeficiente de permeabilidad k , el cual debe conservar cierta proporción con respecto del coeficiente de permeabilidad del suelo para cumplir con la condición de suficiente permeabilidad, el que requiere que k de la tela sea mayor que K del suelo. El metodo usado es el ASTM D-4491-85.

Su ensaye puede realizarse con un permeámetro de carga constante aplicándole algunas adaptaciones.



A. NORMAL AL PLANO



B. EN EL PLANO

DONDE.:

T = ESPESOR DE GEOTEXTIL

L = LARGO DE GEOTEXTIL

B = ANCHO DE GEOTEXTIL

fig. 13. Flujo en geotextiles.

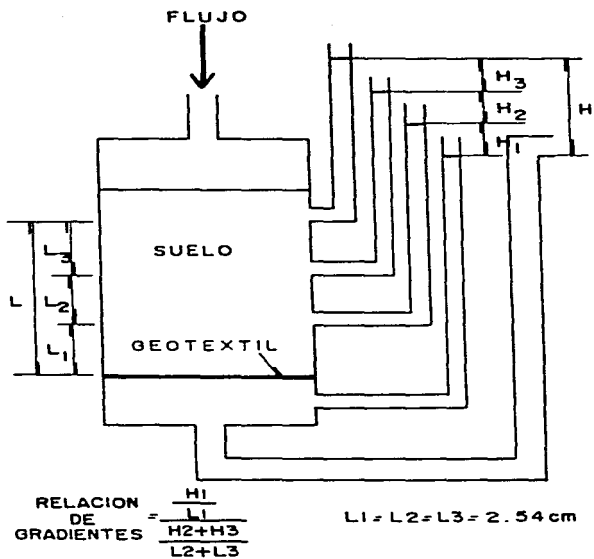


fig. 14. Arreglo para la determinación de la relación de gradientes.

Relación de gradientes.

Tiene por objeto determinar el gradiente hidráulico que genera un geotextil más una pulgada de suelo que se encuentra sobre éste, comparándose contra el correspondiente gradiente que genera dos pulgadas del mismo suelo colocados arriba del arreglo de suelo que se encuentra sobre la tela, ver *fig. 14*. El espesor total de suelo es entonces de tres pulgadas. La prueba se realiza con un permeámetro de carga constante y el geotextil se sujeta firmemente a través del filtro y fuera del permeámetro. El agua pasa por el sistema durante 24 horas antes de que los datos se tomen para calcular la relación de gradientes. El método se designa con la prueba CW-02215 por el Cuerpo de Ingenieros, también se aplica para determinar la resistencia al taponamiento.

Tamaño de abertura aparente (AOS - Apparent Opening Size).

Es un índice del diámetro de los canales más largos que están abiertos entre una y otra cara del geotextil. Se mide con pruebas semejantes a la metalografía cuantitativa, según el Cuerpo de Ingenieros con la especificación CW-02211, con dispositivos "analizadores de imagen" los cuales rápidamente analizan el espécimen y por reflexión de luz dan el porcentaje de vacíos de la fibra, la determinación final se hace con base a la medida estadística de los datos obtenidos.

Otro método de determinación se efectúa con un equipo del tipo empleado para determinar la granulometría de agregados. El método ASTM D-4751-87 fija al geotextil entre dos cernidores que no tienen malla fina en su fondo, ver *fig. 15*, y sobre él se coloca un peso conocido de esferas de vidrio calibradas a un determinado tamaño estándar, sometiendo el arreglo a 10 min de vibración, al cabo del cual se determina el porcentaje de esferas que se detuvo, en relación con el peso inicial, se realizan diferentes pruebas con esferas que son cada vez mayores. La importancia de ésta prueba es la relación que se encuentra con la filtración de partículas de suelo que logran pasar a través de la estructura del geotextil.

Criterios Task Force 25

a) Para suelos con contenido de partículas que pasan la malla 20, hasta 50%, el filtro de geotextil debe cumplir que

$$\text{AOS} \geq \text{malla } 30 \text{ (0.6mm)}$$

b) Para suelos donde dicho porcentaje es mayor a 50%

$$\text{AOS} \geq \text{malla } 50 \text{ (0.3mm)}$$

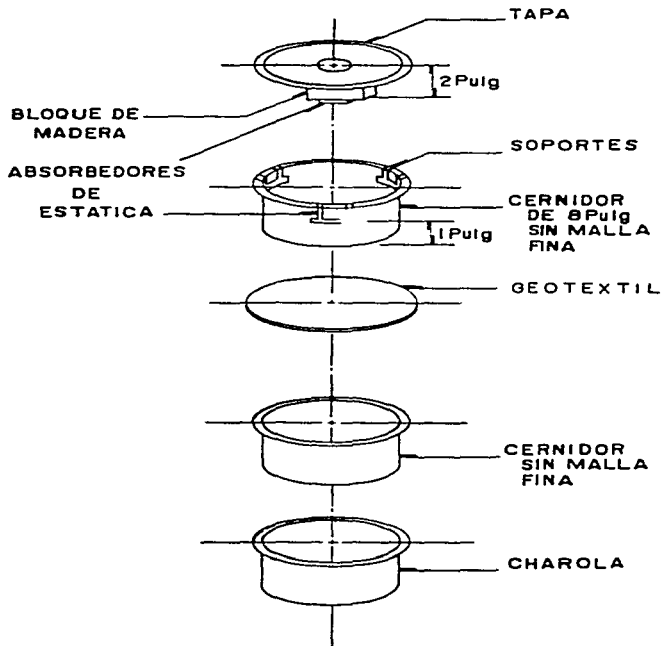


fig. 15. Equipo para determinación del tamaño de abertura aparente de los geotextiles (Haliburton).

Resistencia a la tubificación.

Si el gradiente de flujo del suelo se vuelve demasiado grande para que la membrana lo retenga, la falla de la membrana se representará haciendo una rubea de laboratorio similar a la prueba de gradiente ascendente, se establece el flujo de modo que genere altos gradientes. La falla de la membrana ocurre en forma de una "estallido" con el suelo subyacente fluyendo hacia arriba a través de la membrana fallada.

Características Hidráulicas.

Las características hidráulicas de los geotextiles dependen en gran medida de los procedimientos de fabricación y de los materiales empleados en su producción, que comprenden los filamentos largos, las fibras cortas (de 2 a 10cm) y las tiras, con ancho entre 1 y 3mm.

Por su estructura, los geotextiles son materiales muy sensibles a los esfuerzos de compresión, que reduce su espesor (T) y con ello, su capacidad de drenaje, por lo que se han realizado pruebas para conocer el comportamiento de los geotextiles en cuanto a su capacidad drenante. Aplicando a la tela esfuerzos de hasta 300ton/m³ con cargas hidráulicas de 40m y gradientes de 400, condiciones similares a las que se presentan en presas, se encontró una disminución de la permeabilidad con el tiempo y por esfuerzo normal, pero la mayor parte de las investigaciones confirman que el flujo a través del geotextil no se detiene (Abadjiev, Kaitchev, 1989).

1.4.2.4. Propiedades de durabilidad.

Estabilidad biológica.

El Consejo de Investigación Nacional de Canadá, desarrolló un método que consiste en enterrar muestras de geotextiles en el suelo, extrayendo material a intervalos de tres meses y practicando la prueba de resistencia al reventamiento (ASTM D-774).

Estabilidad a la luz solar y al intemperismo.

Es una prueba comparativa que depende del clima, época del año, condiciones atmosféricas, etc. y como tal da solamente un índice del comportamiento "in-situ" a largo plazo.

Prácticamente todas las aplicaciones de los geotextiles involucran necesariamente el ser cubiertos con suelo o con agregados, por lo que solo es menester vigilar que no sean expuestos al sol por periodos prolongados.

Todos los plásticos presentan algún grado de sensibilidad a la luz ultravioleta, la cual rompe los enlaces que mantienen unidas las cadenas del

polímero, iniciando un proceso de degradación. El polipropileno es particularmente sensible al ataque por rayos ultravioleta por lo que con dicho material es necesario tener especial cuidado. Para reducir dicho efecto, se agregan al polímero durante el proceso de fabricación de los granulados sustancias protectoras como el pigmento denominado negro de humo o bien agentes absorbedores de la radiación.

El método de la ASTM D-4355 utiliza el arco de xenón como fuente de radiación, el procedimiento consiste en someter la muestra a tiempos de exposición de 150, 300 y 500 horas, obteniéndose una curva que permite juzgar el grado de degradación. El resultado es una indicación muy relativa de la resistencia a la radiación del geotextil, pues en condiciones reales la degradación depende de muchos factores.

Estabilidad química.

El método de la ASTM D-543 llamado "resistencia de los plásticos a los agentes o reactivos químicos" es un procedimiento para determinar cambios en peso, dimensiones, apariencia y resistencia. El método proporciona una lista de 50 reactivos standard, los cuales se emplean para el ensaye químico. Las disposiciones están basadas para someter muestras del geotextil al ataque acelerado de varios tipos de exposición y a diferentes reactivos a elevadas temperaturas.

Estabilidad térmica.

Debido a que la orientación de las cadenas moleculares en los filamentos procesados puede perderse al someter al geotextil a temperaturas cercanas a su temperatura de ablandamiento y con ello se afectaría en forma definitiva la resistencia mecánica del material, es recomendable que al aplicar un producto caliente, como el cemento alféstico se tome la precaución de mantener un diferencial de cuando menos 20°C entre la temperatura del producto caliente y la temperatura de ablandamiento del sustrato. El polipropileno se derrite a los 165°C y el políester a los 250°C.

El método de la ASTM D-794 consiste en someter al polímero a altas temperaturas en un horno.

1.5. Pruebas que se consideran más importantes para su aplicación en pavimentos.

De todas las propiedades de los geotextiles que han sido identificadas, se consideran que las más importantes para su aplicación en pavimentos son las relativas a la Resistencia a la Tension Deformacion Unitaria en la Ruptura, Efecto del Calor, Espesor, Peso y Retencion de Asfalto.

De las cuales, la retención de asfalto no se estudió anteriormente por lo que se verá a continuación

I.5.1. Retención de asfalto.

Es una propiedad muy importante debido a que la cantidad de asfalto utilizada para adherir el geotextil y proporcionar una capa impermeable puede ser la causa de un fracaso

La cantidad de asfalto retenida es proporcionada por el fabricante o determinada en pruebas directas.

Prueba de retención de asfalto y cambio de área para geotextiles.

La prueba aquí descrita y que realiza la SCT en los laboratorios de Servicios Técnicos de la Cd. de México, fue desarrollada por la AASHTO en su Especificación Estándar para Geotextiles con Designación M 288-90 del Apéndice XI.

Uso y Significado.

La retención de asfalto y el cambio de área es un procedimiento que es recomendado para el grado de pavimentación de los tejidos ingenieriles

El uso de este método de prueba es el de establecer un valor índice para proveer un critero estándar y una base para un reporte uniforme

A continuación se describe brevemente el alcance y procedimiento de la prueba:

a - Alcance.

Este método cubre el procedimiento para determinar la retención de asfalto y cambio de área para geotextiles de uso ingenieril en pavimentos, y es aplicable a telas de ingeniería que son utilizadas en una capa saturada de asfalto en un concreto asfáltico.

b - Definiciones.

La retención de asfalto es el peso del cemento asfáltico retenido por una tela ingenieril de pavimentación por unidad de área del espécimen después de la sumersión en el cemento asfáltico.

El cambio de área es el cambio de área por unidad del material original expresado en porcentaje.

c - Resumen del método.

Los especimenes de las telas ingenieriles son seleccionadas al azar de una pieza de geotextil. El corte del molde debe tener una medida de 4pulg x

8 pulg (10 cm x 20 cm) con una tolerancia de +/- 0.1% de cada dimensión lineal, cortando cinco especímenes en dirección de la máquina y cinco en sentido transversal de la máquina

A continuación son pesados en forma individual antes de ser sumergidos en un cemento asfáltico específico (AC-10) mantenido a una temperatura de 275 +/- 4°F en un horno de convección mecánica

Después de la prueba de sumersión, los especímenes son colgados para ser drenados en un horno a 275 +/- 4°F por un tiempo adicional de 30 min

Una vez completada la sumersión del espécimen en asfalto y drenado, el espécimen en forma individual es pesado determinando así la retención de asfalto. La retención de asfalto de los especímenes individuales se calcula de la siguiente manera

$$\text{Peso en gr del cemento asfáltico retenido} \times 0.035 \quad (1)$$

Área del espécimen después de la prueba en pulg² x 144

Siendo la retención de asfalto observada, el promedio aritmético de todos los especímenes aceptables

El área del espécimen saturado en asfalto es determinada por la medida del área del espécimen individual. El cambio de área de los especímenes individuales se calcula de la siguiente manera % +/-

$$\left[\frac{\text{Área del espécimen después de la prueba en pulg}^2}{\text{Área original del espécimen en pulg}^2} \times 100 \right] - 100 \quad (2)$$

Donde:

-% representa la contracción del geotextil durante la prueba

+% representa la elongación del geotextil durante la prueba.

Siendo el cambio de área observado el promedio aritmético de todos los especímenes aceptables.

1.6. Importancia de las pruebas.

La frecuencia de las pruebas estará en función de la magnitud, es decir, del número de metros cuadrados de geotextil empleados, de la importancia de la obra y del valor de la función del geotextil dentro de ésta. El geotextil, como ya

hemos visto, podrá intervenir en una o varias funciones dentro de la obra y en diferentes niveles de importancia, su correcta determinación servirá para definir el tipo de control que se llevará

I.7. Complicaciones de las pruebas.

Una de las complicaciones circunstantes, es que existen ensayos que sólo representan un índice del comportamiento del material claro que, en contraparte son relativamente económicas y de fácil realización con equipo convencional. Así mismo, existen otras que reproducen en forma adecuada el funcionamiento del geotextil, pero que requieren equipos más complicados, de mayor costo o que requieren de lapsos de observación prolongados por lo mismo que no son prácticos

Capítulo II

REDISEÑO Y EVALUACION DE PAVIMENTOS CON EL USO DE GEOTEXTILES.

II. 1. Diseño por función.

Para cualquier tipo de diseño que se trate sea ya un diseño por especificación o un diseño por función, se requiere un conocimiento adecuado de las propiedades y refuerzo del textil, de la resistencia y deformación de los suelos. Es necesario realizar mediciones y determinar las tolerancias en base a la fuerza permisible del diseño. Se debe considerar la acción del refuerzo en términos de la fuerza requerida y la disponible, aclarar el mecanismo de trabajo y simplificar el diseño para estabilidad y deformaciones.

El diseño por función es relativamente nuevo, el cual se encuentra en un proceso de evolución, y es una técnica genérica que puede ser usada con cualquier producto geotextil y en cualquier aplicación. Se requiere determinar que se quiere hacer realmente con el geotextil, cuál es su función.

Fundamentalmente el diseño con geotextiles se basa en identificar aquellas funciones que va a realizar el geotextil y considerar todas y cada una de las funciones que éste proceso puede involucrar en una aplicación. Necesitamos ser capaces de decirle al ingeniero constructor que es lo que tiene que hacer con ese producto en la obra y exactamente cumplir con las especificaciones de instalación que marca el diseño para satisfacer realmente con la especificación. Esto es el fundamento del diseño con geotextiles, identificar aquellas funciones de primer orden que éste proceso puede involucrar en una sola aplicación.

Es importante hacer notar que el procedimiento de pruebas para geotextiles está basado en los de las industrias textil y del vestido, las cuales, no son aplicables directamente para uso geotécnico, sin embargo se han hecho esfuerzos por parte de grupos y asociaciones para establecer métodos de pruebas específicos, como ya hemos visto en el capítulo anterior, para medir las diferentes propiedades de los geotextiles.

Encontramos otra problemática dentro de los geotextiles que se encuentra fuera del alcance del ingeniero que especifica la utilización de geotextiles, y es que, más a menudo los geotextiles no se instalan adecuadamente o no sobreviven a la instalación.

De acuerdo a lo anterior el esquema es el siguiente:

Primero identificamos la función principal del geotextil y nos dirigimos a las propiedades que podemos escoger con relación a la supervivencia, consideramos los sellos, traslapes, detalles y finalmente agregamos un factor de seguridad

Las funciones básicas del geotextil como ya hemos visto en el Capítulo I, son seis: separación, refuerzo, filtración, drenaje, barrera impermeable y protección. Entonces es preguntarnos que función va a realizar el geotextil, teniendo siempre cuidado de no confundir estas funciones con las aplicaciones

Una vez identificada la función del geotextil, para asegurar su supervivencia elegimos pruebas de propiedades para las especificaciones, las cuales cuantificarán esas funciones. Necesitamos asegurar que el geotextil que se ha especificado cumple con el trabajo para el que fue proyectado

En tercer término, necesitamos dirigir nuestra atención a los detalles de los geotextiles, como son las uniones traslapes y muchos otros detalles que dependen del tipo de proyecto que se diseña, es necesario evaluar los esfuerzos en uniones y traslapes. Por último determinamos los factores de seguridad convenientes.

Si todo es perfectamente conocido, no es necesario un factor de seguridad, principalmente se requiere evaluar un factor de seguridad sobre una base parcial y sobre la base del proyecto en general. Un factor de seguridad es en realidad una cuantificación, una estimación numérica de qué tan satisfechos estamos con el trabajo que diseñamos y con el resto de las variables dependientes como puede ser el trabajo del contratista, el suelo, etc. Si estamos seguros de éstos aspectos, podemos vivir con un factor de seguridad muy bajo. Nuestra incertidumbre aumenta entonces el valor de nuestro factor de seguridad.

Basándose en los criterios usuales de ingeniería, que establecen relaciones numéricas entre valores permitidos para determinada propiedad del geosintético y valores requeridos de esa propiedad, se obtienen factores de seguridad que se comparan con el factor de seguridad deseado.

La ecuación general correspondiente al diseño por funcionalidad es la siguiente:

$$F. S. = \frac{\text{Valor de la propiedad permisible}}{\text{Valor de la propiedad requerida}} \quad (3)$$

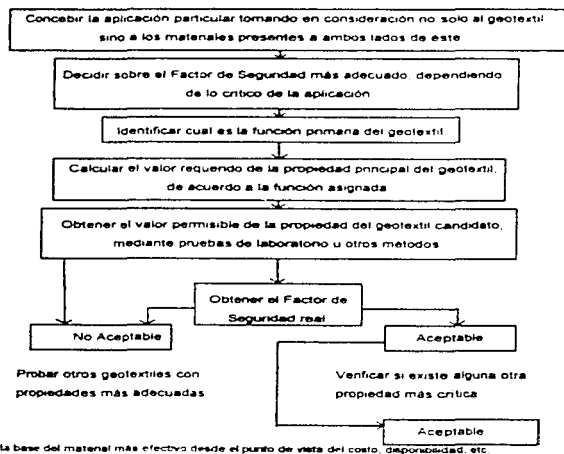
Los denominados valores permitidos son las propiedades del geotextil que se considera en el diseño, mismos que pueden ser obtenidos mediante ensayos de laboratorio. Algunas de estas propiedades se obtienen para el geotextil aislado y otras se obtienen en ensayos de sistemas geotextil-suelo o geotextil-agregado.

Los valores requeridos se obtienen mediante cálculos usuales para sistemas tradicionales que han sido modificados para incorporar la contribución del geotextil.

Uno de los problemas del diseño por función es que se requiere contar con información de las propiedades de los materiales y los geotextiles son productos que, dada su relativa corta existencia en la industria, aún se encuentran en etapa de desarrollo y normalización, existiendo pocas pruebas generalmente aceptadas que proporcionen información real del comportamiento de estos.

A continuación se presenta un diagrama de flujo en donde se pueden consultar los pasos recomendados para realizar un diseño por función.

Diagrama del diseño por función.¹



¹ RAMÍREZ, Alejandro. Ob. cit., p. 23

Una de las cualidades del diseño por función es que al contrario del método tradicional de Diseño por Producto, el cual no permite una comparación entre distintas marcas e impide evaluar las probables respuestas mecánicas e hidráulicas a las solicitaciones, el Diseño por Función sí lo permite

II. 2. Diseño por especificación.

Una alternativa al Diseño por Función es la aplicación de criterios de aceptación de los productos geosintéticos publicados por diferentes organismos. En este sentido ya existen grupos de trabajo multidisciplinario en diferentes partes del mundo, cuyo fin es el de publicar las especificaciones de aceptación de geotextiles

Muchos de estos criterios de aceptación están basados en correlaciones empíricas de resultados obtenidos en aplicaciones reales con las propiedades de los materiales empleados

Task Force 25

Task Force 25 o Grupo de Trabajo 25, este grupo está compuesto por representantes de La Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales de Transportación, AASHTO, y de dos organizaciones de contratistas de carreteras de los EUA que son, La Asociación Americana de Constructores de Caminos y Transportes, ASTBA, y La Asociación General de Contratistas de América, AGC. Cuentan con consultores técnicos de diferentes universidades, de la Estación Experimental Waterways del Cuerpo de Ingenieros y de asociaciones de fabricantes de textiles.

AASHTO está representada por miembros de The Federal Highway Administration (FHWA), por los Departamentos de Transportación de los Estados de California, Nuevo México y Nueva York y por el Consejo de Investigación de Carreteras y Transportación del Estado de Virginia.

Task Force 25 es un esfuerzo por proporcionar una guía de especificaciones objetiva a los usuarios finales de geotextiles, fue formado en 1982, por el Comité para Nuevos Materiales de Carreteras con objeto de desarrollar especificaciones para la aplicación de geotextiles en vías terrestres

El Task Force 25 ha aprobado y presentado a la AASHTO cinco guías de especificaciones de geotextiles

- 1.- Guía de especificación para pavimentos
- 2.- Guía de especificación de cerca para fango
- 3 - Guía de especificación de drenaje
- 4.- Guía de especificación para control de erosión
- 5.- Guía de especificación para separación.

Estas guías de especificaciones fueron hechas para ser utilizadas como una idea mínima y deberán ser complementadas por el juicio del ingeniero

El objetivo de este capítulo es el rediseño de pavimentos a partir de la inclusión de un geotextil, por lo que únicamente se estudiarán las especificaciones para pavimentos de la Task Force 25

II.2.1. Guía de especificación para pavimentos.

Son aplicables para todos los geotextiles usados como cubierta total del ancho del pavimento o como cubierta parcial que solo cubran las juntas o grietas

II.2.1.1. Definición de las telas de pavimentación.

La tela asfaltada colocada debajo de una capa de concreto asfáltico se fundamenta en dos principios. La de proveer una membrana resistente al agua; ésta se logra a partir de su combinación con el asfalto. El geotextil y el asfalto forman un sistema que restringe el paso del agua desde la superficie, evitando de esta forma la disminución de la resistencia al esfuerzo cortante en la base del pavimento. Segundo, la de actuar como capa que reduzca el agrietamiento evitando la reflexión de éstas en la sobrecarpeta al comportarse como una capa que alivie los esfuerzos de tensión dentro de la estructura del pavimento

II.2.1.2. Descripción.

El trabajo consistirá del procedimiento y colocación de un geotextil entre las capas del pavimento con el propósito de incorporar una membrana impermeable, que tome los esfuerzos de tensión dentro de la estructura del pavimento. Es aplicable a geotextiles utilizados para cubrir totalmente la sección de la superficie de rodamiento, o en franjas sobre juntas transversales y longitudinales del pavimento. No incluye la descripción del diseño específico de sistemas con geotextiles para juntas de pavimento y reparaciones locales, es decir, baches.

II.2.1.3. Materiales.

Geotextil.

El geotextil utilizado deberá ser constituido a base de una larga cadena de polímeros sintéticos, fibras sintéticas compuestas por lo menos de un 85% en peso de poliolefinas (poliester y polipropileno) y poliamidas; deberá resistir el ataque químico, el moho y la humedad, y no deberá tener ningún desgarro o defecto los cuales alteren adversamente sus propiedades físicas. El geotextil deberá ser del tipo no tejido termofijado, debido a que los geotextiles tejidos no

permiten la retención suficiente de asfalto, y deberá aprobar los siguientes requerimientos físicos de la **Tabla II**.

Dimensiones de rollos de geotextil.

El ancho común dentro del mercado de los geotextiles es de 3.80m, el largo de los rollos depende según el fabricante y también el calibre del geotextil (gr/m²), siendo sus longitudes mas comunes de 50, 70 y 100m. Ese mismo calibre o gramaje puede ser ofrecido en solo algunos tipos y en variedades muy continuas, las mas comunes son 140, 200, 275, 350 y 475gr/m².

TABLA II.

Propiedad.	Requisito.	Ensaye.
Resistencia a la tensión (kg)	36.3min	ASTM D-4632*
Elongación a la ruptura (%)	50min	ASTM D-4632*
Retención de asfalto (lt/m ²)	0.9min	Texas DOT Spec 3099
Punto de fusión (°C)	160 o mayor	ASTM D-276*

* Proporcionan una guía de cuantas pruebas individuales deberán tomarse por rollo para representar un valor del ensaye. El valor es obtenido por muestreo y ensayo del número de especímenes en la dirección de la máquina y en la dirección transversal a la misma.

El promedio de los resultados de todos los especímenes en ambas direcciones representan el valor correspondiente a cada una. Los valores deberán exceder los valores mínimos indicados en la **Tabla II**.

Riego de sello.

El material usado para impregnar y sellar el geotextil, como para la adherencia entre el pavimento existente y la sobrecarpeta, deberá ser un producto asfáltico recomendado por el fabricante y aprobado por el ingeniero.

Los cementos asfálticos AC-6 son preferidos como negro de sello aunque también podrá usarse asfaltos rebajados, tipo FR-3; las emulsiones catiónicas y aniónicas pueden ser utilizadas pero siempre con precaución ya que el negro necesita "romperse" totalmente antes de instalar el geotextil, lo que puede tomar de 30 minutos a 4 horas.

Poreo.

Puede colocarse la misma mezcla asfáltica para la carpeta o arena limpia sobre el geotextil saturado de asfalto para facilitar el movimiento del equipo durante la construcción o para prevenir el desgarramiento y levantamiento del geotextil.

El exceso de arena sobre el geotextil deberá ser removido, utilizando para ello escobas, previamente al tendido de la sobrecarpeta.

II.2.1.4. Vida útil del geotextil.

Se entiende por vida útil del geotextil a la capacidad que tengan sus fibras para soportar el manejo y la instalación en su lugar final de trabajo. Se relaciona con el equipo y las técnicas de construcción, con el material y las condiciones de la estructura del pavimento.

II.2.1.5. Equipo.

Petrolizadora.

Deberá contar con sistemas para el tendido del negro asfáltico de acuerdo al proporcionamiento y de manera uniforme. No serán permitidas interrupciones, saltos, goteos o franjas del riego de sello.

Equipo para colocar el geotextil.

Se podrá colocar en forma mecánica o podrá realizarse manualmente, formando una superficie lisa libre de arrugas o dobleces.

Equipo accesorio.

Cepillos para alisar el geotextil, navajas o tijeras para cortar el geotextil, y cepillos para aplicar el negro de sello en los traslapes. Un equipo de compactación sobre neumáticos para uniformizar el geotextil sobre el riego de sello.

Especificaciones ASTM.

Según la ASTM existen 35 propiedades de los geotextiles de las cuales las que más se consideran para su aplicación en pavimentos, y que ya hemos visto, son:

- Resistencia a la tensión
- Deformación unitaria a la ruptura
- Retención de asfalto
- Efecto del calor.
- Peso
- Espesor

II. 3. Evaluación de pavimentos.

Definición de pavimento flexible: "Un pavimento flexible es un sistema de capas múltiples constituido por carpeta asfáltica, base y sub-base, su comportamiento dependerá de las características de cada capa, así como de las características de las capas de apoyo como son la sub-rasante, el cuerpo del terraplén y en muchos casos el propio suelo de cimentación".¹

La evaluación que se considera que se debe efectuar antes y después de una rehabilitación es la siguiente

¹LANDEROS, Ortiz Roberto. Tópicos de geotecnia, UNAM-ENEP ACATLÁN, p. 14

- 1.- Evaluación del agrietamiento en la superficie
- 2.- Realizar mediciones por deflexión con Viga Benkelman
- 3.- Determinar la capacidad portante tanto de la sub-base como de la base
- 4.- Evaluar una o dos veces por año con el fin de investigar los efectos del geotextil en los pavimentos

Una recomendación muy importante para decidir sobre la aplicación de geotextiles, consiste en investigar la causa del agrietamiento, efectuando una evaluación del pavimento incluyendo la medición de deflexiones con viga Benkelman. Esto es fundamental por que un geotextil no soluciona problemas del tipo estructural y mucho menos relacionados con el subdrenaje, de manera que ambos problemas deben previamente solucionarse, antes de aplicar el geotextil

La evaluación de un pavimento toma en cuenta la investigación y análisis del tipo e intensidad del tránsito, la rugosidad, que afecta la calidad de rodamiento de los vehículos, el deterioro superficial, cuya severidad se juzga subjetivamente en base a la inspección detallada de la carretera, es decir se realiza un levantamiento de daños y consiste en determinar los tipos de fallas que se presentan en un camino y sus causas, estos pueden ser roderas, superficie de rodamiento lisa, deformaciones transversales, desintegración de la carpeta, grietas longitudinales, calavereo, baches agrietamiento en mapeo (piel de cocodrilo) y deformaciones

La evaluación estructural generalmente se realiza a través de mediciones de deflexión superficial esto nos proporciona una medida de la resistencia del pavimento y se relacionan con el deterioro superficial de la obra vial y, en cuanto a la rugosidad y resistencia al deslizamiento, éstos reflejan aspectos funcionales del camino

II.3.1. Estado actual.

Para medir la rugosidad se emplea el concepto del estado actual siendo éste evaluado por:

Calificación actual
Índice de servicio
Comportamiento

II.3.1.1. Calificación actual.

Un criterio para valorar el estado de un camino es el de la "calificación actual", se determina mediante las pruebas propuestas por la AASHTO, que se basan exclusivamente en la apreciación personal (subjetiva) del usuario del camino, respecto a la facilidad que ofrece éste para ser recorrido cómodamente. Es el juicio de varios observadores con relación a la capacidad del pavimento, para servir al tránsito para el que fue diseñado.

Para obtener valores objetivos de la calificación, estudios posteriores realizados en diferentes países y en la misma AASHTO, han relacionado la calificación subjetiva con el porcentaje de áreas agrietadas o reparadas, datos que se desprenden de una primera evaluación superficial

La escala de calificación AASHTO es la siguiente.

Calificación	Estado del pavimento
4 1 - 5 0	Excelente
3.1 - 4 0	Bueno
2.6 - 3 0	Regular a Bueno
2.1 - 2 5	Regular a Malo
1 1 - 2 0	Malo
0.0 - 1.0	Muy malo

La valoración subjetiva de la calificación actual nos proporciona un índice que representa seguridad y comodidad al usuario del camino y revela deficiencias en el acabado superficial en caso de caminos nuevos

II.3.1.2. 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.

El índice de servicio se calcula con la siguiente expresión:

$$IS = 5.03 - 1.9 \log(1 + SV) - 0.01 \sqrt{C + P} - 1.38(2/RD) \quad (4)$$

Donde:

- IS = índice de servicio
- SV = variación de la pendiente
- C = longitud del agrietamiento por cada 100m²
- P = área bacheada por cada 100m²
- RD = profundidad de las deformaciones en roderas, medidas con regla de 1.2m

II.3.1.3. Deterioro superficial.

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, calavereos y zonas lloradas

II.3.1.4. 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

El factor de fricción es el cociente entre la fuerza paralela a la cara 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

$$f = F / L \quad (5)$$

Donde:

f = factor de fricción

F = fuerza paralela al pavimento

L = fuerza normal al pavimento

II.3.1.5. 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 y el deflectómetro viajero, ó la prueba de placa

Funcionamiento de la Viga Benkelman.

La valonzación de la deflexión que experimenta un camino por efecto de las cargas circulantes, nos permite definir un criterio de análisis por fatiga de las capas que constituyen el pavimento.

La deflexión es la medida de la deformación no permanente provocada por la aplicación de cargas repetitivas, y puede ser determinada por diferentes procedimientos, uno de los cuales resulta ser el método de la Viga Benkelman

Descripción del aparato.

La Viga Benkelman funciona conforme al principio básico de la palanca y consiste en una solera de aluminio que se encuentra sujeto a un eje, a un perfil tipo canal, apoyado directamente sobre el camino a través de dos patas fijas y una móvil, de manera que permita colocar a la viga en posición sensiblemente paralela a la superficie de rodamiento, ver *fig. 18*.

El extremo saliente de la solera se apoya directamente sobre la superficie de rodamiento a través de una pequeña ampliación denominada palpador y en el otro extremo se produce un contacto continuo con un extensómetro mecánico, que permite medir los movimientos de la solera con una aproximación de

0.001 pulg (0.0254 mm). Se cuenta con un sumbador que se activa al realizar las lecturas con objeto de disminuir la fricción mecánica del extensómetro

Descripción del procedimiento.

Los estudios de evaluación se concretan a determinar la deflexión en el punto bajo la carga máxima, punto C. El punto C de la viga que sirve como indicador, se coloca en forma centrada entre la doble llanta. Llantas en dual medida 1,000 - 20/12 capas y con una presión de inflado de 5.8 kg/cm² (82.4 lb/pulg²), de un camión tipo C2 debidamente lastrado con peso de 8.2 ton en el eje trasero, dicha punta bajara una cierta cantidad, debido a la deformación provocada en el pavimento por el peso aplicado, entonces el brazo D1 girará en torno a la articulación con respecto al brazo D previamente nivelado, y de esta forma el extensómetro hará una lectura. Se dará suficiente carrera al extensómetro, ya que su funcionamiento es regresivo, se hace funcionar el zumbador y se anota la lectura del extensómetro, que se registra como la lectura inicial. Si se retiran ahora las llantas cargadas, hasta fuera del área de influencia del bulbo de deformación, el punto C se recuperará en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo, el extensómetro hará otra lectura que resultará ser menor a la inicial, registrándose como lectura final. 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 decir, la diferencia de lecturas inicial y final nos indica el movimiento de la solera, que multiplicada por la relación de brazos proporciona la deflexión sin corregir

$$\delta'' = (a / b) \Delta \quad (6)$$

Donde:

δ'' = deflexión real sin corregir en el punto bajo la carga

Δ = deflexión leída en el extensómetro

a / b = relación de brazos

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

Como el espesor y temperatura influyen en la deflexión leída, se deberá realizar su corrección:

$$\delta = (\delta'' - C) \quad (6')$$

Donde:

δ = deflexión real corregida en el punto bajo la carga

δ'' = deflexión real sin corregir en el punto bajo la carga

C = Corrección por espesor y temperatura de carpeta (Ref. 19)

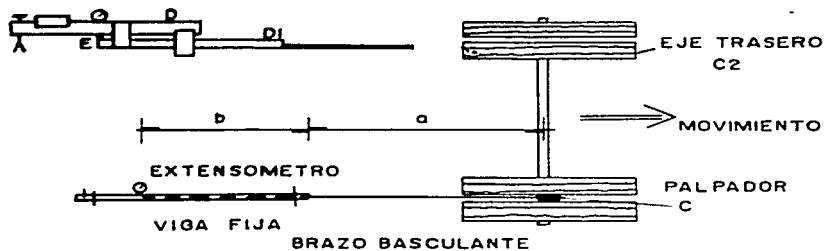


fig. 16. Viga Benkelman.

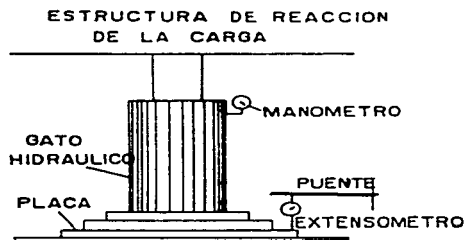


fig. 17. Prueba de Placa.

Pruebas de Placa.

Desde luego que la valuación de la capacidad estructural de un pavimento deberá comprender también el análisis de la resistencia de los materiales que constituyen cada una de sus capas, incluyendo la subrasante.

Para valorar la capacidad estructural de un pavimento el Departamento del Transporte del Canadá ha sugerido la ejecución de pruebas de carga por medio de placas.

Descripción del procedimiento.

Se realiza para valorar la capacidad portante de las subrasantes, las bases y, en ocasiones, los pavimentos completos.

La prueba consiste en cargar una placa circular, en contacto estrecho con el suelo por probar, midiendo las deformaciones finales correspondientes a los distintos incrementos de carga utilizados.

Para carreteras se emplean placas de 30.5 cm (12 pulg) de diámetro, cuya área se parece a la de apoyo de una llanta. Para impedir la flexión de la placa se le colocan encima otras, de diámetro decreciente, que dan al conjunto la rigidez deseada. La carga se transmite a las placas con gatos hidráulicos. Las deformaciones producidas se miden usualmente en cuatro puntos de la placa, opuestos y dispuestos en cruz, por medio de extensómetros ligados a un puente, cuyo apoyo se coloca lo suficientemente lejos de la placa como para poder considerarlo fijo, ver *fig. 17*.

La carga unitaria que se puede considerar que aplica la placa depende de la relación entre su perímetro y su área, así como de lo resistente que sea el suelo. La carga unitaria (presión normal) que la placa transmite, para una deflexión dada, corresponde a la ecuación

$$\sigma = n + m (p/A) \quad (7)$$

Donde:

σ = presión normal transmitida por la placa

n, m = coeficientes empíricos obtenidos experimentalmente.

p/A = relación entre el perímetro y el área de la placa

La fórmula se basa en relaciones empíricas y no presupone para el suelo ningún modo especial de comportamiento.

Para pruebas en carreteras se tienen las siguientes características:

Una placa de 30.5 cm (12 pulg)

Deformación de 0.508 cm (0.2 pulg).

Diez repeticiones de la carga.

Intervienen tres tipos de sistemas.

1.- Sistema de reacción

Proporcionado por un camión con peso mínimo de 12ton para pruebas en carreteras. Deberá contarse con una estructura apropiadamente rígida contra la que se puedan ejercer tales empujes

2 - Sistemas de cargas

Constituido por un gato hidráulico, con manómetro y sus demás aditamentos y por un juego de placas circulares, con 2.5cm de espesor mínimo y con las siguientes dimensiones. Se usarán por lo menos dos placas de 30.5cm (12pulg) y 15.24cm (6pulg)

3 - Sistema de medición de deformaciones

Constituido por dos o más micrómetros, con aproximación de 0.01mm. Si son dos, deberán colocarse en oposición, a 180°; si son tres, con separación angular a 120° y si son cuatro, lo que es preferible, en cruz. Los micrómetros estarán a una distancia mínima del borde de la placa mayor a 2.5cm

La valuación final de la capacidad estructural deberá tener en consideración los resultados obtenidos con el uso de los dos criterios, deflexión y resistencia

Observaciones.

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 de determinar sus características mecánicas en el laboratorio.

Un exámen detallado del estado del pavimento se deberá representar en un plano ubicando todas las zonas de falla y se deberán indagar sus causas. Distinguiendo entre rupturas debidas al tránsito y las cargas, y las debidas al clima, drenaje o deficiencia de los materiales, así como una mano de obra defectuosa.

Antes de colocar una sobrecarpeta asfáltica reforzada con geotextil, deberá de hacerse un cuidadoso reporte de campo, apoyado en pruebas de laboratorio. Cuando se tenga un camino sujeto a tránsito intenso y pesado, se recomienda hacerle un estudio previo, apoyándose en las lecturas de Viga Benkelman.

La investigación del suelo deberá ser completa, a fin de que revele las variaciones importantes en su estructura. Deberán 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

II. 4. Rediseño de pavimentos con geotextiles.

Una vez que han sido analizados o valuados todos los conceptos del subcapítulo anterior, debe pasarse a la siguiente etapa de tomar una decisión acerca del tipo de rehabilitación más adecuado, es ahora cuando entran en juego todos aquellos conceptos, entre los cuales se encuentra el incremento esperado del volumen e intensidad de las cargas del tránsito que circulará por el pavimento.

Una buena conservación contribuye a prolongar la vida del camino y deberá considerarse aspectos tan importantes como el efecto de fatiga en la estructura del pavimento por la constante aplicación de las cargas provocadas por el tránsito. Sin embargo, no quiere decir que aunque un camino tenga el más adecuado proceso de conservación no se excluirá que el pavimento deba rehabilitarse.

El comportamiento estructural del pavimento dependerá del efecto destructivo causado por las sollicitaciones del tránsito y del ambiente que se presente durante su vida de servicio.

Los parámetros de diseño presentan las condiciones bajo las cuales el pavimento debe funcionar durante su vida útil. En el caso de rediseño son parámetros totalmente conocidos, y por su importancia nos enseña si el camino soportó esas condiciones en forma adecuada durante su servicio, ya que su vida útil no ha terminado, solo se requiere una rehabilitación para incrementar su vida útil y por lo tanto continuar con un servicio proporcionando un camino cómodo y transitablemente seguro.

Parámetros de diseño.

- Tránsito y cargas.
- Ambientales
- Construcción
- Diseño estructural
- Mantenimiento y conservación
- Operacionales.
- Restrictivos.

Parámetros de tránsito y cargas.

Constituidos por los diferentes tipos de vehículos que integran o integrarán el tránsito y que circularán por la carretera. Los datos requeridos son los siguientes.

- Tipos de vehículos
- Cargas por eje sencillo o múltiple
- Número de aplicaciones
- Distribución del tránsito durante el año.

- Canalización del tránsito
- Tasa de crecimiento anual
- Vida de proyecto del pavimento antes que la carretera requiera una reconstrucción

En el caso de rehabilitación de pavimentos, se cuenta con mayor información de este tipo, cuando se trata de proyecto de pavimento, se tropieza con el problema de la estimación del tránsito. Para solucionar este problema pueden tomarse modelos de situaciones semejantes.

Es conveniente tomar en consideración el tránsito de construcción, que en ocasiones llega a ser el más importante en la vida de un pavimento.

Parámetros ambientales.

Las características reológicas de los materiales que constituyen la carretera dependen de los siguientes parámetros:

- Geología y topografía de la región
- Nivel freático
- Régimen pluviométrico
- Drenaje superficial y subdrenaje
- Temperatura ambiente.

Todos estos parámetros influyen con carácter principal en el diseño de un pavimento. Es necesario identificar los tipos de suelos sobre los que se construirán los pavimentos y caracterizarlos mediante las pruebas de laboratorio establecidas al respecto. La topografía además de estar ligada al drenaje del área, en ocasiones originará cortes y terraplenes que pueden afectar el comportamiento de un pavimento. El proyecto de un drenaje superficial adecuado, así como algunas obras de subdrenaje, pueden redituar en un comportamiento exitoso. La temperatura ambiente y sus variaciones en un momento dado pueden constituir un aspecto vital para el mismo, por ejemplo, inestabilidad de mezclas asfálticas por exceso de calor, agrietamientos en las mismas por bajas temperaturas.

Parámetros de construcción.

- Control de calidad.
- Experiencia del personal.
- Disponibilidad del equipo.

El control de calidad debe tener un carácter preventivo, y como tal, debe iniciarse con el proyecto mismo. El control de calidad debe comprender aspectos que cubren desde selección de contratistas, pasando por estudio de bancos, hasta revisión de especificaciones, tolerancias y pruebas.

Parámetros de mantenimiento y conservación.

Un buen mantenimiento garantiza que las variaciones en las características constructivas sean mínimas.

- Nivel de mantenimiento

- Tipo de rehabilitación.
- Disponibilidad de fondos.
- Relación con los usuarios.

Estos parámetros están relacionados, con aspectos económicos del proyecto el cual debe fijar el tipo de conservación requiendo La ausencia de conservación implica un deterioro acelerado del camino.

Parámetros de diseño estructural.

Incluyen características relativas a cada una de las capas que constituyen la carretera así como de los siguientes parámetros.

- Características de la subrasante
- Tipo y calidad de los materiales disponibles.
- Estabilización de suelos.
- Disponibilidad de equipo de pruebas.

Parámetros operacionales.

- Control de tránsito durante la construcción.
- Control de tránsito durante el mantenimiento.
- Control de tránsito durante la reconstrucción.
- Comodidad para el usuario.

Parámetros restrictivos.

- Máximos costos admisibles a niveles inicial, mantenimiento y operacional.
- Vida de diseño.
- Lapso para la primera reconstrucción importante.
- Lapsos entre reconstrucciones importantes.
- Impacto en el ambiente.

De acuerdo con los parámetros anteriores, el siguiente paso es proceder al diseño o rediseño del pavimento, cualquiera que fuera el caso. Cada uno de los diseños propuestos deben ser evaluados desde el punto de vista de la predicción de su comportamiento.

II.4.1. Diseño con geotextil.

Es práctica común diseñar el refuerzo para las condiciones estructurales más críticas que se hayan encontrado en el camino; sin embargo, no puede decirse que este criterio sea el más adecuado, sobre todo si se toma en cuenta la disponibilidad de fondos para efectuar las obras de rehabilitación; por otra parte, una variación frecuente en los espesores de refuerzo utilizados en pequeños tramos, considerando sus diferentes condiciones de capacidad estructural, puede conducir a procedimientos constructivos poco prácticos, que podrían repercutir desfavorablemente en los costos. Un balance razonado de las dos ideas señaladas puede conducir al establecimiento de un proyecto que, satisfaciendo

las necesidades de refuerzo, implique el máximo posible de economía y condiciones prácticas de construcción

Existen dos criterios para el diseño con geotextil en la rehabilitación de pavimentos, el primero desde el punto de vista de refuerzo y el segundo desde el punto de vista de la actuación del geotextil como barrera impermeable

II.4.1.1 Refuerzo.

El refuerzo, en mecánica de suelos, se entiende como la absorción de ciertos esfuerzos por un material¹

Comprobado de manera experimental basado en ensayos realizados para determinar la efectividad del geotextil para impedir la reflexión de grietas. Se construyó un espécimen con una porción de carpeta agrietada a la cual se le colocó una capa de geotextil y en seguida se cubrió con una porción de sobrecarpeta. Al espécimen se le aplicaron ciclos de cargas dinámicas hasta provocar el agrietamiento por flexión en la parte superior del espécimen (sobrecarpeta). Se ensaya inclusive un espécimen en el cual no se colocó el geotextil, y que sirve de control. Los resultados fueron los siguientes, Tabla III.

TABLA III.

Tipo de geotextil	Peso (gr/m ²)	Ciclos a la falla
Control, sin geotextil	-----	480
No tejido, poliéster	205	2300
No tejido, polipropileno	205	3250

El diseño basado en la función de refuerzo de los geotextiles, como retardadores de las grietas de reflexión en sobrecarpetas depende de la efectividad de los geotextiles que se usen. Determinado de manera experimental en laboratorio, se define de manera cuantitativa como

$$FEG = N_r / N_n \quad (8)$$

Donde:

FEG = factor de efectividad del geotextil

N_r = número de ciclos a la falla del espécimen con refuerzo.

N_n = número de ciclos a la falla del espécimen sin refuerzo.

Estudios experimentales realizados por Murray (1982) y retomados por Zárate (1990), llevaron a la Tabla IV. En dicha tabla se muestran los resultados

¹ SANCHEZ, Carlos Ob. cit., p. 77

TABLA IV .**Ciclos de carga a la falla en diferentes tipos de geotextil.**

Geotextil.	Peso g / m²	Módulo Secante Kg *	Ciclos a la Falla	Factor de Efectividad FEG.
- Sin geotextil, control	-----		480	1.0
A No tejido, polipropileno	150	60	1000	2.1
B No tejido, poliéster	205	55	2300	4.8
C No tejido, polipropileno	205	95	3260	6.8
D Tejido, polipropileno y poliéster	170	165	2760	5.8
E No tejido, poliéster termosoldado	110	199	7650	15.9

* Para una deformación unitaria de 5%.

típicos del ensayo descrito anteriormente, siendo la última columna la más importante, representa el Factor de Efectividad del Geotextil (FEG) para diferentes tipos de geotextil, en donde sus valores pueden variar entre 2.1 y 15.9. Con el cual se podrían reducir los espesores de las distintas capas de la estructura de un pavimento de acuerdo a una reducción equivalente en el tránsito de diseño.

El método basado en refuerzo con geotextiles consiste en que una vez conocido el valor de FEG, se aplique como un factor de reducción del parámetro que identifica al tránsito

$$\Sigma Lr = \Sigma Ln / FEG \quad (9)$$

Donde:

ΣLr = tránsito de diseño para pavimentos con refuerzo en ejes equivalentes de 8 2ton

ΣLn = tránsito de diseño para pavimentos sin refuerzo en ejes equivalentes de 8 2ton

FEG = factor de efectividad del geotextil.

Con este nuevo tránsito de diseño, se procede a calcular nuevamente, usando para ello cualquier método de diseño.

Se puede calcular el espesor de pavimento requiendo para ambos casos, Tr espesor con refuerzo y Tn espesor sin refuerzo. Finalmente se calcula el espesor de pavimento existente, Te, en términos de espesor equivalente con los factores de reducción correspondiente a su estado actual. De esta manera se obtiene el espesor de sobrecarpeta requerida para los siguientes casos

$$\text{Con refuerzo. } Tsr = Tr - Te \quad (10)$$

$$\text{Sin refuerzo. } Tnr = Tn - Te$$

La ecuación (11) proporciona el espesor de sobrecarpeta equivalente con la inclusión de un geotextil, y que deja de colocarse por éste motivo

$$T = Tsr - Tnr \quad (11)$$

El espesor mínimo de la sobrecarpeta con geotextil deberá ser de 5cm, ya que no es posible colocar ni compactar de manera adecuada carpetas de menor espesor, además de que la fatiga por flexión se presenta sobre todo en capas con espesores menores de 5cm.

II.4.2. Alternativa de Diseño sin geotextil utilizando el método del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Aplicando el método recomendado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, se deducen los espesores de grava equivalente. En la Tabla V se presenta el cálculo realizado para transformar el Tránsito Mezclado y obtener el

Tránsito Equivalente Acumulado a ejes sencillos de 8.2ton referido al Camil de Diseño (TDP), de donde se obtiene la sumatoria de ejes sencillos equivalentes igual a :

4.41×10^7	para $z = 0$
5.03×10^7	para $z = 60$

A continuación se procede a determinar los espesores de las diferentes capas que constituye el pavimento, como la carretera es federal y se considera que su construcción y conservación es adecuada, se puede elegir un nivel de confianza (Q_u) de 0.9, por lo que usamos la gráfica de la *fig. A-7* del Anexo A, y entramos a ella con los siguientes valores relativos de soporte.

CAPA	VRS (%)
Base	80
Sub-base	21
Sub-rasante	10
T.N.	3.5

Entonces : A) Lo que se requiere.
 grava equivalente. $26/2 = 13\text{cm}$

		13	13	
26		Carpeta		87
38		9	23	
57		22	16	
100		43	38	

TABLA V.

DISEÑO DE LA SECCION ESTRUCTURAL DE UN CAMINO CON PAVIMENTO FLEXIBLE UTILIZANDO EL PROCEDIMIENTO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA UNAM.

CALCULO DEL TRANSITO EQUIVALENTE ACUMULADO

km 26 90

camino tipo A

TIPO DE VEHICULO	COMPOSICION DEL TRANSITO	COEFICIENTES DE DAÑO				NUMERO DE EJES SIMILARES EQUIVALENTES DE 8.2 TON			
		Z=0	Z=15	Z=30	Z=60	Z=0	Z=15	Z=30	Z=60
A2	0.10E-01	0.004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B2	3.20E-02	2.00	1.83	2.457	2.939	0.06	0.06	0.09	0.09
C2	5.30E-02	2.00	1.89	2.457	2.939	0.11	0.10	0.13	0.13
C3	4.40E-02	3.00	2.817	2.457	2.94	0.13	0.12	0.11	0.13
T3-S2	2.40E-02	5.00	5.285	4.747	5.761	0.12	0.13	0.11	0.14
T3-S3	3.30E-02	6.00	5.239	4.746	5.750	0.20	0.17	0.16	0.19
T3-S2-R4	4.00E-03	9.00	10.221	9.327	11.403	0.04	0.04	0.04	0.05
SUMAS	1.00	EJES EQUIVALENTES TRANSITO UNITARIO				0.64	0.67	0.62	0.75
TOPA-TRANSITO DIARIO PROM AN =	31543	TOPA INICIAL CARRE PROYECTO				15971.5	15971.5	15971.5	15971.5
ED - CARRERA DE PROYECTO =	0.5	CT COEF. ACUMULACION TRANSITO				4184.315949	4124.315949	4124.315949	4184.315949
CT = $\frac{[(1+i)^n - 1]}{i}$ 365		TRANSITO EQUIVALENTE ACUMULADO				4.47E+07	4.19E+07	4.18E+07	5.03E+07
n = AÑOS DE SERVICIO =	10								
i = TASA DE CRECIMIENTO ANUAL =	0.03								

NOTA En esta tabla se considera que todos los vehículos transitan cargados en ambas direcciones

B) Lo que existe.
grava equivalente

		Carpeta	7
41		Base Asfáltica	15
		Boleo	12

nota: cotas en centímetros.

por lo tanto $100 - 41 = 59$ cm, se requieren 59 cm de sobre espesor en grava equivalente.

Para el tránsito que se tiene previsto en los próximos 10 años, se requiere un sobre-espesor en grava equivalente de 59 cm como mínimo según conforme al Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM

II.4.3. Alternativa de Diseño sin geotextil utilizando el método del Instituto Norteamericano del Asfalto.

Este método considera una vida de diseño de 20 años y únicamente toma en cuenta los vehículos pesados. De la Tabla VI se obtiene el porcentaje de camiones a considerar en el camil de diseño, para este ejercicio se tienen dos camiles por lo que se calcula un 50% de vehículos pesados en el camil de diseño.

Tabla VI .

Porcentaje del tránsito total de vehículos pesados en dos direcciones que deberá considerar en el camil de diseño

Número total de camiles en la carretera	Porcentaje de camiones a considerar en el camil de diseño
2	50
4	45(oscila entre 35 y 48)
6 ó más	40(oscila entre 25 y 48)

Siguiendo con el método, se procede a calcular el peso promedio de vehículos pesados (Pp), el cual se obtiene de la Tabla VII

$$Pp = \Sigma W_{tot} / \Sigma No. Veh. \quad (12)$$

Por lo tanto: $P_p = 165334.5 / 6069 = 27.24 \text{ ton}$

A continuación se establece el Número de Tránsito Inicial (NTI) haciendo uso del nomograma de la *fig. A - 2 del Anexo A*. Para poder entrar al nomograma se procede a calcular primero ciertos valores

Tabla VII .

Tipo de Veh.	Composición (%)	No. Veh	Wveh	Wtot
A2	81	-----	-----	-----
B2	3.2	1022	15.5	15841
C2	5.3	1693	15.5	26241.5
C3	4.4	1405	23.5	33017.5
T3-S2	2.4	767	41.50	31830.5
T3-S3	3.3	1054	46	48484
T3-S2-R4	0.4	128	77.5	9920
SUMAS (S)		6069		165334.5

Número de vehículos pesados

$$N = TDI (A/100) \times (B/100) \quad (13)$$

Donde: TDI = tránsito diario inicial = TDPA

A = % Veh. Pesados

B = % Veh. Pesados Carni Proyecto

$$A = 3.2 + 5.3 + 4.4 + 2.4 + 3.3 + 0.4 = 19\%$$

B = 50% (dos carnes)

Sustituyendo valores en ecuación (13) tenemos

$$N = 31943 (19/100) \times (50/100)$$

$$N = 3034.59$$

Procedemos a calcular el NTI a partir de la *fig. A - 2 del Anexo A*, con peso medio de camiones de 10ton y carga límite de eje simple de 8.2ton, NTI = 1000.

$$NTD = fc (NTI) \quad (14)$$

Donde: fc = factor de ajuste = 0.575; el valor se obtiene de la **Tabla VIII**, con tasa de crecimiento anual del tránsito de 3% y periodo de diseño de 10 años.

Sustituyendo valores en la ecuación (14) tenemos

TABLA VIII .

Factores de corrección del NTI, para obtener el NTD .

Periodo de diseño Años	Tasa de crecimiento anual del tránsito					
	0	2	4	6	8	10
1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
2	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
4	0.20	0.21	0.21	0.22	0.22	0.23
6	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37	0.39
8	0.40	0.43	0.46	0.50	0.53	0.57
10	0.50	0.55	0.60	0.66	0.72	0.80
12	0.60	0.67	0.75	0.84	0.95	1.07
14	0.70	0.80	0.92	1.05	1.21	1.40
16	0.80	0.93	1.09	1.28	1.52	1.80
18	0.90	1.07	1.28	1.55	1.87	2.28
20	1.00	1.21	1.49	1.84	2.29	2.86
25	1.25	1.60	2.08	2.74	3.66	4.92
30	1.50	2.03	2.80	3.95	5.66	8.22
35	1.75	2.50	3.68	5.57	8.62	13.55

NTD = 0.575 (1000)

NTD = 575

Finalmente de la **fig. A-3 del Anexo A** se calcula el espesor en concreto asfáltico con VRS T N = 3.5%. Donde se obtiene un espesor total de cubrimiento de 32cm. Tomando en cuenta un VRS = 80% para Base, se entra otra vez a la gráfica y se obtiene un espesor de base de 15cm, $32 - 15 = 17 \times 2.5$ de G. E. = 42.5 = 43cm. De la **fig. A-4 del Anexo A** se obtienen 15cm de espesor mínimo de capa asfáltica.

Se tiene

Carpeta	15
Base	43

nota: cotas en centímetros.

II.4.4. Alternativa de Diseño con geotextil.

A partir de la **Tabla IV**, que corresponde a los ciclos de carga a la falla de diferentes tipos de geotextil, se busca el Factor de Efectividad (FEG) mismo que corresponda al tipo de geotextil que se especifica en el diseño. En este caso se trata de un geotextil de poliéster, termosellado, no tejido, punzonado por lo tanto es un Geotextil tipo "E" con factor de efectividad de 15.9.

Sustituyendo FEG en la ecuación (9) para obtener el tránsito de diseño para pavimentos con refuerzo en ejes equivalentes de 8.2ton y para sus diferentes profundidades

$$\begin{aligned}
 z = 60 & \quad \Sigma Lr = \Sigma Ln / FEG = 5.03 \exp 7 / 15.9 = 3.16 \exp 6 \\
 z = 30 & \quad \Sigma Lr = \Sigma Ln / FEG = 4.18 \exp 7 / 15.9 = 2.62 \exp 6 \\
 z = 15 & \quad \Sigma Lr = \Sigma Ln / FEG = 4.18 \exp 7 / 15.9 = 2.62 \exp 6 \\
 z = 0 & \quad \Sigma Lr = \Sigma Ln / FEG = 4.41 \exp 7 / 15.9 = 2.77 \exp 6
 \end{aligned}$$

Con estos nuevos valores de los ejes equivalentes reducidos por la inclusión del geotextil entramos a la gráfica para el diseño estructural de carreteras del Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM, con lo que se obtiene el espesor de pavimento requeriendo en la inclusión de un geotextil.

Se tiene:

$$17 / 2 = 8.5 = 9 \text{ cm}$$

grava equivalente	Carpeta	9	9
17	Base	8	16
25	Sub-base	17	12
42	Sub-rasante	33	30
75			

A continuación se calcula el espesor de pavimento requiendo para ambos casos, con y sin geotextil:

$$Tr \text{ espesor con refuerzo} = 9 \text{ cm}$$

$$Tn \text{ espesor sin refuerzo} = 13 \text{ cm}$$

Se investiga el espesor de pavimento existente, el cual se obtiene a partir de estudios de campo. Ver *fig. 25*.

$$Te1 \text{ espesor de pavimento existente} = 40 \text{ cm km 25+320}$$

$$Te2 \text{ espesor de pavimento existente} = 6 \text{ cm km 26+150}$$

Finalmente los espesores se calculan en términos de espesor equivalente y se sustituyen en las ecuaciones (10)

$$Tr = 9 \times 2 = 18 \qquad Te1 = 40 \times 2 = 80$$

$$Tn = 13 \times 2 = 26 \qquad Te2 = 6 \times 2 = 12$$

$$Tsr = Tr - Te \dots\dots\dots (\text{ con refuerzo })$$

$$Tsr1 = 18 - 80 \qquad Tsr2 = 18 - 12$$

$$Tsr1 = - 62 \qquad Tsr2 = 6$$

$$Tnr = Tn - Te \dots\dots\dots (\text{ sin refuerzo })$$

$$Tnr1 = 26 - 80 \qquad Tnr2 = 26 - 12$$

$$Tnr1 = - 54 \qquad Tnr2 = 14$$

Finalmente se sustituyen los datos anteriores en la ecuación (11) que proporciona el espesor de sobrecarpeta equivalente y que deja de colocarse por la inclusión de un geotextil:

$$T = Tsr - Tnr \dots\dots\dots (11)$$

$$T1 = - 62 + 54 \qquad T2 = 6 - 14$$

$$T1 = - 8 \qquad T2 = - 8$$

Espesor de sobrecarpeta equivalente y que deja de colocarse por la inclusión de un geotextil.

II.5. Rehabilitación de pavimentos.

II.5.1. Análisis de alternativas.

Los problemas de rehabilitación de pavimentos pueden ser muy variados y van desde la colocación de negos de "rejuvenecimiento" o construcción de sobrecarpetas, hasta reconstrucciones integrales.

Las rehabilitaciones por incremento normal del tránsito suelen resolverse con el empleo de sobrecarpetas, en tanto que las reconstrucciones serán necesarias en pavimentos que muestren indicios de falla.

Las grietas constituyen un defecto en la superficie de rodamiento que debilita la estructura de un pavimento y permite la penetración del agua en la estructura produciendo un debilitamiento interno. Los agrietamientos crean una superficie incómoda y peligrosa para el usuario. Es por esto que se debe conceder una gran importancia a la prevención de los agrietamientos en la carpeta y consecuentemente evitar un incremento en los costos de su mantenimiento y rehabilitación.

El planteamiento de un criterio de rehabilitación es, en rigor, un enlistado de las circunstancias que hacen insatisfactorio el servicio de un pavimento, y desde luego es mucho más complicado que la simple aparición de grietas superficiales.

A continuación se verán algunas alternativas a los geotextiles, que se utilizan para la prevención de los agrietamientos en pavimentos flexibles.

- 1 - Utilización de asfaltos ahulados en la elaboración de la carpeta.
- 2.- Reciclado de la carpeta existente y colocación de una sobrecarpeta a la que se le ha agregado un aditivo del cemento asfáltico.
- 3.- Construcción de carpetas asfálticas con diseños adecuados (espesores mayores de 76mm) para resistir fenómenos de fatiga.

Alternativa 1 y 2

El reciclado total de la carpeta actual para formar una nueva base asfáltica, complementando el producto de éste proceso con agregados pétreos, agentes rejuvenecedores y asfalto para completar un espesor adecuado y a las necesidades del tránsito.

Esta alternativa implicaría un estudio complementario de la estructura existente para el diseño de la base asfáltica propuesta.

La estructura se completaría con una carpeta de concreto asfáltico de espesor adecuado, dependiendo del análisis de diseño.

Alternativa 3

Escanificación y desperdicio de las capas asfálticas superficiales, y se daría un refuerzo de la estructura mediante la construcción de una nueva base hidráulica de espesor adecuado, sobre la que se colocaría una carpeta de concreto asfáltico con un espesor determinado en los análisis de diseño.

CAPITULO III.

Capítulo III

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

III. 1. Proceso constructivo en la rehabilitación de un pavimento flexible.

Como ya hemos visto en el capítulo anterior y, previo a cualquier trabajo de rehabilitación o repavimentación, se debe de incluir una evaluación del pavimento existente, detectando y corrigiendo la insuficiencia estructural y de drenaje.

Las averías existentes en la carpeta actual, consistentes en fisuras y agrietamientos reticulares, deberán ser previamente reparadas y podrán corregirse de acuerdo al siguiente criterio

+ Cuando su ancho sea mayor o igual a 3mm. Se rellenarán con material asfáltico, con temperatura de aplicación que garantice su penetración.

+ Cuando su ancho sea mayor a 6mm. Se deberán rellenar con mezcla de producto asfáltico y arena, cuya fluidez garantice la penetración, o con capas alternas de arena y producto asfáltico, cuidando que este último quede en la capa final superficial.

Se extenderá el material sobrante que haya quedado al terminar el relleno. En ningún caso deberá ampliarse una grieta para obtener mejor penetración del material de relleno.

III.2. Cuidados preventivos.

III.2.1. Empaque y almacenaje del geotextil.

Los rollos del geotextil deberán ser suministrados perfectamente cubiertos para su protección en contra de la humedad y la exposición de los rayos ultravioleta (UV). Cada rollo deberá ser etiquetado para proporcionar una identificación para su inventario y para propósitos de control de calidad. Si se almacenan a la intemperie, deberán ser estivados (elevarse del suelo), protegerse con una cubierta impermeable y evitar su exposición a los rayos ultravioleta.

El geotextil deberá ser protegido en contra del agua, aunque esta no los destruye, si les puede llegar a triplicar su peso, lo que los vuelve complicados al momento de su instalación.

Las partes de los rollos que no llegaran a usarse, deberán de guardarse dentro de la funda en que venía el geotextil y de protegerse dentro de una bodega cubierta.

Quando a la fibra del geotextil se le añade "negro de humo", al momento de fabricarlo, se le protege un poco contra los rayos UV pero sin llegar a ser de manera total. Esta precaución se aplica principalmente a los geotextiles usados en pavimentos

III.3. Equipo de pavimentación.

III.3.1. Petrolizadora.

Deberá ser capaz de regar el asfalto en la cantidad recomendada y en aplicaciones uniformes. De preferencia equipada con un aspersor de mano con boquilla sencilla y una válvula. ver *fig. 18*.

III.3.2. Equipo para el tendido del geotextil.

Podrá ser colocado con equipo mecánico, diseñado para ser montado en un tractor o cargador frontal, o en su caso en forma manual, siempre que se prevea la cuidadosa colocación de los geotextiles. El aditamento mecánico para instalación es ofrecido en ocasiones, por medio de préstamo por la compañía distribuidora, con el suministro del geotextil, ver *fig. 19*.

III.3.3. Equipos complementarios.

Deberá de tenerse en inventario cepillos con cerdas firmes para dejar la superficie del geotextil sin arrugas y se deberá contar con tijeras para recortar los geotextiles, y cepillos para aplicar el asfalto en los traslapes. Podrán utilizarse rodillos neumáticos para asegurar el anclaje del geotextil o en trabajos donde se haga bacheo.

III.4. Requerimientos de construcción e instalación.

III.4.1. Limitaciones ambientales.

Tanto el reego asfáltico como el geotextil no deberá colocarse cuando las condiciones del tiempo no sean las adecuadas. Las temperaturas del aire y del pavimento deberán ser suficientes para permitir que el reego asfáltico adhiera al geotextil a la superficie del pavimento existente, por lo que las temperaturas mínimas del aire y del pavimento deberán ser de 10°C. La temperatura de la capa ligante deberá ser suficientemente alta que permita un esparido uniforme. Cuando se usen emulsiones asfálticas, la temperatura del aire deberá ser de 15°C o mayor.



fig. 18. Petrolizadora.

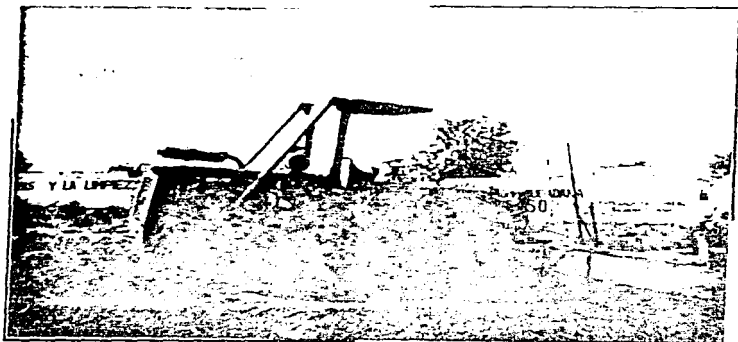


fig. 19. Equipo Mecánico.

III.4.2. Preparación de la superficie.

La superficie sobre la cual se colocará el geotextil deberá limpiarse de la tierra, agua y aceite. Las grietas de más de 3mm deberán calafatearse con un material de relleno (cemento o mortero asfáltico) según como se describió en el inicio de este capítulo, los baches deberán de repararse de manera adecuada. Antes de la colocación del geotextil, deberá permitirse que el calafateo y el bacheo fraguen adecuadamente.

III.4.3. Capa reniveladora.

La capa reniveladora se colocará cuando las condiciones del pavimento actual sean tan deplorables que existan distorsiones y deformaciones, y que con el simple calafateo no sea suficiente. Por lo que será más económico el colocarse una capa reniveladora de concreto asfáltico, anterior a la colocación del geotextil.

III.4.4. Aplicación de la capa ligante.

Deberá ser rociada por medio de una barra de espaldas de distribución calibrada y de manera uniforme sobre la superficie seca del pavimento. La capa ligante deberá ser aplicada uniformemente al pavimento previamente preparado con una dosificación de 0.90 a 1.40 l/m² o de acuerdo a la recomendación hecha por el fabricante, y según las condiciones ambientales, retención del geotextil y de acuerdo a la absorción del pavimento existente.

Puede calcularse con la siguiente ecuación

$$Q_d = 0.3 + Q_s + Q_c \quad (14)$$

Donde

Q_d = cantidad de asfalto aplicado (l/m²)

Q_s = asfalto retenido por el geotextil (l/m²)

Q_c = corrección por porosidad de la superficie (l/m²), se puede obtener a partir de la Tabla IX.

TABLA IX .

Condición de la superficie	Q_c (l/m ²)
Llorada y excedida de asfalto	-0.1 a 0.1
Lisa, no porosa	0.1 a 0.2
Ligeramente porosa	0.2 a 0.35
Ligeramente porosa, oxidada	0.35 a 0.5

Agrietada, porosa y oxidada

0.5 a 0.6

Nota: La dosificación generalmente varía entre 0.9 y 1.2lt/m²

Los riegos recomendados son los de cemento asfáltico, tipos AC-5 ó AC-20, emulsiones catiónicas tipos CRS-2 ó CRS-1 y las emulsiones aniónicas, tipos RS-2 ó RS-1

Cuando se usen emulsiones, el rango de aplicación deberá de aumentarse para compensar el contenido de agua de la emulsión y deberán ser curadas, básicamente que no queden húmedas, antes de colocar al geotextil. Este rompimiento o curado puede tardar de 30min a 4 horas dependiendo de la temperatura y de la humedad

Los asfaltos rebajados no deberán usarse con fibras de polipropileno debido a que los solventes reaccionan con éstos polímeros a altas temperaturas.

Se recomienda, en todos los casos, el uso de tramos de prueba sin importar el tipo de capa ligante que se use (cemento asfáltico, FR-3 o emulsiones)

En las intersecciones de calles, cruzaos, pendientes muy fuertes o zonas donde los cambios de velocidad de los vehiculos pueda hacerse común, la proporción que se este aplicando deberá ser reducida un 20%, pero nunca deberá ser menor de 0.9lt/m²

Para cementos asfálticos, la temperatura para mezclas en caliente deberá quedar comprendida entre 130° y 140°C. Para evitar un daño a la tela, la temperatura de los tanques de distribución no deberá exceder de 152°C

Para emulsiones asfálticas los patrones de colocación son controlados por el calor. La temperatura de los tanques de distribución deberá mantenerse entre 54°C como mínimo y los 71°C como máximo, la temperatura de 71°C no deberá ser sobrepasada ya que puede destruirse la emulsión.

Se deberá tener un ancho de aplicación de la capa ligante igual al ancho del textil de pavimentación mas 15cm adicionales a ambos lados. La superficie de la capa ligante deberá ser suficientemente pegajosa para asegurar un adecuado anclaje del geotextil

La cantidad de riego asfáltico especificada deberá ser suficiente para satisfacer las propiedades de retención asfáltica de los geotextiles y al mismo tiempo ligarlo al pavimento antiguo, la cantidad mínima que podrá ser aplicada no deberá ser menor de 0.9lt/m².

III.4.5. Colocación de la tela de pavimentación.

La tela de pavimentación deberá colocarse sobre el riego asfáltico antes de que el asfalto se enfríe y pierda sus propiedades adhesivas. Podrá ser colocada con equipo mecánico, en donde el vehiculo deberá ser manejado tan recto como sea posible para asegurar una instalación uniforme y sin arrugas. Si

se trata de una colocación manual se deberá cumplir con los siguientes principios básicos

Tendido Manual.

fig. 20.

Los principios básicos para el tendido manual son los siguientes

- 1 - Se sujetará la barra de soporte y los frenos al rollo de tejido, y se regularán los frenos para una resistencia uniforme
- 2 - Se deberá alzar y desenrollar el tejido aproximadamente de 4.5 a 9m (15a 30ft), se alineará con el borde del pavimento o la guía, para después proceder a estirarlo para que no forme arrugas al tenderlo sobre la capa ligante
- 3 - Se deberá cepillar el tejido desde el centro hacia afuera siguiendo la dirección del tendido
- 4 - Se continuará repitiendo el proceso de alzar y desenrollar
- 5 - El tejido deberá estirarse lo suficiente para acomodarse a las curvas abiertas, pero en las curvas cerradas podrá requerirse cortar y traslapar, ver **fig. 22**
- 6 - En caso de formarse arrugas, se cortará y traslapará el tejido en la dirección de la pavimentación

Para cualquier tipo de colocación que se utilice se deberá prever una instalación lisa para lograr una adherencia total de la tela, o por lo menos con un contenido mínimo de pliegues y dobleces, aquellas que excedan de 2.5cm deberán ser cortadas y colocadas horizontalmente para después ser apianadas. Se utilizarán escobas y/o equipos de rodillos neumáticos para incrementar el contacto del geotextil con la superficie del pavimento existente. Todas las juntas transversales, arrugas cortadas y traslapes se colocaran en dirección de la pavimentación. A todos los traslapes se les adicionará una segunda aplicación de riego de liga entre sus capas hasta satisfacer los requerimientos de saturación del textil para garantizar su unión y adherencia correctas. Los traslapes transversales deberán ser suficientes para asegurar un cerramiento perfecto, pero no deberán de exceder los 40cm de ancho. En los traslapes de rollos paralelos deberá de procurarse que su traslape sea mínimo, de unos 7.5cm, ya que podría presentarse el problema de la inadecuada impregnación entre las dos capas de geotextil y su adherencia con el pavimento antiguo

El geotextil no deberá ser colocado en superficies donde la sobrecarpeta sea menor a un espesor de 3.8cm. La tela de pavimentación que se extienda mas allá del pavimento existente o de las áreas donde no fue aplicada la capa ligante deberán ser cortadas y removidas

Todas las áreas con tela de pavimentación deberán ser pavimentadas el mismo día. No se deberá permitir el tránsito sobre la tela de pavimentación con excepción del equipo de construcción necesario

El equipo de pavimentación deberá avanzar con movimiento lento y sus paradas deberán ser graduales para evitar el desplazamiento de la tela de pavimentación. La tela dañada deberá ser removida y sustituida con el mismo tipo de tela, teniendo un ancho de traslape adecuado.

Los geotextiles no tejidos y punzonados tienen características de esfuerzo-deformación que los convierte en los más adecuados para este tipo de aplicación, sin embargo deberá asegurarse de que se saturen de manera adecuada para cumplir con otra de sus aplicaciones, que es la de incluir una barrera impermeable.

III.4.6. Tránsito sobre el geotextil.

El tránsito sobre el geotextil será permitido sólo en casos de emergencia o únicamente para el equipo de construcción. Los geotextiles húmedos no podrán ser abiertos al tránsito.

III.4.7. Trabajo preventivo.

Poreo de los geotextiles.

Cuando las temperaturas sean tan elevadas que provoquen que el asfalto se lloré y se forme una superficie muy pegajosa sobre el geotextil se deberá colocar arena para absorberlo, acción que comúnmente se llama "poreo". Lo anterior es con el fin de evitar que el geotextil se adhiera a las llantas del equipo de pavimentación.

Deberá porearse (espolvorearse) el geotextil con una capa de 0.8 a 1.0 kg/m² y pasarle un rodillo neumático sobre el geotextil para adherirlo con fuerza al pavimento antiguo. La arena sobrante deberá ser barrida de la superficie del geotextil antes de colocarle la sobrecarpeta.

III.4.8. Colocación de la sobrecarpeta.

Si se llegara a infiltrar la capa ligante a través del geotextil ésta deberá ser removida difundiendo mezcla caliente o arena sobre el textil. El exceso de arena o mezcla deberá ser removida antes de iniciar la repavimentación. Si el geotextil se humedece durante la instalación deberá permitirse su secado completo antes de colocar la carpeta asfáltica.

La sobrecarpeta se colocará sobre el geotextil inmediatamente de haber sido instalada la tela de pavimentación y su espesor no deberá ser menor de 3.8 cm en dichas áreas, ver *fig. 21*.

Se tirará una sobrecarpeta de mezcla en caliente y la temperatura de la mezcla podrá variar entre los 130° y los 150°C. Para minimizar el movimiento o daños al geotextil la circulación de la pavimentadora y de otros vehículos deberá ser lenta.



fig. 20 . Tendido del geotextil.

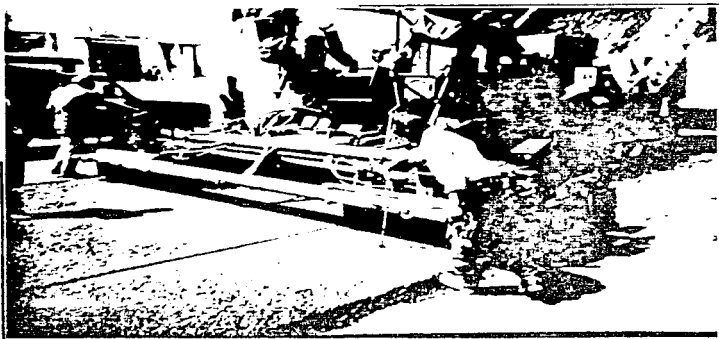


fig. 21 . Colocación de la sobrecarpeta.

III.4.9. Compactación de la mezcla asfáltica.

Extendida la mezcla se procederá a compactarla. Se deberá iniciar la compactación con una temperatura de mezcla mayor a 90°C. para lo que al inicio de la compactación se utilizará un rodillo de 7ton para dar una primera compactación y posteriormente se podrá realizar con equipo de 15ton. Se pueden utilizar rodillos neumáticos, rodillos lisos o ambos, hasta alcanzar el 95% del peso volumétrico de la prueba Porter estándar. Al final de la compactación, se borrarán las huellas de los neumáticos por medio de un rodillo liso.

III.4.10. Sello tipo Open Grade.

Este tipo de tratamiento se podrá utilizar para impermeabilizar carpetas asfálticas aunque también servirá como capa de desgaste, para mejorar el coeficiente de rugosidad. Se trata de una mezcla de arena y emulsión asfáltica, que al momento de colocarse tiene una consistencia pastosa. Se utilizará material pétreo del Número 3, con granulometría entre 9.5mm (3/8plg) y 0.42mm (Núm. 40). Los productos asfálticos que se usarán son del tipo FR-3 o emulsión de fraguado medio, la cantidad apropiada que se deberá utilizar dependerá de la densidad y absorción del material pétreo.

La forma de construir el Sello consistirá en un riego de producto asfáltico, posteriormente éste se cubrirá con un riego de material pétreo que se vaya a usar y por medio de una compactadora de rodillo liso de 10ton se le dará un acomodo haciendo tres pasadas sobre el total de la superficie. Se dejará una semana para que frague el producto asfáltico y posteriormente, por medio de un barrido manual o mecánico, se retirará el material que no esté adherido al resto de la estructura.

Procedimiento para la reparación de un bache.

Bacheo de caja.

Para iniciar la reparación de un bache será necesario remover en primera instancia el material de la carpeta, el de la base y de las capas inferiores en la zona donde existe el problema hasta la profundidad necesaria para lograr un apoyo firme. El corte deberá extenderse, como mínimo, 30cm del pavimento en buenas condiciones y podrá ser que parte del material de la subrasante sea removido.

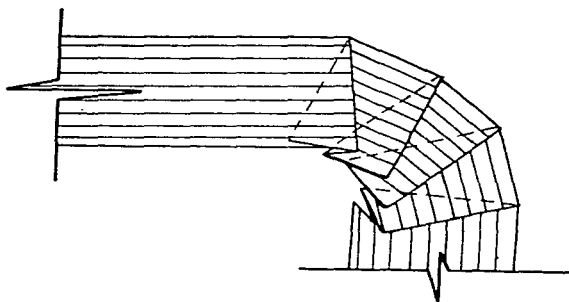
Los cortes deberán ser cuadrados o rectangulares con paredes rectas y verticales. Dos paredes deberán formar ángulos de 90° con respecto a la dirección del tráfico.

Si la causa del bache es debido a la presencia de agua, será necesario instalar un subdrenaje.

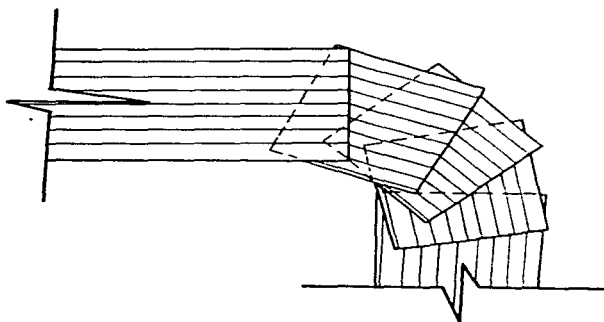
El siguiente paso deberá consistir en la aplicación de un riego de impregnación a las paredes verticales de la caja, después se llenará la

excavación con mezcla asfáltica en caliente y de preferencia elaborada en planta. Para efectuar una distribución adecuada del producto asfáltico se deberá utilizar un rociador manual, conservando su salida a una distancia constante de la superficie y deberá dársele un movimiento uniforme. Se deberá evitar la distribución del producto asfáltico por medio de botes o cubetas, excepto para el relleno de grietas. En caso que sea inevitable el vaciado con botes la aplicación deberá ser uniformizada por medio de cepillos. La mezcla asfáltica ya colocada deberá ser nivelada con la mínima cantidad de rastillaje, ya que su efecto ocasiona que los materiales pequeños bajen dejando al material grueso arriba.

El tendido y compactación del concreto asfáltico deberá de efectuarse en capas de 7 a 15cm de espesor y dependerá del equipo de compactación de que se disponga. La compactación debe llevarse al mismo grado que la del pavimento antiguo. La superficie del bache terminado deberá quedar al mismo nivel del pavimento adyacente.



FORMACION DE CURVAS . DOBLECES



FORMACION DE CURVAS . PZAS CORTADAS

fig. 22. Colocación del geotextil en curvas.

CAPITULO IV.

Capítulo IV

EXPERIENCIA CON GEOTEXTILES EN MEXICO.

IV. 1. Autopista Libre México - Pachuca.

Km 23 + 640 al 49 + 250

La información que a continuación se expone se recopiló a partir de fuentes oficiales como el INEGI, obteniéndose información cartográfica en escala 1:250 000; y de la Residencia Gral de Conservación de Carreteras / Residencia de Conservación de Carreteras 14-1 TEXCOCO a cargo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, así como de la compañía constructora (COTEPSA) que fué la responsable de la rehabilitación del tramo carretero.

IV.1.1. Antecedentes.

La autopista libre se localiza al noreste del Distrito Federal, es el paso obligatorio entre la Ciudad de México y los Estado de México y de Hidalgo. Es la única entrada y salida directa, además de la autopista de cuota, de miles de camiones y automóviles que diariamente recorren este vital acceso.

La importancia de la modernización de esta carretera se dió dentro del Programa Nacional para la Modernización de la Infraestructura Carretera, cuyos resultados fueron obvios, elevar las condiciones de seguridad de la vía, a partir de la rehabilitación de su superficie de rodamiento y corrigiendo las fallas ocasionadas por el elevado porcentaje de vehículos pesados.

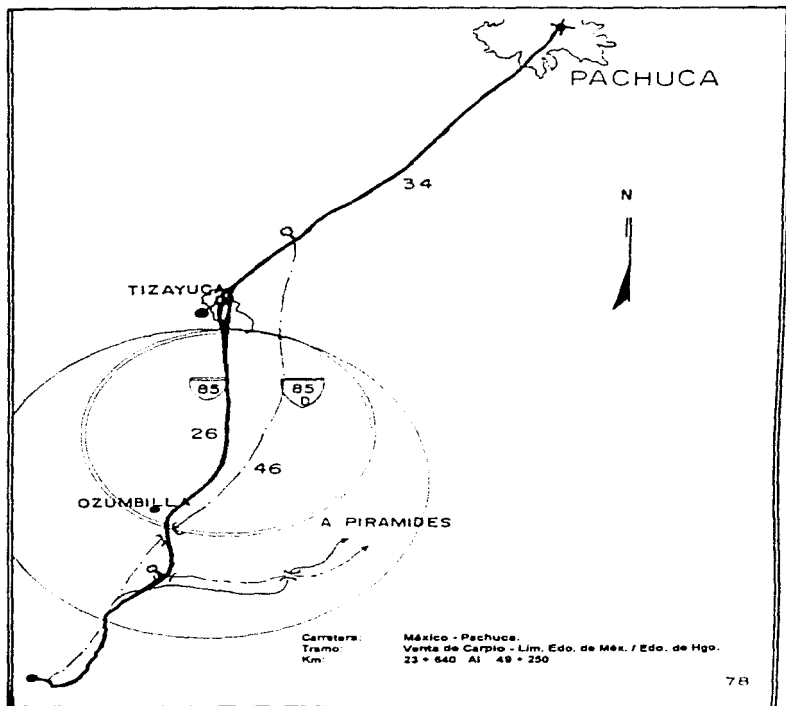
IV.1.2. Localización y topografía.

El tramo carretero se localiza entre los paralelos 49 y 50 del hemisferio norte y entre los meridianos 217 y 218 al noreste de la Cd. de México. El proyecto de este tramo se encuentra comprendido en la carretera Federal México - Pachuca (No. 85), tramo Venta de Carpio - Limite Edo de Méx / Edo de Hgo., km 23 + 600 al 49 + 250, con origen en Ecatepec. Ver *fig. 23* Plano de localización.

El proyecto de este tramo se localiza sobre una zona prácticamente plana teniendo una cubierta vegetal densa. La pendiente transversal de las laderas es de Lomerío Suave, existiendo canales y arroyos que drenan la zona en donde se aloja el proyecto.

Las alturas sobre el nivel del mar fluctúan entre los 2200 m y los 2000 m.

fig. 23. Croquis de Localización.



La topografía de esta zona forma varias elevaciones, el Cerro Gordo que se localiza al oriente de la autopista y un poco más cerca se encuentra un lomerío llamado del Chiconautia, igualmente al oriente. Al poniente de la autopista se forma el cerro llamado Pico Tres Padres.

IV.1.3. Geología.

El terreno por donde cruza la autopista se encuentra comprendido dentro de la Provincia Fisiográfica de la Meseta Neovolcánica (E. Raisz, 1964), también denominada como Faja Volcánica Transmexicana. Las corrientes que drenan en esta región incluye la parte alta de las cuencas de los ríos Atoyac y Tecolutla, que drenan al Pacífico y al Golfo de México respectivamente.

La región representa un paisaje geomorfológico típicamente volcánico que ofrece algunos contrastes relacionados a la composición de las magmas y a la edad de su emisión. La Zona se caracteriza por predominar derrames basálticos del cuaternario (Q) y terciario superior (Ts).

En el área afloran unidades que atestiguan un lapso que comprende el Cenozoico, representado por rocas volcánicas y sedimentarias. Se encuentran tobas formadas por piroclásticos de tamaño ceniza, dispuestas en pseudoestratos delgados y medianos y están medianamente consolidados.

El tramo en estudio cruza una zona de planicie, representado principalmente por tobas básicas (Q-tb), por brecha sedimentaria (Ts-bs) y en menor área por depósitos aluviales (Q-al) de material limoso como relleno de los valles fluviales, frecuentemente presenta una capa de caliche y en algunos sitios tiene una composición arcillo arenosa.

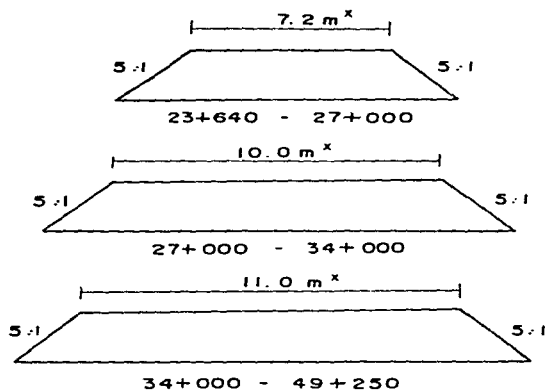
IV.1.4. Clima.

De acuerdo y según a la calificación de Koppen-Geiger el clima de la región se clasifica como subtropical de altura (CwH-8), tipo mexicano, templado regular.

Clima templado caluroso con temperatura media del mes más frío entre los 18° y los -3°C. Tiempo seco en invierno siendo un clima de montaña, extremo tipo alpino.

IV.1.5. Características geométricas.

La geometría transversal se puede ver en la *fig. 24*, cuenta con curvas amplias. Como dato importante se debe de mencionar que el tramo en cuestión se dividió en dos subtramos; del km 23+640 al 34+000 los trabajos de rehabilitación consistieron en una recuperación del pavimento existente, y del km



^xPROMEDIO.

fig. 24. Geometría Transversal.

34+000 al 49+250 se realizaron trabajos de reforzamiento del pavimento existente con la colocación de un geotextil

TABLA X .
Características Físicas del Geotextil empleado

Geotextil 100% poliéster, no tejido, punzonado y termosellado	
Peso	140 gr/m ²
Espesor	1.8 mm
Resistencia a la tensión	667 / 555N
Estiramiento	75 / 85 %
Desgarro Trapezoidal	244 / 222 N
Resistencia a la perforación, punta hemisférica de 0.08 cm (5/16")	289 N

Geometría de los Tramos.

Km.	Ancho Total	Carriles circulación	Distribución
23+640 al 27+000	7.2 m prom.	2	0.5
27+000 al 34+000	10.0 m prom.	2	0.5
34+000 al 49+250	11.0 m prom.	2	0.5

A continuación se presenta con mayor detalle los trabajos realizados en ambos subtramos de la Carretera Libre México - Pachuca

Del km 23+640 al 34+000.

Recuperación del Pavimento Existente.

Los trabajos realizados en este subtramo consistieron principalmente en la estabilización de la Base (material recuperado) con un espesor de 15 cm, un riego de liga que consistió en un FR-3 sobre toda la superficie de la Base Estabilizada para posteriormente recibir la Capa de Concreto Asfáltico elaborada con cemento asfáltico del No. 6 con un espesor de capa de 5 cm y, finalmente un Riego de Sello realizado con material petreo 3A.

Del km 34+000 al 49+250.

Reforzamiento del Pavimento Existente.

Los trabajos que se realizaron para el reforzamiento del pavimento consistieron primeramente en realizar un barrido enérgico en toda la superficie de rodamiento, después se aplicó un riego de liga con producto Asfáltico tipo FR-3 a una dosificación de 1.0 l/m²; inmediatamente a este trabajo se colocó la tela geotextil

cuyas características físicas se muestran en la **Tabla X**. Sobre el geotextil se procedió a aplicar un riego de impregnación con producto Asfáltico tipo FR-3 a razón de 0.3 l/m²

Para evitar que el geotextil se adheriera a las llantas de los vehículos de pavimentación se realizó un manto o poreo, finalmente se colocó una carpeta de concreto asfáltico y un riego de sello con material pétreo tipo 3A.

En lo que concierne a este subtramo se diseñaron dos diferentes espesores para la carpeta, siendo para el tramo del 34+000 al 40+000 un espesor de carpeta de 8 cm y del tramo 40+000 al 49+250 se colocaron dos capas de 5 y 6 cm de espesor dando un total de 11 cm. Se usó para su elaboración cemento asfáltico No 6.

IV.1.6. Pruebas y resultados de laboratorio.

Las actividades de la evaluación estructural que a continuación se presentan corresponden a la realización de pozos a cielo abierto, realizados para obtener el perfil estratigráfico, así mismo se obtuvieron corazones de asfalto para confirmar espesores de la sobrecarpeta construida conforme a los trabajos de reencarpetao.

De acuerdo a los sondeos realizados en los kilómetros 23+720, 24+520, 25+320 y 26+150 se observa en los cortes estratigráficos una capa variable de material estabilizado con producto asfáltico que varía de 22 a 40 cm, así mismo se observa que en algunos tramos existe un relleno de boleó, ver **fig. 25**.

Se presenta a continuación en la **Tabla XI** los resultados obtenidos de la evaluación físico-mecánica de un geotextil Geo-140 g/m²

En cuanto a la calidad de la sobrecarpeta se presentan en el **Anexo B** un reporte de compactación y permeabilidad en capas asfálticas, se muestran además dos pruebas de laboratorio, la primera realizada en el Concreto Asfáltico y la segunda en el Sello Tipo Open Grade.

IV.1.7. Tránsito.

El conocimiento de la composición y volúmenes de tránsito es básico para diseñar y evaluar la estructura de los pavimentos, muestra la importancia de las distintas obras, interviniendo en la planeación y mantenimiento de estas. En el aspecto operacional, permite hacer un análisis entre la oferta y la demanda de servicio de una carretera.

A partir del Libro de Datos Viales (SCT) de la Subsecretaría de Infraestructura-Dirección General de Servicios Técnicos, la cual registra los Volúmenes de Tránsito de la Red Nacional de Carreteras Pavimentadas a partir de las estaciones permanentes de conteo de vehículos, se obtuvieron los volúmenes

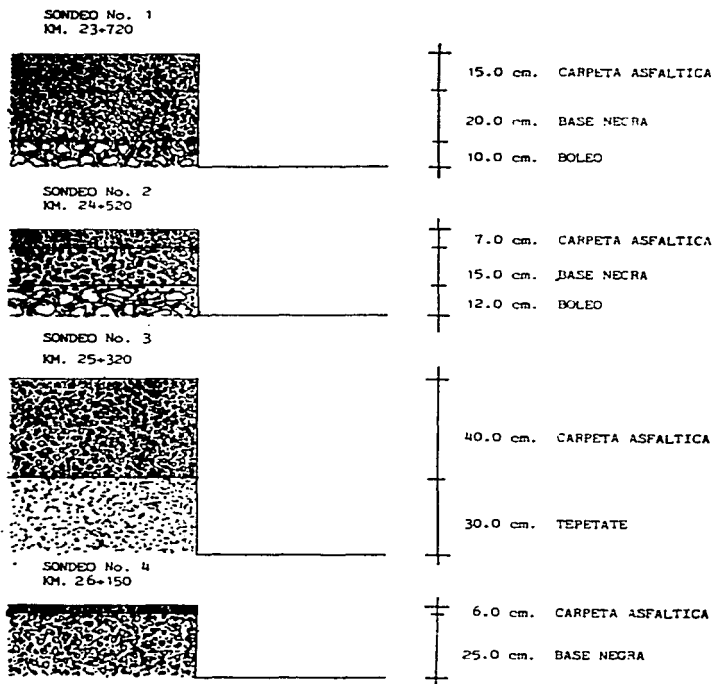


fig. 25. Perfiles Estratigráficos.

de tránsito de la Carretera Federal México-Pachuca. Los datos se presentan en la Tabla XII.

TABLA XI .

Determinación	Unidad.	Sentido de prueba	No de pruebas	RESULTADOS		
				Máx.	Min.	Promedio
Espesor	mm	-----	10	1 067	0 939	0 985
Carga de ruptura Grab	kgf	DM*	12	55 00	44 00	49 00
		DT**	12	79 00	65 00	73 67
Elongación Grab	%	DM	12	71 99	61 36	66 57
		DT	12	60 00	51 38	55 93
Resistencia a la tensión (8"X8")	kg/m	DM	6	620 08	398 62	501 97
		DT	6	944 88	787 40	858 76
Resistencia a la explosión Mullen	psi	A	10	176 00	144 00	161 00
		R	10	174 00	140 00	159 20
Resistencia al rasgado (trapezoide)	kgf	DM	12	45 00	28 00	33 00
		DT	12	42 00	19 00	26 25
Índice de resistencia a la perforación	kgf	-----	15	30.50	19 00	25 30
AOS (Apparent Opening Size) (0.150)***	mm	-----	5		1.656	
	mm	-----	1		10.84	
		(0.106)****				

* DM Dirección de la Máquina.

** DT Dirección Transversal de la máquina.

*** Designación del tamaño de la microesfera (malla 100).

**** Malla 140, los valores AOS promedio indicados están en %.

TABLA XII

DATOS VIALES DE LA CARRETERA MEXICO - PACHUCA (LIBRE)

LIBRO DE DATOS VIALES SCT.

CLAVE 00431

RUTA MEX - 085

N	LUGAR	ESTACION		CLASIFICACION VEHICULAR EN %													
		KM	TOPAGF	A	B	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4	OTROS	A	B	C			
1	Mexico	0															
2	Lim Edos Term DF	99															
	PPA Mex																
3	T Der Piramideas	27	31943	81	32	53	44	24	33	04		81	32	16			
4	Venta de Carpio	27	28803														
5	T Der Autopista	38	14479														
	Mex-Tecamac (cuota)																
6	XC Sta Maria	45	14435														
	Ayotlapan-Zumpango																
7	XC Sta Maria	45	7791	75	45	96	5	12	21	05	18	75	5	20			
	Ayotlapan-Zumpango																
8	Lim Edos Term Mex	49															
	PPA Hgo																
9	Tizayuca	53	5791	83	43	76	21	07	07	03	11	83	4	13			
10	Entranque Colonia	84	7911	81	53	7	17	1	09	05	26	81	5	14			
11	Entranque Colonia	84	7686	80	61	78	17	1	09	05	18	60	6	14			
12	X Libramiento Pachuca	87	8010	91	11	37	14	08	09	03	05	91	1	8			
13	X Libramiento Pachuca	87	7933	90	13	44	2	1	09	02	06	90	1	9			
14	Pachuca	90															

CAPITULO V.

Capítulo V

ASPECTOS ECONÓMICOS.

V.1. Análisis económico de la rehabilitación de un pavimento flexible usando un geotextil.

Lo que a continuación se expone es el análisis económico de la construcción de una sobrecarpeta de concreto asfáltico de 8 y 11cm de espesor del Km 34+000 al 40+000 y del 40+000 al 49+250 respectivamente, colocando en la interfase de la superficie actual de rodamiento y el refuerzo (sobre carpeta), un geotextil que impida la reflexión de los detechos actuales. El análisis que se realizó corresponde solamente a aquellos trabajos que se contemplan dentro de la rehabilitación de la superficie de rodamiento

En el Anexo C se pueden apreciar los análisis realizados para cada una de las actividades de rehabilitación. Al final del mismo anexo se presentan los presupuestos de la alternativa con geotextil, para ambos tramos, e igualmente se expone el presupuesto para una alternativa sin geotextil.

V.2. Beneficios que aporta el geotextil.

El geotextil aporta varios beneficios dentro de una estructura de pavimento, en particular y dentro del objetivo que abarca esta tesis, los beneficios que aporta el geotextil en la rehabilitación de una carpeta asfáltica se tienen:

- 1.- Restringir o evitar la entrada del agua al pavimento y a la capa subrasante, constituyendo una membrana impermeable.

Cuando las grietas de pavimentos reparados aparecen después de cierto tiempo en la superficie de rodamiento, éstas poco a poco penetran y atraviesan por completo la carpeta, creandose así una vía para que el agua superficial penetre la estructura del pavimento y llegue a las capas inferiores, reduciendo su capacidad de carga y creando un problema que posteriormente requerirá de una reparación mayor.

2.- Evitar la expulsión de agua y sólidos por las grietas del pavimento, fenómeno conocido como bombeo, eliminando así la socavación inferior del pavimento.

3.- Retardar el agrietamiento por fatiga de las capas asfálticas, al actuar como un elemento de refuerzo de alta resistencia a la tensión

4.- Retardar y reducir el agrietamiento producido por la reflexión de grietas de un pavimento antiguo sobre una sobre carpeta

Al colocar un geotextil entre la carpeta fallada y la sobrecarpeta, ligada con cemento asfáltico o emulsión asfáltica, se incorpora al sistema una capa delgada de relativa alta tenacidad, resistente a la elongación, que es capaz de absorber los esfuerzos de tensión que son los motores de la reflexión, retardando de este modo el plazo de duración sin agrietamiento

5.- Disminuir el espesor de la sobrecarpeta de refuerzo, al absorber los esfuerzos del pavimento.

6.- Reducir los costos de mantenimiento y prolongar la vida útil del pavimento

V. 3. Comparación con una solución clásica.

Como ya fué expuesto en el último tema del capítulo segundo los problemas de rehabilitación de pavimentos son muy variados y pueden ser desde la simple colocación de uno o varios riegos de rejuvenecimiento hasta las complejas y costosas reconstrucciones integrales

En este subcapítulo se hará una comparación económica de una rehabilitación "clásica" con su correspondiente solución alternativa, el geotextil

La solución que para los fines de ésta tesis se exponga se llamará "solución clásica", no debe de entenderse por este motivo que es una solución típica y necesariamente puesta en práctica para cualquier trabajo de rehabilitación.

Por lo anterior se puede aclarar y según lo expuesto en el capítulo segundo que las rehabilitaciones por incremento normal del tránsito suelen resolverse con el empleo de sobrecarpetas, en tanto que las reconstrucciones serán necesarias en pavimentos que muestren indicios de falla.

A continuación se presenta la alternativa al geotextil que se propone para realizar la comparación económica.

Solución Clásica.

Se propone el reciclado total de la carpeta actual para formar una nueva base asfáltica, complementando el producto de éste proceso con agregados pétreos, agentes rejuvenecedores y asfalto para completar un espesor adecuado; la estructura se completaría con una carpeta de concreto asfáltico cuyo espesor sería de acuerdo a los resultados obtenidos en el diseño de pavimentos; en el **Anexo A** se incluye la alternativa de diseño de reciclado de la carpeta actual, y refuerzo. Se puede consultar, en la **fig. 26**, las Etapas Constructivas para sus diferentes Alternativas las cuales se realizaron a partir de su Estructura Actual.

V.4. Resultados que se obtuvieron de la comparación económica de ambas alternativas.

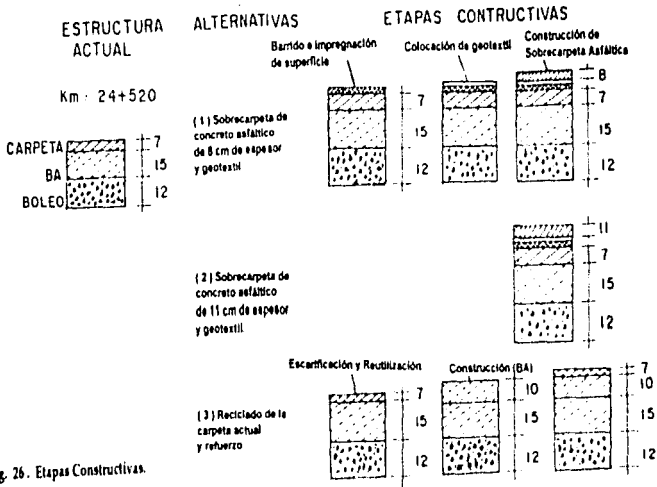
(Con geotextil Vs Sin geotextil).

Para poder realizar una comparación de estas dos alternativas, se procedió a evaluar sus correspondientes Presupuestos en cuyas bases se analizaron primeramente sus Costos Básicos y después se calcularon sus Precios Unitarios, y finalmente se realizó una cuantificación de los trabajos con respecto al Total del Tramo.

Dentro de los costos básicos que se analizaron fueron los siguientes:

No.	Costo Básico.
1	Barrido de la superficie a tratar.
2	Aplicación del riego de liga.
3	Colocación de geotextil.
4	Carpeta de concreto asfáltico.
5	Escarificación, nivelación, compactación y rejuvenecimiento de carpeta.
6	Extendido de material y mezclado en la capa base, incluyendo su compactación.

CARRETERA: México - Pachuca.
 TRAMO: Venta de Carpio - Lim. Edo. de Méx. / Edo. de Hgo.
 Km: 23 + 640 Al 49 + 250.



NOTA: Los espesores de las capas están dados en centímetros.
 Tramo con geotextil: 34 + 000 al 49 + 250
 Del km 34+000 al 40+000 - 8cm de Carpeta
 Del km 40+000 al 49+250 - 11cm de Carpeta

Dentro de los precios unitarios se incluyeron los siguientes datos:

Indirectos	10%
Utilidad	10%
Infonavit	5%
SAR	2%

Longitud total del tramo

Carretera :	México - Pachuca
Tramo :	Venta de Carpio - Lim Edos Méx / Hgo
Km.	23 + 600 Al 49 + 250
	Longitud 15 250Km 15250m

Presupuestos.

El análisis de ambos presupuestos se pueden consultar en el Anexo C.

Presupuesto de la Alternativa con Geotextil	\$ 3'251,235.58
(tipo de cambio al 3 de julio de 1997, \$ 7.95)	US\$ 408,960.45
Presupuesto de la Alternativa sin Geotextil	\$ 12'485,807.31
(tipo de cambio al 3 de julio de 1997, \$ 7.95)	US\$ 1'570,541.80

Los análisis que se presentan en el Anexo C, tienen como objetivo mostrar un costo aproximado, es por esto que no se desarrollan todos los diferentes aspectos que involucra un análisis más detallado como son los costos horarios de maquinaria, rendimientos y factores de salario real. Se recomienda consultar las referencias bibliográficas para obtener mayor información al respecto.

CONCLUSIONES.

CONCLUSIONES.

El objetivo general de esta tesis fué la de determinar los beneficios que aporta un material geotextil dentro de un re-diseño de pavimentos para su rehabilitación. Se buscó antes que nada la exposición de todas y cada una de sus características, tanto físicas como mecánicas e hidráulicas, todo esto con el fin de dar a conocer todas las pruebas de laboratorio a las que es sometido el geotextil, en donde se han comprobado y determinado sus especificaciones para su uso en pavimentos. Varios organismos han estado realizando un gran esfuerzo en normalizar estos métodos de ensaye y especificaciones, entre estos se pueden nombrar a la ASTM y a la AASHTO, dando lugar al Comité de Estándares y Especificaciones dentro de la Sociedad Internacional de Geotextiles, organismo cuya función es la de reunir, analizar y divulgar información sobre geotextiles.

El geotextil en gran medida es solamente un factor, ya especificado en normas para su uso en pavimentos, pero aún así este tipo de método interactúa dentro de muchas variables como son el grado de deterioro del pavimento, tránsito, clima y tipo de ligante del geotextil, así como las características de las sobrecarpetas a utilizar.

Es evidente la falta de datos perfectamente instrumentados que no se registran antes de la rehabilitación y colocación de un geotextil y que es conveniente continuar durante la vida útil del camino para poder entender el comportamiento de éste durante todo el lapso. Por lo que se insiste en tener un monitoreo de los sitios donde se especifica el uso del geotextil. Teniendo estos caminos bien documentados, podríamos realizar una comparación entre todas las experiencias, sólo así se podría decir en forma categórica si el geotextil cumple o no con los objetivos para el que fué especificado y de todas sus aplicaciones en pavimentos cual podría ser la más recomendable para hacer uso extensivo del material, obteniendo un máximo beneficio.

Cabe mencionar también que la FHA (Federal Highway Administration) concluye que el geotextil puede controlar con eficacia los agrietamientos por fatiga, es decir cuando los pavimentos ya presentan agrietamientos del tipo piel de cocodrilo con aberturas iguales o menores a 3mm, y no se recomienda su uso cuando el pavimento presenta falla de su estructura

Es importante remarcar que el geotextil no elimina la aparición de grietas en la superficie de rodamiento, pero sí puede retardar e inclusive reducir la severidad en la que estas se presentan, además de que se incluye una barrera impermeable que impide deterioros posteriores por la intrusión del agua hacia el interior de la sobrecarpeta y de las capas subyacentes y aún después de que la superficie de rodamiento este totalmente agrietada

La efectividad de la impermeabilización del geotextil al aplicarle asfalto no se ve afectada por el aumento o disminución del espesor de la sobrecarpeta, ésta solo depende de la capacidad de retención asfáltica del geotextil y de lo adecuado que hayan sido realizados los trabajos de riego, es decir de la dosificación y distribución del riego de liga

Seleccionando la proporción adecuada del riego de liga para cada tipo de geotextil se puede aumentar en forma considerable la vida útil del camino

En cuanto al diseño de pavimentos con el uso de geotextiles se encontraron las alternativas del Diseño por Función y del Diseño por Especificación.

El Diseño por Función es un método que requiere experiencia en el uso de geotextiles por parte del ingeniero responsable. Consiste en el cálculo de las propiedades requeridas del geotextil de acuerdo a la función que va a desempeñar el geotextil y para ello necesitamos conocer primero todas sus funciones. Otra limitación de este diseño es la necesidad de realizar pruebas de laboratorio para determinar sus propiedades permisibles, y en las que muchas veces los ensayos son tardados y costosos.

En el Diseño por Especificación se presentaron las guías de especificación de la Task Force 25. La única observación es que no se deben
REDISEÑO Y REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS CON EL USO DE GEOTEXTILES

de tomar como una "ley" sino que deben de estar acompañadas del criterio del ingeniero de diseño, con el fin de saber si son congruentes con las necesidades del proyecto. La ventaja de la utilización de este método es que su costo es muy bajo, la verificación de las propiedades de los productos seleccionados se realizan por medio de pruebas índice muy sencillas y de relativamente bajo costo. Al igual que en el diseño anterior, se deben cumplir ciertas especificaciones de instalación que marcan los métodos, por lo que se recomienda capacitar al personal encargado de la colocación del geotextil.

Como complemento a estos dos diseños y para uso exclusivo del geotextil en sobrecarpetas, se remarca la importancia de considerar dos hipótesis diferentes. La basada en el refuerzo y la de impermeabilidad, hecho que conlleva a dos tipos diferentes de diseño, sin embargo deberá de considerarse que el geotextil trabaja en ambos modos y las dos funciones son igual de importantes.

Todo procedimiento constructivo, nuevo y no nuevo, tiene conveniencias e inconveniencias y los geotextiles tienen ésta dualidad, por lo que su aplicación debe efectuarse previendo una buena supervisión, estricto control de calidad y un adecuado proceso constructivo.

Cabe mencionar que muchas veces el ingeniero constructor no conoce las especificaciones de instalación o no le da la importancia debida, y por la experiencia adquirida en ésta tesis se pudo constatar de dicho padecimiento.

Los fabricantes y distribuidores de geotextiles obsequian literatura para aquellas personas que nunca han trabajado con geotextiles y en donde se muestran los procesos de instalación y construcción.

El éxito de las sobrecarpetas reforzadas con geotextil dependen de la buena construcción e instalación del material.

En cuanto a la Experiencia con Geotextiles que se presentó en ésta tesis, se puede decir que su elección, para incluirla en ésta tesis, fué

principalmente por su cercanía al Distrito Federal, oportunidad que no se podía despreciar

Es una carretera que cuenta con muchos años de haber sido construida, único acceso a la Ciudad de México por la zona Noreste, además de la de cuota. Por ser ésta una autopista Libre tiene máxima demanda por la población de los estados de Hidalgo y México. Se observó una composición vehicular mixta con un alto porcentaje de vehículos pesados la cual después se comprobó con datos viales obtenidos en la SCT

En cuanto a la instalación del geotextil, y como ya se nombró anteriormente, fue descuidada ya que el personal a cargo del tendido dejaba muchos dobleces y los pocos que corregía no cumplían con las especificaciones que marca el método, por lo menos esto se pudo observar en el km 34 + 200 Ozumbilla, en donde estuve presente desde el momento del bardo de la superficie hasta terminar con la colocación de la sobrecarpeta, por lo que presencié todo el proceso constructivo. Se puede concluir que el proceso constructivo se llevó según lo especificado por las Normas Task Force

Faltaron algunos datos por comprobar como fué la dosificación del riego de liga en la obra, no se obtuvieron esos datos debido a que no era el objetivo principal de esta tesis, sin embargo se puede consultar en el Anexo B un reporte de compactación y permeabilidad en capas asfálticas así como los espesores de la sobrecarpeta colocados en dichos kilómetros y dos pruebas de laboratorio, una realizada en carpeta asfáltica y otra en selló

El objetivo principal de localizar un tramo carretero en Rehabilitación con geotextil fué el de obtener espesores de sobrecarpeta y tipo de geotextil, con el fin de realizar un análisis económico de dicha solución y compararla con una solución de Rehabilitación distinta

A continuación se presentan las conclusiones obtenidas de dicho análisis,

En el análisis donde se hace la inclusión del geotextil se obtuvo un ahorro del 74.96%. El proceso constructivo con la colocación de un geotextil cuesta solo el 25.04% del costo total obtenido por una rehabilitación de escanificación (construcción de base y reciclado de carpeta), es decir se está ahorrando más de la mitad con la colocación de un geotextil para una camino que haya llegado al término de su vida útil y se requiera aumentar esa utilidad en comparación con otra solución. Sin embargo se puede cuestionar el ahorro que se obtiene con el uso del geotextil, ya que la pregunta que nos podríamos hacer ahora es cuantos años pasarán sin hacer ninguna otra rehabilitación con o sin geotextil.

La otra solución de rehabilitación que se planteó, ver Anexo A, se diseñó para un tiempo de diez años de servicio, con lo que durante ese periodo no habría necesidad de ninguna otra rehabilitación. Su costo de ejecución es mucho mayor que el del geotextil, pero si consideramos que son diez años que el camino solamente requerirá de conservación y que durante ese tiempo se puede recuperar el costo de la inversión se convierte en una alternativa factible. Otra inconveniencia de este tipo de rehabilitaciones es que requiere cerrar el sub-tramo por unos días y su proceso constructivo es complejo, y al contrario, el empleo de los geotextiles cuenta con un proceso constructivo relativamente sencillo y rápido, por lo que un subtramo puede ser rehabilitado y abierto al tránsito el mismo día.

El uso del geotextil es más económico en comparación con una rehabilitación tipo escarificación y construcción de una nueva base asfáltica. Sin embargo se tiene su contraparte, que es el lapso en que ambas soluciones no requerirán de una nueva rehabilitación. Es conveniente realizar tramos de prueba para un periodo de diseño de diez años y al final de este tiempo de servicio realizar una comparación para constatar cual de los dos resultó a largo plazo más económico.

BIBLIOGRAFIA.

BIBLIOGRAFÍA.

- (1) ASOCIACIÓN MEXICANA DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES.
AMIVT - AMOCO.
Los geotextiles en el diseño de vías terrestres.
Segundo Seminario Técnico, México D. F., 29 de junio de 1995
- (2) CORRO C., Santiago y PRADO O., Guillermo
Diseño estructural de carreteras con pavimentos flexibles.
Series del Instituto de Ingeniería de la UNAM, No. 325.
1974, México, D.F.
- (3) CORRO C., Santiago y PRADO O., Guillermo
Instructivo para diseño estructural de pavimentos flexibles para carreteras.
Series del Instituto de Ingeniería de la UNAM, No. 444
noviembre de 1981, México, D.F.
- (4) DAY, David A.
Biblioteca Internacional del Ingeniero Civil, Volumen I y II
México D.F., Ed. LIMUSA, 1992
- (5) DIRECCIÓN GENERAL DE CONSERVACIÓN DE O.P.
Normas para calificar el estado físico de un camino.
SCT, Subsecretaría de Infraestructura.
- (6) GONZALES, Cisneros Rafael.
Criterios y procedimientos empleados en la construcción y conservación de pavimentos.
Seminario de pavimentos, México D.F., abril de 1980
- (7) Grupo COPACA.
Guía para especificación de geotextiles - Task Force 25.
Industrias COPACA, S. A de C. V.
- (8) GUZMÁN, Castillo Jaime.
Uso de geotextiles en suelos blandos.
Tesis. UNAM, Facultad de Ingeniería, 1991
- (9) HEREDIA, Orozco Dante Wilfrido.
Geotextiles en las vías terrestres.
Tesis. UNAM, Facultad de Ingeniería, 1993.

- (10) HOECHST, Celanese.
Trevira Spunbond.
Guía de instalación para sistemas de pavimentos asfálticos.
Tejido Trevira, Spunbond para ingeniería, folleto informativo.
- (11) INSTITUTO NORTEAMERICANO DEL TRANSPORTE.
Norma Retención de asfalto.
Apéndice XI, Norma No. RF - 2424 - 1
- (12) MELCHOR, J. Rubén Apodaca.
Empleo de geotextiles en el diseño y construcción.
División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM.
México, 1984.
- (13) LANDEROS, Ortiz Roberto.
Procedimiento Dynaflect para la evaluación de pavimentos por deflexiones.
Art. de la SCT, México D. F. , abril de 1979.
- (14) MÁRQUEZ, Barraza Gisela.
Estabilización de suelos con geotextiles.
Trabajo final para la obtención del grado de maestro en ingeniería. UNAM,
Facultad de Ingeniería, 1981.
- (15) MURILLO, Fernández Rodrigo.
Los geotextiles como material de construcción.
XV Congreso Nacional de Ingeniería Civil, CICM, México, 1989.
- (16) NAME, M. Julián.
Costos y empleo de equipo de construcción en vías terrestres
Cursos desarrollados para la Secretaría de Obras Públicas.
México D.F., 1955.
- (17) OLIVERA, Bustamante Fernando.
Estructuración de vías terrestres.
México, Ed. CECSA, 1988.
- (18) PIVIDE, S. A. de C. V.
Procedimiento constructivo para sobrecarpetas, usando geotextil
Pivitec - Geo 140.
Apéndice A - 1.
- (19) PIVIDE, S. A. de C. V.
Procedimiento para bacheo de caña, usando geotextil Pivitec - Geo 140.
Apéndice A - 2.

- (20) RICO, Alfonso del Castillo Tomo 2
La ingeniería de los suelos en las vías terrestres.
México D. F., Ed. LIMUSA, 1990
- (21) SANCHES, Martínez Alejandro
Geomembranas en pavimentos flexibles.
Tesis. UNAM, ENEP-Acatlán, 1986
- (22) SOCIEDAD MEXICANA DE MECANICA DE SUELOS
Gosintéticos, Geotextiles y geomembranas.
Memoria del Simposio, México D. F., 1990
- (23) SUÁREZ, Salazar Carlos
Costo y tiempo en edificación.
México D. F., Ed. LIMUSA, 1988
- (24) ZÁRATE, Aquino Manuel y otros.
Tópicos de geotécnia.
UNAM - ENEP ACATLÁN, Ciudad Universitana, México D. F., 1987
- (25) ASTM
Compilation of specifications, test methods, practices, and terminology,
covering mechanical, endurance, permeability, and filtration properties.
Committee D - 35 on Geosynthetics. Third Edition.

ANEXOS.

ANEXO A.

Alternativa de diseño al geotextil.

Reciclado de la carpeta actual y diseño de refuerzo.

ANEXO A

ALTERNATIVA DE DISEÑO AL GEOTEXTIL. RECICLADO DE LA CARPETA ACTUAL Y DISEÑO DE REFUERZO.

Se considera realizar una reestructuración con base asfáltica y reciclado de la carpeta asfáltica existente, para el diseño se utilizará el método del Instituto de Ingeniería de la UNAM

El primer paso es calcular el espesor a partir de la subrasante el cual tiene un $VR_{\text{Crítico}} = 10$, se entra a la gráfica con nivel de confianza de $Qu=0.9$ y con $\Sigma L = 5.03 \times 10^7$. Con lo que se obtiene un espesor de 58cm de grava equivalente, se considera la base asfáltica existente como sub-base

Espesor de la carpeta.

Como tendremos una base asfáltica ésta podrá absorber esfuerzos de las cargas transmitidas al pavimento, por lo que el espesor de carpeta se podrá reducir al mínimo de concreto asfáltico. Utilizando un $VR_{\text{Crítico}} = 80$ y $\Sigma L = 4.41 \times 10^7$ con la misma gráfica se obtiene un espesor de carpeta de 24cm de grava equivalente

Considerando lo expuesto anteriormente

Se puede tener un espesor de carpeta de 7cm.

Obtención del espesor en grava equivalente $7 \times 2 = 14$ cm de grava equivalente

Espesor de base asfáltica.

Espesor de base asfáltica en G. E. = Espesor a partir de la subrasante - Espesor de carpeta existente - Espesor de base existente

Espesor de base asfáltica en G. E. = 58 - 14 - 20

Espesor de base asfáltica en G. E. = 24cm

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACALTÁN

$$\text{Espesor de Base Asf} = \frac{\text{Esp de B A.}}{\text{en G. E.}} / \text{Factor G E Base Asf.}$$

$$\text{Espesor de Base Asf} = 24 / 1.3$$

$$\text{Espesor de Base Asf} = 18.4 = 18\text{cm}$$

Lo que se tiene :

Carpeta		7
Base Negra		15
Boleo		12

Lo que se requiere:

Carpeta		7
Base Asfáltica		18
(Base Asfáltica) Sub-base		15
Boleo		12

nota : cotas en centímetros.

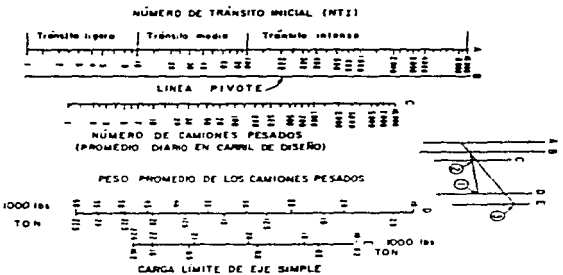


Fig. A-2. Carta de Análisis de Tráfico. Método del Instituto Norteamericano del Asfalto.

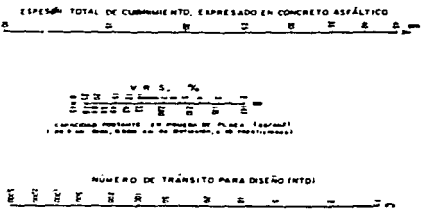
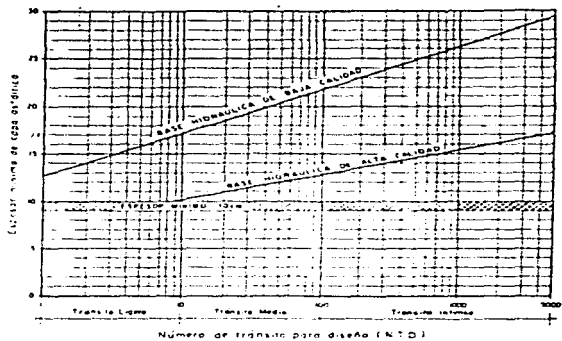


Fig. A-3. Nomograma del Instituto Norteamericano del Asfalto para determinar el espesor de pavimentos flexibles con base en V. R. S. o prueba de placa.



REQUISITOS MÍNIMOS PARA MATERIAIS DE BASES HIDRAULICAS

TIPO DE PROVA	NORMAS	
	BAIXA CALIDADE	ALTA CALIDADE
VALOR MÁXIMO	20	100
VALOR DE S. MÁXIMO	75	80
LÍMITE LÍQUIDO MÁXIMO	25	25
ÍNDICE PLASTICO MÁXIMO	6	4*
ESPESSURA DE ALTA MÍNIMO	25	10
MÁXIMO PORCENTAGEM DE MATERIAIS QUE DEIXA PASSAR NA 200	12	7

fig. A - 4 - Espesores mínimos de carpeta de concreto asfáltico sobre bases granulares, según el Instituto Norteamericano del Asfalto.

ANEXO B.

Reporte de compactación y permeabilidad en capas asfálticas.

Pruebas en la mezcla asfáltica.

Especificaciones para cementos asfálticos, asfaltos rebajados, riegos de sello y emulsiones.

PARA: C O T E P S A
 OBRA: CARR. FED. MEXICO - PACHUCA

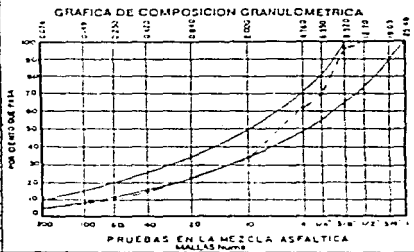
PROCEDENCIA PLANTA DE ASFALTO COTEPSA ENSAYE No. 108
 DESCRIPCION BLENDO TIPO OPEN GRADE FECHA: 21/AGOSTO/1956

DESCRIPCION DEL MATERIAL PARA USARSE EN
 PREPARADO PREVIO AL MUESTREO
 CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO
 UBICACION DEL BANCO DE DONDE PROCEDE EL MATERIAL PETRO

VALE No. TENDIENDO EN CUENTA A ROL. CAJON. FRASCA.
 TEMP. DE LA MEZCLA AL SALIR DE LA PLANTA. NO EN EL TENDIDO. NO EN EL TENDIDO. NO EN EL TENDIDO. NO EN EL TENDIDO.

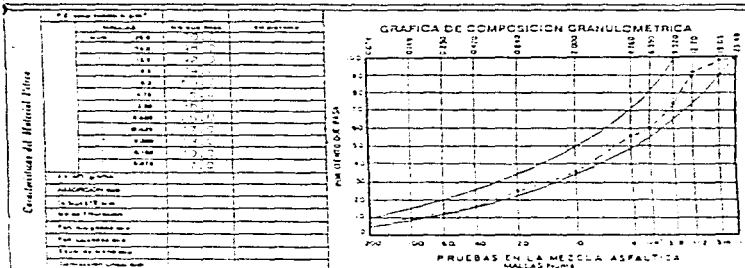
Características del Material Petro

#	Grano	Porcentaje	Grano	Porcentaje
1	75	100	75	100
2	60	100	60	100
3	45	100	45	100
4	30	100	30	100
5	15	100	15	100
6	7.5	100	7.5	100
7	3.75	100	3.75	100
8	1.9	100	1.9	100
9	0.85	100	0.85	100
10	0.425	100	0.425	100
11	0.212	100	0.212	100
12	0.106	100	0.106	100
13	0.053	100	0.053	100
14	0.025	100	0.025	100
15	0.0125	100	0.0125	100
16	0.00625	100	0.00625	100
17	0.003125	100	0.003125	100
18	0.00156	100	0.00156	100
19	0.00078	100	0.00078	100
20	0.00039	100	0.00039	100
21	0.000195	100	0.000195	100
22	0.0000975	100	0.0000975	100
23	0.00004875	100	0.00004875	100
24	0.000024375	100	0.000024375	100
25	0.0000121875	100	0.0000121875	100
26	0.00000609375	100	0.00000609375	100
27	0.000003046875	100	0.000003046875	100
28	0.0000015234375	100	0.0000015234375	100
29	0.00000076171875	100	0.00000076171875	100
30	0.000000380859375	100	0.000000380859375	100
31	0.0000001904296875	100	0.0000001904296875	100
32	0.00000009521484375	100	0.00000009521484375	100
33	0.000000047607421875	100	0.000000047607421875	100
34	0.0000000238037109375	100	0.0000000238037109375	100
35	0.00000001190185546875	100	0.00000001190185546875	100
36	0.000000005950927734375	100	0.000000005950927734375	100
37	0.0000000029754638671875	100	0.0000000029754638671875	100
38	0.00000000148773193359375	100	0.00000000148773193359375	100
39	0.000000000743865966796875	100	0.000000000743865966796875	100
40	0.0000000003719329833984375	100	0.0000000003719329833984375	100
41	0.00000000018596649169921875	100	0.00000000018596649169921875	100
42	0.000000000092983245849609375	100	0.000000000092983245849609375	100
43	0.0000000000464916229248046875	100	0.0000000000464916229248046875	100
44	0.00000000002324581146240234375	100	0.00000000002324581146240234375	100
45	0.000000000011622905731201171875	100	0.000000000011622905731201171875	100
46	0.0000000000058114528656005859375	100	0.0000000000058114528656005859375	100
47	0.00000000000290572643280029296875	100	0.00000000000290572643280029296875	100
48	0.000000000001452863216400146484375	100	0.000000000001452863216400146484375	100
49	0.0000000000007264316082000732421875	100	0.0000000000007264316082000732421875	100
50	0.00000000000036321580410003662109375	100	0.00000000000036321580410003662109375	100
51	0.000000000000181607902050018310546875	100	0.000000000000181607902050018310546875	100
52	0.0000000000000908039510250091552734375	100	0.0000000000000908039510250091552734375	100
53	0.000000000000045401975512500457776171875	100	0.000000000000045401975512500457776171875	100
54	0.0000000000000227009877562500228880859375	100	0.0000000000000227009877562500228880859375	100
55	0.00000000000001135049387812500114440296875	100	0.00000000000001135049387812500114440296875	100
56	0.000000000000005675246939062500572201484375	100	0.000000000000005675246939062500572201484375	100
57	0.000000000000002837623469531250028610072421875	100	0.000000000000002837623469531250028610072421875	100
58	0.00000000000000141881173476562500143050362109375	100	0.00000000000000141881173476562500143050362109375	100
59	0.000000000000000709405867382812500715251810546875	100	0.000000000000000709405867382812500715251810546875	100
60	0.00000000000000035470293369140625003576259052734375	100	0.00000000000000035470293369140625003576259052734375	100
61	0.00000000000000017735146684570312500178812951171875	100	0.00000000000000017735146684570312500178812951171875	100
62	0.000000000000000088675733422851562500894064755859375	100	0.000000000000000088675733422851562500894064755859375	100
63	0.0000000000000000443378667114257812500447032377796875	100	0.0000000000000000443378667114257812500447032377796875	100
64	0.000000000000000022168933355712890625002235161888996875	100	0.000000000000000022168933355712890625002235161888996875	100
65	0.000000000000000011084466677856445312500111755944444984375	100	0.000000000000000011084466677856445312500111755944444984375	100
66	0.0000000000000000055422333389282226562500558779722224921875	100	0.0000000000000000055422333389282226562500558779722224921875	100
67	0.0000000000000000027711166694641113281250027938986112109375	100	0.0000000000000000027711166694641113281250027938986112109375	100
68	0.00000000000000000138555833473205566406250013969493055859375	100	0.00000000000000000138555833473205566406250013969493055859375	100
69	0.000000000000000000692779167366027832031250069847465279296875	100	0.000000000000000000692779167366027832031250069847465279296875	100
70	0.0000000000000000003463895836830139160156250034923732637484375	100	0.0000000000000000003463895836830139160156250034923732637484375	100
71	0.000000000000000000173194791841506958007812500174618663173721875	100	0.000000000000000000173194791841506958007812500174618663173721875	100
72	0.0000000000000000000865973959207534790039062500873093315868996875	100	0.0000000000000000000865973959207534790039062500873093315868996875	100
73	0.00000000000000000004329869796037673950195312500436546657844984375	100	0.00000000000000000004329869796037673950195312500436546657844984375	100
74	0.0000000000000000000216493489801883697509765625002182733289224921875	100	0.0000000000000000000216493489801883697509765625002182733289224921875	100
75	0.0000000000000000000108246744900941848754878125001091366644612109375	100	0.0000000000000000000108246744900941848754878125001091366644612109375	100
76	0.00000000000000000000541233724504709243774375005456833222305859375	100	0.00000000000000000000541233724504709243774375005456833222305859375	100
77	0.00000000000000000000270616862252354621887187500272841661115296875	100	0.00000000000000000000270616862252354621887187500272841661115296875	100
78	0.000000000000000000001353084311261773109394375001364208305576484375	100	0.000000000000000000001353084311261773109394375001364208305576484375	100
79	0.00000000000000000000067654215563088654969718750068210415278721875	100	0.00000000000000000000067654215563088654969718750068210415278721875	100
80	0.0000000000000000000003382710778154432748489375003410520763936484375	100	0.0000000000000000000003382710778154432748489375003410520763936484375	100
81	0.000000000000000000000169135538907721637242443750017052603819684375	100	0.000000000000000000000169135538907721637242443750017052603819684375	100
82	0.00000000000000000000008456776945386081861212187500852630190984375	100	0.00000000000000000000008456776945386081861212187500852630190984375	100
83	0.0000000000000000000000422838847269304093060609375004263150954921875	100	0.0000000000000000000000422838847269304093060609375004263150954921875	100
84	0.0000000000000000000000211419423634652046530304687500213157547724609375	100	0.0000000000000000000000211419423634652046530304687500213157547724609375	100
85	0.000000000000000000000010570971181732602326515234375001065787738623046875	100	0.000000000000000000000010570971181732602326515234375001065787738623046875	100
86	0.0000000000000000000000052854855908663011632576171875005328938693115234375	100	0.0000000000000000000000052854855908663011632576171875005328938693115234375	100
87	0.00000000000000000000000264274279543315058162880859375002664469344556171875	100	0.00000000000000000000000264274279543315058162880859375002664469344556171875	100
88	0.000000000000000000000001321371397716577529081414062500133223467227780859375	100	0.000000000000000000000001321371397716577529081414062500133223467227780859375	100
89	0.0000000000000000000000006606856988582887645407070312500666117336113894375	100	0.0000000000000000000000006606856988582887645407070312500666117336113894375	100
90	0.00000000000000000000000033034284942914438227035351562500333058670569471875	100	0.00000000000000000000000033034284942914438227035351562500333058670569471875	100
91	0.000000000000000000000000165171424714572191135176781250016652933528471875	100	0.000000000000000000000000165171424714572191135176781250016652933528471875	100
92	0.0000000000000000000000000825857123572860955675883906250083264672642359375	100	0.0000000000000000000000000825857123572860955675883906250083264672642359375	100
93	0.0000000000000000000000000412928561786430477837941953125004163233632117596875	100	0.0000000000000000000000000412928561786430477837941953125004163233632117596875	100
94	0.00000000000000000000000002064642808932152389189709375002081616816058796875	100	0.00000000000000000000000002064642808932152389189709375002081616816058796875	100
95	0.0000000000000000000000000103232140446607619459485468750010408084080289375	100	0.0000000000000000000000000103232140446607619459485468750010408084080289375	100
96	0.00000000000000000000000000516160702233038097297427343750052040420401446875	100	0.00000000000000000000000000516160702233038097297427343750052040420401446875	100
97	0.000000000000000000000000002580803511165190486487187500260202102007234375	100	0.000000000000000000000000002580803511165190486487187500260202102007234375	100
98	0.00000000000000000000000000129040175558259524324375001291010510036171875	100	0.00000000000000000000000000129040175558259524324375001291010510036171875	100
99	0.000000000000000000000000000645200877791297621621875006455052550180859375	100	0.000000000000000000000000000645200877791297621621875006455052550180859375	100
100	0.000000000000000000000000000322600438895648810810937500322752627500904296875	100	0.000000000000000000000000000322600438895648810810937500322752627500904296875	100



PAISA: MEXICO
 OBRA: CARPETA FEDERAL MEXICO - FACUNDA

PROCEDENCIA: PLANTA DE ASFALTO COATEPE	ENDIENE No. 82
DESCRIPCION: CONCRETO ASFALTICO	FECHA: 29/JULIO/1956
DESCRIPCION DEL MATERIAL: <u>CONCRETO ASFALTICO</u> PARA CARRETERA	
TRATAMIENTO PASADO AL MUESTREO: <u>CONCRETO ASFALTICO</u>	
CLASE DE DEPOSITO: <u>CONCRETO ASFALTICO</u>	
UBICACION DEL BANCO DE DONDE PROCEDE EL MATERIAL: <u>PLANTA COATEPE</u>	
VALOR No. <u>15</u> TENDIENDO EN CUENTA: <u>100</u> AUMENTANDO: <u>100</u> CARRETERA: <u>FRANJA</u>	
TEMP. DE LA MEZCLA AL SALIR DE LA PLANTA: <u>140</u> NO EN EL TENDIDO: <u>140</u> NO AL INICIAR LA COMPACT: <u>140</u>	



CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA		DEL PROYECTO	CARACTERÍSTICAS DEL ESQUEMA		ESPECIFICACION	CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO	
Temperatura	140		P. E. No.	100	100	Temp.	140
Velocidad	100		Temperatura	140	140	Temperatura	140
Profundidad	100		Temperatura	140	140	Temperatura	140
Velocidad	100		Temperatura	140	140	Temperatura	140

OBRA: OBRAS Y RECOMENDACIONES: LAS PRUEBAS SE ENCUENTRAN LIGERAMENTE ABAJO DE LO ESPECIFICADO, EN CONTENIDO DE CEMENTO ALTO.

EL LABORANTISTA: <i>[Firma]</i>	EL JEFE DE LABORATORIO: <i>[Firma]</i>	Yo So: <i>[Firma]</i>
---------------------------------	--	-----------------------

Cementos asfálticos

CARACTERÍSTICAS	CEMENTO ASFÁLTICO			
	tipo 1	tipo 2	tipo 3	tipo 4
Penetración, 100 g @ 31,25°C, grados	180-200	80-100	60-70	40-70
Viscosidad Saybolt-Furui a 137°C, segundos	60	65	50	120
Punto de inflexión (tempo abierto de Cleveland), °C mínimo	220	212	232	232
Punto de reblandecimiento, °C	37-43	40-52	48-56	52-60
Dureidad, 25°C, cm, máximo	80	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, máximo	99.5	99.5	99.5	99.5
Punto de no pérdida de peso, 70 cm (5.4, 16.3°C)	40	50	54	58
Punto de no pérdida de peso, por ciento, máximo	1.4	1.0	0.8	0.8

Especificaciones para cementos asfálticos X

Asfaltos rebajados de fraguado rápido

CARACTERÍSTICAS	G R A D O				
	FR 0	FR 1	FR 2	FR 3	FR 4
PRUEBAS AL MATERIAL ASFÁLTICO					
Punto de inflexión (tempo abierto de Tag), °C mínimo			27	27	27
Viscosidad Saybolt-Furui a 25°C, segundos	75-150	75-150	100-200	250-500	125-250
a 50°C, segundos					
a 82°C, segundos					
Destilado: Por ciento del total destilado a 362°C					
Hasta 45°C máximo	15	10	40	25	8
Hasta 65°C máximo	58	70	65	55	40
Hasta 85°C máximo	75	70	65	63	60
Hasta 95°C máximo	90	88	87	83	80
Pérdida de no destilado, a 362°C, Por ciento del volumen total por diferencia, máximo	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Agua por destilación, por ciento, máximo				0.2	0.2
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Penetración, grados	10-120	80-120	85-120	100-120	80-120
Dureidad en centímetros, mínimo	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, máximo	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

Asfaltos rebajados de fraguado medio

CARACTERÍSTICAS	G R A D O				
	FM 0	FM 1	FM 2	FM 3	FM 4
PRUEBAS AL MATERIAL ASFÁLTICO					
Punto de inflexión (tempo abierto de Tag), °C mínimo	38	38	44	64	64
Viscosidad Saybolt-Furui a 25°C, segundos	75-150	75-150	100-200	250-500	125-250
a 50°C, segundos					
a 82°C, segundos					
Destilado: Por ciento del total destilado a 362°C					
Hasta 25°C máximo	25	20	40	5	0
Hasta 45°C máximo	40-40	25-65	35-55	5-40	30-40
Hasta 65°C máximo	75-83	70-90	60-87	55-83	40-80
Hasta 85°C máximo					
Hasta 95°C máximo					
Pérdida de no destilado, a 362°C, Por ciento del volumen total por diferencia, máximo	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Agua por destilación, por ciento, máximo	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Penetración, grados	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300
Dureidad en centímetros, mínimo	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, máximo	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

Especificaciones para asfaltos rebajados de (a) fraguado rápido (FR) y (b) fraguado medio (FM) X

CARACTERÍSTICAS	USO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA ELABORADA CON CEMENTO ASFÁLTICO	TRANSITORIO EN AMBOS SENTIDOS	
		Hasta 2000 vehículos por día (a)	Hasta 2000 vehículos por día (b)
		Número de golpes por cara	
Estabilidad mínima, kilogramos	Para carpetas, capas de renovación, bases asfálticas y tocado	450	700
Flujo, en milímetros	Para carpetas, capas de renovación, bases asfálticas y tocado	2-4-5	2-4
Por ciento de vacíos en la mezcla respecto al volumen del espécimen (b)	Para carpetas y mezclas de renovación	3-5	3-5
	Para bases asfálticas	3-8	3-8
Por ciento de vacíos en el agregado mineral (VAM), respecto al volumen del espécimen de mezcla, de acuerdo con el tamaño máximo del material pétreo, mínima (b)	Para carpetas, capas de renovación, bases asfálticas y tocado		
	Carretera	4 76 mm (Núm. 4)	18
		6 35 mm (1/2")	17
		9 51 mm (3/8")	16
		12 7 mm (1/2")	15
		19 0 mm (3/4")	14
		25 4 mm (1")	13

(a) Se consideran como camiones pesados los camiones en todos sus tipos y los autobuses.
 (b) Los porcentajes de vacíos de la mezcla y del material pétreo.

Especificaciones que deben cumplir los conjuntos asfálticos de acuerdo al método Marshall ^x

ESPECIFICACIONES GRANULOMÉTRICAS PARA MATERIALES PÉTREOS QUE SE EMPLEAN EN CARPETAS ASFÁLTICAS POR EL SISTEMA DE RIEGOS O PARA RIEGOS DE SELLO

DENOMINACIÓN DEL MATERIAL PÉTREO	POR CIENTO QUE PASA LA MALLA										
	90.0 mm (3")	30.0 mm (1 1/8")	32.0 mm (1 1/4")	20.0 mm (3/4")	19.0 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	6.30 mm (1/4")	4.75 mm (Núm. 4)	2.36 mm (Núm. 6)	0.425 mm (Núm. 40)
1			100	95 Mín.							
2					100	5 Mds.					
3-A						95 Mín.				0	
3-B						100	95 Mín.			5 Mds.	0
3-E						100	95 Mín.	100	95 Mín.	5 Mds.	0
									5 Mds.	0	

Especificaciones para materiales pétreos que se emplean en carpetas asfálticas por el sistema de riegos o para riegos de sellos (material 3). ^x

^x Ref (17)

Emulsiones asfálticas aniónicas

CARACTERÍSTICAS	GRADO					
	Emulsión Rapida		Emulsión Medía		Emulsión Lenta	
	RR-1	RR-2	RM-2	RM-1	RL-1	RL-2
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO						
Viscosidad Saybolt-Furul a 30°C, segundos	20-100	75-400	100 Min	20-100	20-100	
Viscosidad Saybolt-Furul a 25°C, segundos						
Residuo de la destilación, porcentaje en peso, mínimo	57	62	62	57	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia en porcentaje, máximo	3	3	3	3	3	3
Demulsibilidad						
30 ml de 0.02N CaCl ₂ por ciento, mínimo	60	50				
Retenido en la malla Núm. 20, por ciento, máximo	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máximo				2.0	2.0	2.0
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION						
Penetración, 25°C, 100 g, 5 segundos, grados	100-200	100-200	100-200	100-200	100-200	40-90
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5
Ductilidad, 25°C, cm, mínimo	40	40	40	40	40	40

Nota: La intensidad de las emulsiones no debe exceder más de treinta por ciento (30%) ni bajar la temperatura de venta de los grados rápidos (20°C) ni los grados medios (10°C), ni bajar más de veinte por ciento (20%) ni bajar la temperatura de venta de los grados lentos (20°C) ni exceder los grados lentos (40°C).

Emulsiones asfálticas catiónicas

CARACTERÍSTICAS	GRADO					
	Emulsión Rapida		Emulsión Medía		Emulsión Lenta	
	RR-2E	RR-3E	RM-2E	RM-3E	RL-2E	RL-3E
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO						
Viscosidad Saybolt-Furul, 25°C, segundos	20-100	100-400	50-500	50-600	20-100	20-100
Viscosidad Saybolt-Furul, 30°C, segundos						
Residuo de la destilación, porcentaje en peso, mínimo	60	65	60	65	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia en porcentaje, máximo	5	5	5	5	5	5
Retenido en la malla Núm. 20, por ciento, máximo	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Cubrimiento del agregado (en condiciones de trabajo), Prueba de resistencia al agua						
Agregado seco, por ciento de cubrimiento, mínimo			80	80		
Agregado húmedo, por ciento de cubrimiento, mínimo			60	60		
Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máximo					2	2
Carga de partículas, ml, máximo	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva		
Disolvente en volumen, por ciento, máximo	3	3	20	12	6.7	6.7
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION						
Penetración, 25°C, 100 g, 5 segundos, grados	100-250	100-250	100-250	100-250	100-200	40-90
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo	97	97	97	97	97	97
Ductilidad, 25°C, cm, mínimo	40	40	40	40	40	40

Nota: La intensidad de las emulsiones no debe exceder más de treinta por ciento (30%) ni bajar la temperatura de venta de los grados rápidos (20°C) ni los grados medios (10°C), ni bajar más de veinte por ciento (20%) ni bajar la temperatura de venta de los grados lentos (20°C) ni exceder los grados lentos (40°C).

Especificaciones para emulsiones (a) aniónicas y (b) catiónicas. ^x

^x Ref (17)

ANEXO C.
Análisis de Costos Básicos, Precios Unitarios y Presupuestos de
Rehabilitación.

COSTO BASICO No 1

BARRIDO DE LA SUPERFICIE A TRATAR

UNIDAD
Ha

1 - MANO DE OBRA

Jor 8hr

Cuedrilla 007 (7 peones)

7 x \$85.39 = \$597.73

Rendimiento = $\frac{420\text{m}^2/\text{hr}}{0.0421\text{Ha/hr}}$ Carga = $\frac{\$597.73}{0.0421 \times 0.75 \times 8} = \frac{\$597.73}{0.252} = \$2,371.94 / \text{Ha}$

2 - EQUIPO Y HERRAMIENTA

% 3.00

Carga = 0.03 x \$2,371.94 / Ha = \$71.16 / Ha

COSTO DIRECTO = \$2,443.10 / Ha
F.NE.PRO.1997 \$0.24 / M2**COSTO BASICO No 2**

APLICACION DEL RIEGO DE LIGA

UNIDAD
Lt

1 - MATERIALES

Lt

FR-3

\$0.76

\$0.76 / Lt

2 - MANO DE OBRA

Jor 8hr

Operador de petrolizadora \$136.13

1 Ayudante \$85.39

\$221.52Rendimiento = $\frac{850 \text{ Lt/hr}}{8}$ Carga = $\frac{\$221.52}{0.75 \times 8} = \frac{\$221.52}{5100} = \$0.04 / \text{Lt}$

3 - EQUIPO

Hr

Petrolizadora \$155.11

Rendimiento = $\frac{850 \text{ Lt/hr}}{8}$ Carga = $\frac{\$155.11}{850} = \$0.18 / \text{Lt}$

4 - HERRAMIENTA

% 3.00

Carga = 0.03 x \$0.04 / Lt = \$1.30E-03 / Lt

COSTO DIRECTO = \$0.99 / Lt

F.NE.PRO.1997

COSTO BASICO No. 3

COLOCACION DE GEOTEXTIL UNIDAD M2

1 - MATERIALES		M2			
Geotextil			\$5 03		\$5 03 / M2
2 - MANO DE OBRA		Jor	8hr		
Cuadrilla 005 (5 peones)					
5	x	\$85.39	=	\$426.95	
Rendimiento =		570m2/hr			
Cargo =		\$426.95			
		570	0.75	8	=
				\$426.95	= \$0 12 / M2
				3420	
2.- EQUIPO Y HERRAMIENTA		%	3.00		
Cargo =	0 03	x	\$0 12 / M2	=	3 75E-03 / M2

COSTO DIRECTO = \$5 16 / M2
 FEBRO 1987

COSTO BASICO No 4**CONCRETO ASFALTICO EN CARPETA**UNIDAD
M3**1.- MATERIALES**

M3

Grava Triturada 3/4" a finos 553 64 \$53 64 / M3

2.- MANO DE OBRA

Jor 8hr

Operador de pavimentadora \$141 50

2 Ayudante \$170 78

\$312 28

Rendimiento = 15 m3 / hr

Carga = $\frac{312.28}{15 \times 0.75 \times 8} = \frac{312.28}{90} =$ \$3 47 / M3

Operador de compactador vib \$141 50

1 Ayudante \$85 39

\$226 89

Rendimiento = 30 m3 / hr

Carga = $\frac{226.89}{30 \times 0.75 \times 8} = \frac{226.89}{180} =$ \$1 26 / M3

Operador de compactador neum \$141 50

1 Ayudante \$85 39

\$226 89

Rendimiento = 30 m3 / hr

Carga = $\frac{226.89}{30 \times 0.75 \times 8} = \frac{226.89}{180} =$ \$1 26 / M3**3.- EQUIPO**

Hr

Pavimentadora \$193 79

Rendimiento = 15 m3 / hr

Carga = $\frac{193.79}{15} =$ \$12 92 / M3

Comp Vib \$172 33

Rendimiento = 30 m3 / hr

Carga = $\frac{172.33}{30} =$ \$5 74 / M3

Comp Neum \$109 58

Rendimiento = 30 m3 / hr

Carga = $\frac{109.58}{30} =$ \$3 65 / M3**4.- HERRAMIENTA**

% 3 00

Carga = 0 03 x \$5 99 / M3 = 1 80E-01 / M3

COSTO DIRECTO = \$82.13 / M3

ENERO 1987

COSTO BASICO

No 5

**ESCARIFICACION, NIVELACION, COMPACTACION
Y REJUVENECIMIENTO DE CARPETA****UNIDAD
M3****1.- MATERIALES**

Triturado 1 1/2" a finos \$25 00 m3

\$25 00 / M3**2.- MANO DE OBRA**

Jor 8hr

Operador de recuperadora \$155 65

1 Ayudante \$85 39

\$241 04

Rendimiento = 10 m3 / hr

Carga = $\frac{\$241\ 04}{10 \times 0.75 \times 8} = \frac{\$241\ 04}{60} = \$4.02 / M3$

Operador de compactador vib \$141 50

1 Ayudante \$85 39

\$226 89

Rendimiento = 30 m3 / hr

Carga = $\frac{\$226\ 89}{30 \times 0.75 \times 8} = \frac{\$226\ 89}{180} = \$1.26 / M3$

Operador de comp neum \$141 50

1 Ayudante \$85 39

\$226 89

Rendimiento = 30 m3 / hr

Carga = $\frac{\$226\ 89}{30 \times 0.75 \times 8} = \frac{\$226\ 89}{180} = \$1.26 / M3$

Op. de motoconformadora \$163 43

1 Ayudante \$85 39

\$248 82

Rendimiento = 10 m3 / hr

Carga = $\frac{\$248\ 82}{10 \times 0.75 \times 8} = \frac{\$248\ 82}{60} = \$4.15 / M3$

Operador de petrolizadora \$136 13

1 Ayudante \$85 39

\$221 52

Rendimiento = 10 m3 / hr

Carga = $\frac{\$221\ 52}{10 \times 0.75 \times 8} = \frac{\$221\ 52}{60} = \$3.69 / M3$

3 - EQUIPO

Recicladora y Recup			
Rendimiento =	\$2 389 75	Hr	
Cargo = $\frac{\$2\ 389\ 75}{10}$ =		10 m3 / hr	\$238 98 / M3
Comp Vib	\$172 33		
Rendimiento =		30 m3 / hr	\$5 74 / M3
Cargo = $\frac{\$172\ 33}{30}$ =			
Comp Neum	\$109 58		
Rendimiento =		30 m3 / hr	\$3 65 / M3
Cargo = $\frac{\$109\ 58}{30}$ =			
Motocofirmadora	\$3 106 68		
Rendimiento =		10 m3 / hr	\$310 67 / M3
Cargo = $\frac{\$3\ 106\ 68}{10}$ =			
Petrolizadora	\$155 11		
Rendimiento =		10 m3 / hr	\$15 51 / M3
Cargo = $\frac{\$155\ 11}{10}$ =			

4.- HERRAMIENTA

	%	3.00	
Cargo = 0 03 x	\$14 38 / M3	=	\$0 43 / M3

COSTO DIRECTO = \$614 36 / M3
(C.M. NO. 1987)

COSTO BASICO **No.6****EXTENDIDO DE MATERIAL Y MEZCLADO EN LA CAPA DE BASE, INCLUYENDO SU COMPACTACION** **UNIDAD M3**

1.- MANO DE OBRA	Jor	8hr		
Op de motoconformadora			\$163.43	
1 Ayudante			\$85.39	
			<u>\$248.82</u>	
Rendimiento =		80 m3 / hr		
Cargo =	$\frac{248.82}{80}$	$\frac{0.75}{8}$	=	$\frac{248.82}{480}$ = \$0.52 / M3
Operador de compactador vib.			\$141.50	
1 Ayudante			\$85.39	
			<u>\$226.89</u>	
Rendimiento =		120 m3 / hr		
Cargo =	$\frac{226.89}{120}$	$\frac{0.75}{8}$	=	$\frac{226.89}{720}$ = \$0.32 / M3
2.- EQUIPO	%	3.00		
Motoconformadora			\$3,108.68	
Rendimiento =		80 m3 / hr		
Cargo =	$\frac{3,108.68}{80}$			\$38.63 / M3
Comp. Vib.			\$172.33	
Rendimiento =		120 m3 / hr		
Cargo =	$\frac{172.33}{120}$			\$1.44 / M3
3.- HERRAMIENTA	%	3.00		
Cargo =	0.03	x	\$0.83 / M3	= 2.50E-02 / M3

COSTO DIRECTO = \$41.13 M3
JUNIO 1987

PRECIO UNITARIO		No 1		UNIDAD M2		
BARRIDO DE LA SUPERFICIE A TRATAR						
Del análisis del Costo Básico No 1				\$0 24		
Indirectos	%	10		\$0 02		
				\$0 27		
Utilidad	%	10		\$0 03		
				\$0 30		
Infonavit	%	5		\$0 01		
				\$0 31		
SAR	%	2		6 20E-03		
P. U. ENERO 1987				\$0 32 / m2		
(Cero pesos 32 / 100 M. N.)						

PRECIO UNITARIO		No 2		UNIDAD Lt		
APLICACION DEL RIEGO DE LIGA						
Del análisis del Costo Básico No 2				\$0 99		
Indirectos	%	10		\$0 10		
				\$1 09		
Utilidad	%	10		\$0 11		
				\$1 19		
Infonavit	%	5		\$0 06		
				\$1 25		
SAR	%	2		2 51E-02		
P. U. ENERO 1987				\$1 28 / Lt		
(Un peso 28 / 100 M. N.)						

PRECIO UNITARIO		No 3		UNIDAD M2		
COLOCACION DE GEOTEXTIL						
Del análisis del Costo Básico No 3				\$5 16		
Indirectos	%	10		\$0 52		
				\$5 68		
Utilidad	%	10		\$0 57		
				\$6 24		
Infonavit	%	5		\$0 31		
				\$6 56		
SAR	%	2		1.31E-01		
P. U. ENERO 1987				\$6 69 / m2		
(Seis pesos 69 / 100 M. N.)						

PRECIO UNITARIO		No. 4			
CONCRETO ASFALTICO EN CARPETA				UNIDAD M3	
Del analisis del Costo Basico No. 4				\$82 13	
Indirectos	%	10		\$8 21	
				\$90 34	
Utilidad	%	10		\$9 03	
				\$99 38	
Infonavit	%	5		\$4 97	
				\$104 35	
SAR	%	2	2 09E+00		
P. U.	ENERO 1987			\$106 43 / m3	
(Ciento seis pesos 43 / 100 M. N.)					

PRECIO UNITARIO		No. 5			
ESCARIFICACION, COMPACTACION Y REAJUSTAMIENTO DE CARPETA				UNIDAD M3	
Del analisis del Costo Basico No. 5				\$614 36	
Indirectos	%	10		\$61 44	
				\$675 80	
Utilidad	%	10		\$67 58	
				\$743 38	
Infonavit	%	5		\$37 17	
				\$780 54	
SAR	%	2	1 56E+01		
P. U.	ENERO 1987			\$796 16 / m3	
(Setecientos noventa y seis pesos 16 / 100 M. N.)					

PRECIO UNITARIO		No. 6			
EXTENDIDO DE MATERIAL MEZCLADO EN LA CAPA DE BASE Y COMPACTACION				UNIDAD M3	
Del analisis del Costo Basico No. 6				\$41 16	
Indirectos	%	10		\$4 12	
				\$45 28	
Utilidad	%	10		\$4 53	
				\$49 80	
Infonavit	%	5		\$2 49	
				\$52 29	
SAR	%	2	1 05E+00		
P. U.	ENERO 1987			\$53 34 / m2	
(Cincuenta y tres pesos 34 / 100 M. N.)					

PRESUPUESTO DE LA ALTERNATIVA CON GEOTEXTIL

SUBTRAMO No 1

Del Km 34+000 Al Km 40+000

Longitud del tramo = 6 000 m

Espesor de sobrecarpeta = 0 08 m

CONCEPTO	P U No	Cantidad	Un	P U	Importe
Barro de la superficie	1	66 000	m ²	\$0 32	\$21 120 00
Riego de liga o impregnación de la superficie	2	99 000	Lt	\$1 28	\$126 720 00
Suministro y colocación de geotextil	3	66 032	m ²	\$6 69	\$441 754 08
Sobrecarpeta	4	5 260	m ³	\$106 43	\$561 950 40
TOTAL					\$1 151 544 48

CALCULO DE CANTIDADES DE OBRA

Barro de la superficie = 11 x 6 000 = 66 000 m²

Riego de liga = 11 x 6 000 x 1 5 Lt/m² = 99 000 Lt

Suministro y colocación de geotextil = 66 032 m²

Cantidad por cálculo = Área de carpeta + Área de fricción = $(11 \times 6 000) + (6 \times 200 \times 100) \times 1,1 = 61 032$ m²

Sobrecarpeta = 11 x 6 000 x 0 08 = 5 260 m³

PRESUPUESTO DE LA ALTERNATIVA CON GEOTEXTIL

SUBTRAMO No 2

Del Km 40+000 Al Km 49+250

Longitud del tramo = 9 250 m

Espesor de sobrecarpeta = 0 11 m

CONCEPTO	P U No	Cantidad	Un	P U	Importe
Barro de la superficie	1	101 750	m ²	\$0 32	\$32 560 00
Riego de liga o impregnación de la superficie	2	152 625	Lt	\$1 28	\$195 360 00
Suministro y colocación de geotextil	3	101 719	m ²	\$6 69	\$683 500 11
Sobrecarpeta	4	11 193	m ³	\$106 43	\$1 191 270 99
TOTAL					\$2 099 691 10

CALCULO DE CANTIDADES DE OBRA

Barro de la superficie = 11 x 9 250 = 101 750 m²

Riego de liga = 11 x 9 250 x 1 5 Lt/m² = 152 625 Lt

Suministro y colocación de geotextil = 101 719 m²

Cantidad por cálculo = Área de carpeta + Área de fricción = $(11 \times 9 250) + (9 \times 250 \times 100) \times 1,1 = 101 719$ m²

Sobrecarpeta = 11 x 9 250 x 0 11 = 11 193 m³

TOTAL DE TODO EL TRAMO (Km 34+000 Al Km 49+250) \$3 251 235 58

Tipo de cambio 3 de julio de 1997 \$7 95 U.S. \$408 960 45

PRESUPUESTO DE LA ALTERNATIVA SIN GEOTEXTIL

TRAMO

UNICO

Del Km 34 + 000 Al Km 49 + 250

Longitud del tramo = 15 250 m

Espesor de sobrecarpeta = 0 07 m

CONCEPTO	P.U. No	Cantidad	Un	P.U.	Importe
Escarificación de la carpeta existente	5	11 743	m3	\$796 16	\$9 349 306 88
Extendido de material y mezclado en la capa base	6	32 117	m3	\$53 34	\$1 713 120 78
Limpieza de base	1	178 425	m2	\$0 32	\$57 096 00
Riego de liga	2	90 997	Lt	\$1 28	\$116 476 16
Carpeta	4	11 743	m3	\$106 43	\$1 249 807 49
TOTAL					\$12 485 807 31

CALCULO DE CANTIDADES DE OBRA

Escarificación de la carpeta existente =	11	x	0 07	x	15 250 =	11 743	m3
Extendido de material y mezclado en la CB =	0 18	x	11 7	x	15 250 =	32 117	m3
Limpieza de base =			11 7	x	15 250 =	178 425	m2
Riego de liga =	11 7	x	15 250	x	0 51 Lt/m2 =	90 997	Lt
Carpeta =	11	x	0 07	x	15 250 =	11 743	m3

TOTAL DE TODO EL TRAMO (Km 34 + 000 Al Km 49 + 250) \$12 485 807 31

Tipo de cambio 3 de julio de 1997 \$7 95 U S \$1 570 541 83