



41

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ACATLAN"

UTILIZACION DE GEOTEXTILES EN LA CONSTRUCCION
DE PAVIMENTOS ASFALTICOS



T E S I S P R O F E S I O N A L
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A
SERGIO VARGAS HERNANDEZ

ASESOR: ING. FRANCISCO ANZURES ROSAS



DICIEMBRE DEL 2002

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.

PAGINACIÓN

DISCONTINUA

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Sergio Vargas

Hernández

FECHA: 29-NOV-2002

FIRMA: [Signature]

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

AGRADECIMIENTOS

A ti **Dios**, que siempre estas a mi lado, que me brindas la fuerza para seguir adelante en todo momento y a quien le debo todo en esta vida.

A ti **padre**, por todos tus consejos y tu apoyo incondicional siempre.

A ti **madre**, por todos tus esfuerzos y sacrificios que por mí has hecho.

A mis hermanos, **Ma. Guadalupe, Leticia, Beatriz y Fabian**, por su apoyo, cariño y por ser los mejores compañeros que he tenido en la vida.

A mis **abuelos**, que donde quiera que estén, siempre ha estado conmigo su apoyo y cariño.

A mis **maestros**, que compartieron sus conocimientos y me enseñaron lo bonita y noble que es esta profesión.

A mis **compañeros y amigos**, que indiscutiblemente son parte importante en mi vida, por su amistad y apoyo durante nuestra estancia en la Universidad.

A mis **familiares**, que siempre me han impulsado a seguir adelante con su apoyo y sus palabras de aliento.

A todos ellos y a quien olvide en este momento, quiero agradecerles infinitamente por estar conmigo y ayudarme a hacer posible esta meta muy importante de mi vida. Que Dios los bendiga a todos.

CONTENIDO

Introducción

1

Capítulo 1

1

ANTECEDENTES DE LOS GEOTEXTILES

1.1 Marco histórico

2

1.2 Mercado y utilización de los geotextiles

3

1.3 Breves comentarios acerca de los pavimentos con geotextiles en México

9

Capítulo 2

14

PROPIEDADES DE LOS GEOTEXTILES

2.1 Propiedades físicas

15

2.1.1 Peso específico

15

2.1.2 Espesor

15

2.1.3 Absorción de agua

16

2.1.4 Textura

16

2.1.5 Retención de asfalto

17

2.2 Propiedades mecánicas

17

2.2.1 Resistencia a la tracción "Grab" (desgarramiento)

17

2.2.2 Fricción

20

2.2.2.1 Coeficiente de fricción suelo-geotextil

20

2.2.3 Resistencia a la abrasión

20

2.2.4 Resistencia a la perforación (punzonamiento)

21

2.2.5 Elongación

21

2.2.5.1 Elongación aparente o elongación Grab

21

2.2.5.2 Elongación a largo plazo, con carga estática

21

2.2.6 Resistencia al rasgado

22

2.2.7 Isotropía

22

2.3 Propiedades hidráulicas

26

2.3.1 Permeabilidad

26

2.3.2 Permeabilidad transversal (permisibilidad)

26

2.3.3 Relación de gradientes

27

2.3.4 Tamaño de abertura aparente

27

2.3.5 Resistencia a la tubificación

28

2.4 Propiedades de durabilidad

32

2.4.1 A los agentes biológicos

32

2.4.2 Al calor

32

2.4.3 A los agentes químicos

32

2.4.4 Al intemperismo

33

2.5 Variedades de geotextiles

33

2.5.1 Geotextiles tejidos

33

2.5.1.1 Proceso de fabricación

34

2.5.2 Geotextiles no tejidos

34

2.5.2.1 Proceso de fabricación

34

2.5.2.1.1	Proceso de termo fundido o termo fijado	35
2.5.2.1.2	Proceso por medio de resinas	36
2.5.2.1.3	Proceso de punzonado	36
2.6	Pruebas de laboratorio	42
2.6.1	ASTM	42
2.6.2	AASHTO	42
Capítulo 3		43
VALORACIÓN DEL USO DE GEOTEXTILES		
3.1	Principales defectos a prevenir o corregir en un pavimento asfáltico	44
3.1.1	Grietas	47
3.1.2	Deformaciones	48
3.1.3	Desgranamiento de la superficie de rodamiento	50
3.1.4	Pérdida de resistencia a la fricción	51
3.2	Técnicas a emplear	52
3.2.1	Colocación de sobrecarpetas	52
3.2.2	Empleo de asfaltos especiales	52
3.2.3	Empleo de geotextiles	53
3.3	Ventajas en el empleo de geotextiles	54
3.3.1	Menor deformación	54
3.3.2	Resistencia al agrietamiento	54
3.4	Criterios de diseño	54
3.4.1	Como refuerzo	55
3.4.2	Como barrera impermeable	57
Capítulo 4		59
COLOCACIÓN DE GEOTEXTILES EN EL PAVIMENTO ASFÁLTICO		
4.1	Generalidades sobre pavimentos	60
4.1.1	Definición de pavimento	60
4.1.2	Capas de un pavimento flexible	60
4.1.2.1	Sub-base	60
4.1.2.2	Base	61
4.1.2.3	Carpeta asfáltica	61
4.2	Sección transversal	62
4.2.1	Pavimento asfáltico nuevo	62
4.2.1.1	Normal	62
4.2.1.2	Con geotextil incluido	63
4.2.2	Pavimento asfáltico restaurado	64
4.2.2.1	Normal	64
4.2.2.2	Con geotextil incluido	65
4.3	Función del geotextil en un pavimento asfáltico	66
4.3.1	Separación	66
4.3.2	Refuerzo	66
4.3.4	Barrera impermeable	67

4.3.4 Filtración	67
4.3.5 Drenaje	67
4.3.6 Protección	67
4.4 Maquinaria y herramienta	68
4.4.1 Petrolizadora	68
4.4.2 Cepillos o enrazadores	71
4.4.3 Equipo manual de aplicación de asfalto	71
4.4.4 Herramientas de corte	72
4.5 Materiales adicionales	72
4.5.1 Concreto asfáltico	72
4.5.2 Asfalto	73
4.5.2.1 Resumen histórico	73
4.5.2.2 Propiedades	74
4.5.2.3 Definición	74
4.5.2.4 Viscosidad	74
4.5.2.5 Viscosidad de aplicación	75
4.5.2.6 Resistividad / conductividad eléctrica	75
4.5.2.7 Propiedades térmicas	75
4.5.2.8 Almacenamiento y manipulación de asfalto caliente	76
4.5.2.9 Resistencia del asfalto a los químicos	76
4.5.3 Emulsiones asfálticas	77
4.5.3.1 Viscosidad	77
4.5.3.2 Sedimentación	77
4.5.3.3 Demulsibilidad	77
4.5.3.4 Ensayo de tamizado	78
4.5.3.5 Ensayo sobre el residuo	78
4.6 Técnicas de colocación	78
4.6.1 Consideraciones previas	78
4.6.2 Tendido con máquina	82
4.6.3 Tendido manual	84
4.6.4 Principales diferencias en la colocación del geotextil en un pavimento nuevo y uno restaurado	85
Capítulo 5	87
PRUEBAS EN CARPETAS ASFÁLTICAS CON GEOTEXTILES	
5.1 Estimación de requerimiento de adhesivo	88
5.2 Pruebas de flexión y crecimiento de grietas	90
5.3 Pruebas de deformación e impermeabilidad	93
Conclusiones	95
Bibliografía	99
Índice de figuras	103

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el mundo que nos rodea cada vez nos demanda más para poder subsistir en él. Es por eso que muchas veces nos vemos sorprendidos por las nuevas tecnologías. Día a día en el ámbito de la informática encontramos software para todas las tareas del quehacer humano en los que se tiene énfasis en hacer las tareas cada vez más fáciles para cualquier persona; el hardware cada vez mas sofisticado y con la tendencia a ser más y más pequeño nos da la rapidez y eficiencia que en la actualidad demanda el acelerado modo de vida a que estamos sujetos.

En el ámbito de las comunicaciones de igual manera se busca mediante la tecnología más moderna la mayor eficiencia y veracidad. Las videoconferencias, los teléfonos celulares, el Internet, la televisión entre otros son ejemplo de eso y aunque ciertamente ya a pocos sorprenda, si son muchos aquellos que nos vemos favorecidos por estos avances tecnológicos.

Sin embargo a diferencia de estos ejemplos en los que las nuevas tecnologías saltan a la vista, hay otras ramas del quehacer humano en las que estas no son tan evidentes al ojo del ciudadano común. Por ejemplo en la Ingeniería Civil, día con día nuevas técnicas constructivas, materiales, teorías de diseño, etc. son puestas en práctica por los ingenieros sin que el usuario final de la obra civil tenga conciencia de ello.

Ya que el objetivo final de la aplicación de todos los recursos de la ingeniería es el confort del usuario, el cual al final del proceso solo verá por ejemplo un puente, un edificio, una carretera u obtendrá agua al abrir una llave o luz al encender un foco, etc.

El desmesurado crecimiento de la población, la falta de lugares para la construcción de viviendas, la falta de una planeación eficiente en el crecimiento de las ciudades y la explotación y agotamiento de los recursos naturales entre otras cosas exigen a los ingenieros e investigadores de la ingeniería soluciones a los cada vez más complejos problemas que nos hemos creado.

En la antigüedad una población se establecía en aquel lugar en el que la naturaleza le era mas favorable, es decir cerca de un río, con tierras fértiles, flora y fauna abundantes y una temperatura aceptable. Si existía la necesidad de comunicar la aldea con otra se hacia un camino por el terreno mas firme, mas plano y lo mas recto posible.

La ingeniería tenía por lo tanto pocos retos al presentarse la posibilidad de optar por acceder a las condiciones ideales para la construcción de caminos, pero esto ha ido cambiando a tal grado de encontrarnos en la actualidad prácticamente en el polo opuesto, debido a que ahora los retos son innumerables y saltan más cada instante al no tener generalmente condiciones ideales para la creación de caminos.

Ahora tenemos poblaciones prácticamente en todos los ecosistemas, incluso en las mas inhóspitas e inaccesibles localidades, entre las montañas o incluso en ellas, cerca de lugares pantanosos o dentro de ellos, en fin en cualquier rincón del mundo encontramos poblaciones que a pesar de la dificultad para

intercomunicarlas se tiene que hacer, empezando por la forma más básica es decir a través de un camino o carretera.

En un sin fin de lugares encontramos problemas en el terreno de cimentación de una carretera y son igualmente numerosos los problemas superficiales de las carreteras que afectan a todo mundo en la comodidad y seguridad al transitar sobre una carretera.

Por lo que ha surgido la necesidad de buscar no solo formas de corregirlo sino de prevenir todas las fallas posibles.

En un pavimento es de especial cuidado la resistencia del suelo para soportar cargas y el flujo de agua a través de la estructura del pavimento. Ambos son fuente de graves fallas en el pavimento.

A lo largo de la historia se han utilizado diferentes materiales para estabilizar los terrenos de cimentación, algunos con mucho éxito y otros sin tanto. Igualmente se han intentado diferentes formas para evitar el flujo de agua a través de la estructura del suelo, así como la contaminación de las capas del pavimento por materiales de menor calidad.

Así poco a poco mediante la experimentación y el uso de materiales artificiales se llegó a la utilización del geotextil.

En la antigüedad se buscó la forma de encontrar un material que fuese capaz de formar una barrera impermeable y además contribuir en la toma de esfuerzos; el algodón, lana y seda impregnados de asfalto, camas de bambú, entre otras cosas fueron usadas para estos fines.

Para los años 60's se comenzaron a realizar estudios serios y bien encaminados a cerca de los geotextiles. Pero es hasta los 70's cuando su uso se hace extensivo e incluso es cuando adoptan definitivamente este nombre de geotextiles.

Los geotextiles están formados de diferentes polímeros que le dan al material ligereza, ductilidad, maleabilidad y alta resistencia química; características que indudablemente lo hacen atractivo para su aplicación en las obras civiles.

Es por lo tanto un material cuyas características le abren un gran campo de aplicación. Solo en pavimentos sus funciones de refuerzo, separación y barrera impermeable lo colocan como una solución a muchos problemas.

La aparición de fallas en los pavimentos se ve generalmente reflejado en la carpeta con la aparición de grietas de distintos tamaños, permitiendo la penetración de agua en la estructura y como consecuencia el debilitamiento y deterioro de la estructura del pavimento. La aplicación de los geotextiles en la restauración de pavimentos complementa perfectamente la solución de la simple colocación de una sobrecarpeta.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES DE LOS GEOTEXTILES

1.1 MARCO HISTORICO

Desde la antigüedad el hombre ha considerado la utilización de materiales naturales como pieles o fibras vegetales sobre suelos muy blandos, para reforzarlos y evitar la incrustación de materiales de préstamo en la construcción de caminos, bordos, chinampas, etc.

Los arqueólogos han descubierto que en el sur de Inglaterra hace aproximadamente unos 4500 años ya se utilizaban varas y ramas para hacer caminos en zonas pantanosas. Los romanos tejían ramas entre sí antes de colocar piedras. En China y otros países orientales se usaban camas de bambú para reforzar el suelo. La utilización de tejidos para reforzar y estabilizar los terrenos comenzó hace más de un siglo, cuando se empezó a introducir lona en los rellenos de tierra para reducir el movimiento lateral en la parte posterior de las paredes de contención.

En los Estados Unidos una especie de algodón tejido se estaba utilizando hace 60 años para estabilizar carreteras de tierra. Sin embargo ha sido durante estos últimos 25 años cuando realmente se ha dado gran variedad de aplicaciones a los geotextiles.

El uso extensivo de estas nuevas tecnologías se inicia en los años 70's, cuando aparecieron los primeros textiles para este uso y se adoptan los términos geotextil y geomembrana como denominación de materiales elaborados con polímeros que se emplean en la geotécnica.

A partir de los años 80's se desarrollaron las georredes, geomallas, y los geodrenes, productos que representan la segunda generación de geosintéticos y que fueron diseñados para satisfacer necesidades particulares en obras realizadas en todo el mundo.

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 Rhone - Poulenc comenzó a experimentar con fibras no tejidas, punzonadas para diferentes tipos de aplicaciones, sobretudo para el refuerzo de caminos de terracería. 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.

A manera de ejemplo cabe mencionar que el drenaje prefabricado que se diseñó fue hecho basándose en 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 él.

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 de paneles de drenaje, es un sistema a base de un panel con la capacidad de los tubos corrugados convencionales, excelentes para zonas con gran precipitación pluvial y niveles de aguas freáticas elevadas.

Existe tal variedad de geotextiles en la actualidad que resulta difícil dar una sola definición que sea sencilla, sin embargo, puede decirse que son polímeros a los que se les ha dado forma de telas flexibles y porosas, las cuales encuentran aplicación en la geotécnica.

El término "Geotextil" fue propuesto por primera vez por el doctor Jean Pierre Giroud, durante una conferencia sobre el uso de telas sintéticas en la geotécnica que tuvo lugar en París, Francia, en el año de 1977; poco después fue adoptado como nombre oficial para estos materiales en la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (ASTM).

De acuerdo con dicha institución, un geotextil está definido de la siguiente manera: *"Cualquier material textil permeable usado en combinación con cimentaciones, suelos, rocas, tierra u otro elemento que tenga que ver con la geotécnica, el cual constituya una parte integral de un proyecto, estructura o sistema creados por el hombre".*

En la práctica los geotextiles han sido conocidos como telas, telas filtrantes, telas geotécnicas, telas para ingeniería ó telas para la construcción.

Durante la década de los 70's y 80's la práctica se adelantó a la teoría por la cantidad y variedad de obras en las que se utilizaron geoproductos con base en métodos semiempíricos de cálculo; y como toda nueva tecnología, los geosintéticos tuvieron que ganar su credibilidad y respetabilidad a través de un proceso largo y laborioso, consistente en numerosos estudios teóricos y de campo, hasta que se definió una metodología racional de diseño. Hasta hace algunos años la falta de normas específicas, tendió a frenar la aceptación general de los geotextiles como materiales para obras de Ingeniería Civil. Ahora, la situación ha cambiado y organizaciones de gran importancia y excelencia a nivel mundial realizan estudios muy importantes en los geotextiles y publican sus resultados para dar orientación y especificaciones al respecto.

1.2 MERCADO Y UTILIZACIÓN DE LOS GEOTEXTILES

Los geotextiles son una solución comprobada para una variedad de retos en ingeniería civil y ambiental. Estos son usados para mejorar el rendimiento y reducir los costos de casi todas las estructuras de ingeniería civil, incluyendo drenajes subterráneos, carreteras, vías férreas, terraplenes y rellenos sanitarios. Los geotextiles permiten el avance de la construcción bajo condiciones de terrenos difíciles, los cuales de otra manera harían que el trabajo fuera casi imposible o sumamente difícil.

En la actualidad el mercado de los geotextiles es muy grande y variado, se pueden obtener de muy diversos tipos, formas y para muy diversos usos, aunque básicamente todos se componen de una manera muy similar.

Los elementos básicos de un geotextil son sus fibras, las cuales pueden ser de tres tipos, filamentos, fibras cortas o cintas. Los filamentos se obtienen directamente del proceso de extrusión del polímero, el cual se lleva a cabo en una máquina hiladora, dicho proceso es continuo. Después de la extrusión, estas fibras se tensan para lograr que sus moléculas se orienten en una sola dirección y adquieran una mayor resistencia.

Las fibras cortas se obtienen de dividir los filamentos en tramos de longitudes pequeñas, usualmente de 2 a 15 centímetros.

Las cintas son pequeñas tiras de película plástica, con un ancho de uno a tres milímetros. Estas también son sometidas después de ser cortadas a un estiramiento para orientar las moléculas en una sola dirección.

Para fabricar los geotextiles se puede hacer uso de fibras o bien emplear hilos de los cuales se tienen diferentes tipos como:

- a. Hilo monofilamento. Está formado por un solo filamento continuo.
- b. Hilo multifilamento. Se compone de varios filamentos continuos alineados conjuntamente.
- c. Hilo tejido. Constituido por fibras cortas entrelazadas y torcidas conjuntamente.
- d. Hilo fabricado. Compuesto por una cinta cortada y añadida en tiras fibrosas.

Con estos hilos y mediante un proceso particular de fabricación se llega a la obtención de los geotextiles tejidos.

Además de los geotextiles "tejidos" los otros tipos de geotextiles que generalmente se pueden obtener en el mercado son los llamados como "no tejidos" y los "ligados".

A la fecha no existe ningún otro material disponible en la industria de la construcción, llámese concreto, acero, madera, o alguna combinación de estos materiales que ofrezca tal variedad de soluciones a los problemas de Ingeniería Civil como los geotextiles. En general, estas soluciones se refieren a la estabilidad de cimentaciones, protección contra erosiones, drenaje, estabilización de deslizamientos, refuerzo de pavimentos, etc.

El revolucionario desarrollo de los geotextiles empezó en los 60's en la construcción de caminos. Con el éxito obtenido en los caminos, los geotextiles fueron subsecuentemente empleados y usados en gran escala como substitutos de filtros minerales en la construcción hidráulica y de drenaje. En México ante la necesidad de aplicar geotextiles tejidos en obras costeras y conocer su comportamiento ante los rayos de sol para predecir su vida útil, desde 1970 se han llevado a cabo estudios sistemáticos y periódicos. En la década de los años

80's se estudio el efecto del tiempo ante carga constante, mejor conocido como Creep, así como la fricción ante diferentes tipos y condiciones de suelo.

La variedad de información recopilada de todos esos proyectos, estudios e investigaciones, procesos y evaluaciones del comportamiento de los geotextiles fueron presentados por primera vez en la Primera Conferencia Internacional de Geotextiles, en París en 1977, bajo los auspicios de la Escuela Nacional de Puentes y Caminos y del Laboratorio Central de Puentes y Caminos, gracias a la cual surgió un enorme interés de los fabricantes y comenzaron a desarrollar diversos tipos y clases de nuevos geotextiles que fueron ofrecidos con diferentes características mecánicas, hidráulicas y físicas.

En suma, el gran potencial económico de éste nuevo producto surtió el efecto de incrementar las actividades de investigación en todo el mundo, cuyos resultados fueron presentados en la Segunda Conferencia Internacional de Geotextiles llevada a cabo en Las Vegas en agosto de 1982 bajo los auspicios de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE), la Sociedad Americana de Ensayes de Materiales (ASTM), la Asociación Internacional del Laboratorio de Ensaye de Materiales y las asociaciones europeas de geotextiles.

Durante y después de 1982, el desarrollo del mercado de geotextiles continuó parcialmente con usos innovadores y la diversificación de los productos relacionados a aplicaciones especiales como las georredes, compuestos y drenes especiales. Sin embargo entre 1982 y 1986 se hicieron grandes esfuerzos para estandarizar nacional e internacionalmente las pruebas a los geotextiles, creándose diversos comités y normas. Son muchas las instituciones de renombre que tienen normas para los geotextiles, aunque para nosotros en México, quizá por la cercanía a los Estados Unidos y porque sus normas son de alta calidad utilizamos básicamente las emitidas por la ASTM.

Para la fabricación de geotextiles la industria usa cuatro diferentes tipos de polímeros:

- ✓ Polipropileno
- ✓ Poliéster
- ✓ Nylon
- ✓ Polietileno

Todos estos polímeros básicos son derivados del petróleo y son utilizados en la fabricación de los geotextiles más o menos en los siguientes porcentajes:

Polipropileno	65%
Poliéster	32%

Nylon	2%
Polietileno	1%

Como ya se mencionó anteriormente, primero se procede a transformar los polímeros en filamentos o cintas; para lo cual se tienen varios métodos o procedimientos.

Cuando se utiliza la polimerización para la obtención de plástico, éste se obtendrá en forma de polvo, el cual se tiene que mezclar con algunos agentes que mejoran su procesabilidad y otros que de alguna manera modifican sus propiedades finales; el producto que se obtiene es en forma granular.

Después de esto es sometido a un proceso de extrusión, que consiste en hacer pasar los gránulos de plástico por un cañón metálico en cuyo interior gira un tornillo sin fin, el cual mezcla, funde y comprime el material, transportándolo de un extremo a otro del cañón. Esta masa resultante es sometida a temperaturas cada vez mayores mediante resistencias eléctricas colocadas a lo largo del cañón.

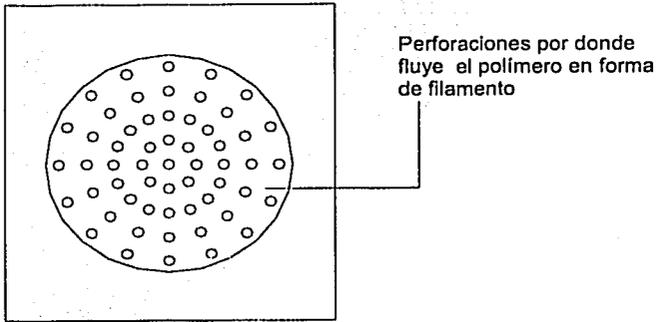
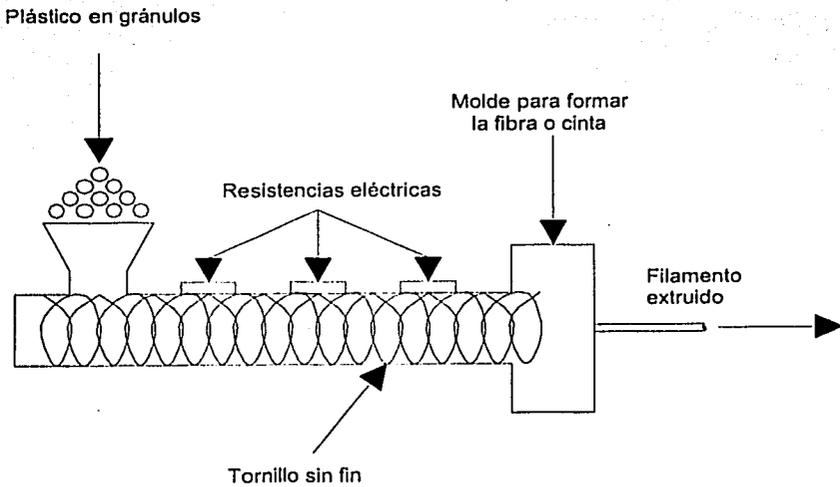
El plástico ya fundido es obligado a pasar a través de una boquilla que tiene la forma que se le desea dar al filamento. De este modo se producen los filamentos de sección transversal plana o cilíndrica; dichos filamentos serán los que se emplearán más tarde para la fabricación de geotextiles del tipo tejidos. Estos dispositivos se presentan en la figura No. 1

El polímero que se utiliza para la elaboración de las fibras utilizadas en los geotextiles se tiene en un principio a granel, es decir en pequeñas esferas, por lo cual es muy común que a esta materia prima se le llame polímero en perla. Para la fabricación de fibras, se funde primero el polímero en perla por medio del calor y después de ser enfriado se le obliga a fluir a través de un SPIRENET, que es básicamente una placa con perforaciones, donde mediante la aplicación de tensión es reducida la sección transversal de la fibra. Este proceso es de gran importancia en el establecimiento de las propiedades mecánicas de la fibra, pues como consecuencia de este proceso se incrementa la resistencia a la tracción, en el modulo de elasticidad, la resistencia a la humedad y se reduce la elongación. Esto se puede explicar debido a que las moléculas de un polímero forman cadenas muy largas, las cuales se encuentran distribuidas en forma desordenada dentro de la fibra y al ejercerse el estiramiento se obliga a las moléculas a alinearse en el sentido de la tracción. Este efecto es conocido como Orientación Molecular. Se ilustra en la figura No.2.

Se debe tener un extremo cuidado cuando se someten los polimeros a altas temperaturas, ya que si se sobrepasa o se llega a su temperatura de ablandamiento, todos los beneficios obtenidos anteriormente como la orientación de partículas, y las características mecánicas se perderán. Después de esto los filamentos se tienen que solidificar ya sea por método húmedo, seco o fundido. Este proceso se realiza al mismo tiempo que se le da el alargado para reducir aún más el diámetro de las fibras.

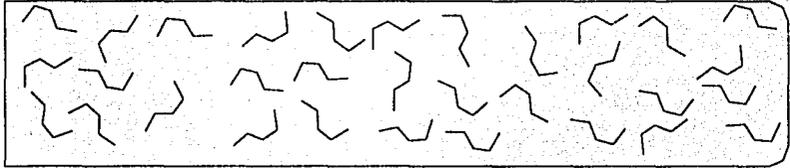
Estas fibras monofilaménticas se pueden combinar para formar cables de varios filamentos.

Ya con la fibra obtenida por cualquier método se pueden producir el geotextil.

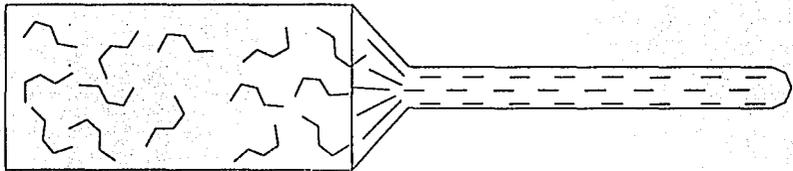


Dispositivos para la fabricación de filamentos de sección transversal plana o cilíndrica

Figura No. 1



Filamento sin estirar
cuyas cadenas moleculares están
sin orientación alguna



Filamento estirado
Sus cadenas moleculares se
Han orientado en una sola dirección

*Orientación molecular en filamentos a
consecuencia del estiramiento*

Figura No. 2

1.3 BREVES COMENTARIOS ACERCA DE LOS PAVIMENTOS CON GEOTEXTILES EN MÉXICO

La utilización de los geotextiles en la construcción de carreteras no ha sido lo extensa que se hubiera querido, sin embargo actualmente se está incluyendo el geotextil en tramos de carreteras de gran importancia y por todas partes del país. A pesar de esto podemos citar algunos de los primeros proyectos en los que se decidió utilizar y poner a prueba la eficacia y beneficios de los mismos. Uno de estos fue el Proyecto Lago de Texcoco.

La zona del lago de Texcoco presenta características desfavorables para la construcción de pavimentos. Esto debido a que las arcillas que abundan en este sitio tienen una muy baja resistencia al esfuerzo cortante. En la década de los años 70's debido a la necesidad de tener caminos en buen estado, se decidió experimentar el uso del geotextil para aumentar la resistencia del suelo. Con el fin de reducir la inversión inicial y por fines de conservación el proyecto contempló que se utilizarán diferentes tipos de geotextiles.

En el primer caso se decidió colocar el geotextil no tejido, punzonado, 100% poliéster. Para fines de comparar los resultados se analizaron dos terraplenes de prueba, uno con el geotextil dispuesto como se explicara y otro sin éste.

El geotextil fue colocado bajo el terraplén, ya que en ese entonces se consideraba que la utilización de un producto textil entre el terraplén y el suelo blando producía una membrana capaz de redistribuir los esfuerzos en la cimentación al transferir esfuerzos verticales hacia los extremos de la zona cargada, obteniendo una distribución que produciría un hundimiento más uniforme del cuerpo del terraplén con el que se lograría un mejor comportamiento. Hoy en día se ha confirmado que aunque sí existe una redistribución de los esfuerzos verticales, la contribución al mejor comportamiento del terraplén no es tanta como se creía.

El geotextil se colocó directamente sobre el suelo pero desafortunadamente no se realizó de forma inmediata la construcción de terraplén, con lo que se permitió un ligero crecimiento de vegetación, provocándose una inminente contaminación. A pesar de esto los terraplenes se construyeron y debido a que eran de prueba no fueron sometidos a ningún tipo de carga vehicular. Con el paso del tiempo y habiéndosele llevado un seguimiento se compararon los dos terraplenes y se obtuvo que presentaban hundimientos y deformaciones similares. Se pensó en un principio que esto era debido a la materia vegetal que quedó atrapada entre la cimentación y el geotextil, mas hoy en día basándose en conocimientos más amplios de los geotextiles, se considera que el comportamiento fue similar debido a que las deformaciones registradas fueron debidas exclusivamente a la consolidación del terreno de cimentación ejercida por el peso propio de los terraplenes, concluyendo que para observar beneficios del geotextil, debió de ser necesario someter el camino a las acciones dinámicas del tránsito vehicular.

A pesar de que los resultados obtenidos en los terraplenes de prueba no fueron lo alentadores que se hubieran esperado, años mas tarde, en 1979, se decidió colocar en un camino de acceso un geotextil no tejido termo fijado. Este camino fue sometido inmediatamente al tránsito vehicular y ha manifestado un

comportamiento favorable, requiriendo solo mantenimiento parcial. Durante 1987 a 1989 fue sometido a la circulación de un gran número de vehículos cargados sin haberse registrado daños aparentes.

Finalmente, en este proyecto se utilizó una malla de polietileno de alta densidad, en un camino de acceso que fue sometido a un intenso tránsito por algunos días. Después del tránsito de un considerable número de camiones cargados, un acceso falló con lo que se detuvo el experimento.

Aunque no se determinó el número último de ciclos de carga del camino con malla, se pudo concluir que con su utilización se reduce el espesor del material granular necesario para obtener un terraplén estable, en un 30% aproximadamente, para el mismo nivel de sollicitaciones.

Otro lugar donde se le dio uso a los geotextiles fue en Los Azufres, Michoacán, en las instalaciones de la CFE.

En la zona del camino de la CFE que comunica el campo geotérmico de Los Azufres, con la carretera Maravatio - Morelia, se construyó un tramo experimental mediante el uso de los geotextiles, con objeto de comparar el comportamiento de un pavimento con este tratamiento y el tradicionalmente utilizado.

El tramo experimental tiene una longitud de 180 metros alojados en la parte inicial del libramiento Jerécuaro; en este lugar se presentan problemas con el subsuelo debido a la proximidad del nivel de aguas freáticas, aunado a la elevación de la rasante, que se encuentra al nivel del terreno natural original y en algunos casos por debajo de éste.

La topografía del tramo experimental es sensiblemente plano con tan solo una pendiente menor de 1%; el terreno de cimentación y los predios vecinos están constituidos en su parte superior con una arena limosa color café oscuro, de baja plasticidad, poco húmeda, de consistencia media; el nivel freático se encuentra a profundidades que varían de 0.40 y 1.00 metros a partir de la superficie del camino.

El tramo de prueba se construyó con la siguiente estructuración:

- La sub-rasante fue constituida por arena limosa café claro, baja plasticidad, húmeda, de consistencia media.
- La sub-base fue hecha de 15 a 20 cm de espesor, formada por arena volcánica arcillosa, de baja plasticidad, húmeda, color rojizo (tipo tezontle), con bajo contenido de gravas y fragmentos chicos y medianos.
- La base hecha con un espesor de 15 a 20 cm, formada por grava y fragmentos chicos y medianos de andesitas alteradas e intemperizadas, empacadas en arcilla café claro de alta plasticidad.
- La superficie de rodamiento fue construida con dos riegos sucesivos de liga con asfalto rebajado y sello con basalto vesicular cribado a tamaño 3-A, previa impregnación de la base del pavimento con asfalto rebajado.
- El geotextil 100% poliéster, no tejido, punzonado y termo sellado se colocó entre la antigua carpeta asfáltica previamente barrida e impregnada de asfalto y la sobrecarpeta asfáltica.

A los tres meses de hecho el pavimento se efectuaron pruebas en las cuales no se detectaron cambios significativos de la base.

Al año y medio se realizó una inspección visual detallada y se encontró que los tramos reforzados con el geotextil trabajaban satisfactoriamente, mientras que los tramos sin refuerzo requerían de mantenimiento.

A los tres años se consideró que las deformaciones hasta ese entonces sufridas eran aceptables para las condiciones de servicio a que fue sometido el pavimento; mientras que en los tramos sin geotextil ya se requería de mantenimiento mayor y bacheo debido a las deformaciones.

En general, en estos proyectos que fueron los primeros realizados en México con geotextiles se obtuvieron buenos resultados, lo que permitió su utilización en obras posteriores, como la que a continuación se describe.

Se trata de un tramo de la autopista libre México - Pachuca, del Km. 23+640 al Km. 49+250. Esta vialidad es de gran importancia por su alto aforo vehicular, ya que junto con la Autopista de Cuota México - Pachuca son la única salida al noreste del Distrito Federal para los estados de México e Hidalgo.

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

El tramo por donde pasa la vialidad cruza una zona de planicie, representado principalmente por tobas básicas, brecha sedimentaria y en menor cantidad por depósitos aluviales de material limoso como relleno de los valles fluviales, presenta en algunas partes una capa de caliche y en algunos sitios existe una composición arcillo arenosa.

El tramo del proyecto se dividió en dos subtramos, en uno de los cuales los trabajos consistieron en la recuperación del pavimento existente y en el otro, los trabajos fueron de reforzamiento del pavimento existente con la colaboración de un geotextil. La geometría transversal de las secciones del pavimento se presenta en la figura No. 3.

El geotextil es de las siguientes características físicas:

Geotextil 100% poliéster, no tejido, punzonado y termo sellado.

Peso	140 gr./m. ²
Espesor	1.8 mm.
Resistencia a la tensión	667 / 555 N.
Estiramiento	78 / 85 %
Desgarre trapezoidal	244 / 222 N.
Resistencia a la perforación, punta hemisférica de 0.08 cm (5/16")	289 N.

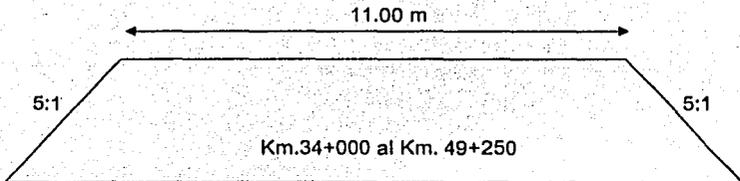
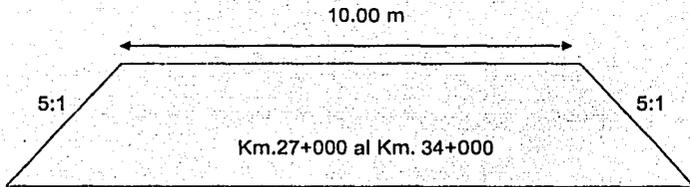
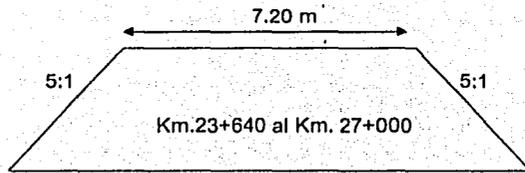
El proceso constructivo que se siguió en el refuerzo del pavimento consistió primeramente en realizar un barrido enérgico en toda la superficie de rodamiento, después se aplicó un riego de liga con producto asfáltico tipo FR-3 a una dosificación de 1.0 lts./m²; inmediatamente a éste trabajo se colocó la tela geotextil de las características antes mencionadas, se procedió a aplicar un riego de impregnación con producto asfáltico tipo FR-3 a razón de 0.3 lts./m².

Con el fin de evitar que el geotextil se adhiere a las llantas de los vehículos de pavimentación se le dio un tratamiento de poreo, finalmente se colocó una carpeta de concreto asfáltico y un riego de sello con material pétreo tipo A-3.

La carpeta fue de dos diferentes espesores, en un tramo resultó de 8 cm y en el otro fueron 2 carpetas de 6 y 5 cm dando un total de 11 cm; para la elaboración de ésta se utilizó cemento asfáltico No. 6.

Este pavimento se encuentra actualmente en funcionamiento y en general presenta buenos resultados acordes a los esperados con la utilización del geotextil.

Además de estos ejemplos existen otros casos más recientes del uso de los geotextiles en nuestro país. En aeropuertos son varios y de gran importancia en los que se ha utilizado geotextiles en las pistas, por ejemplo los aeropuertos de la Ciudad de México, Mazatlán, Guadalajara, entre otros. En suelos blandos también se ha visto su utilización, como por ejemplo en Minatitlán, Autopista La Tinaja - Cosoleacaque, etc.



Geometría transversal

Figura No. 3

CAPÍTULO 2

PROPIEDADES DE LOS GEOTEXTILES

Las propiedades que los geotextiles presenten serán indiscutiblemente de vital importancia para su funcionamiento así como para la determinación del tipo de geotextil a usar.

Las propiedades físicas, mecánicas, hidráulicas y de durabilidad describen el aspecto y comportamiento del geotextil. En la actualidad encontramos en el mercado una gran cantidad de geotextiles con las más variadas características y propiedades, pudiendo encontrar prácticamente todas las combinaciones posibles de propiedades para adecuarlos a la necesidad existente de alguna obra.

2.1 PROPIEDADES FÍSICAS

2.1.1 Peso específico

El peso específico del geotextil es una propiedad importante que se toma en cuenta para determinar el grado de dificultad que puede presentar la colocación en forma manual del producto. Su prueba se determina por los métodos ASTM D-1910 y ASTM D-3776, utilizada para comparar geotextiles entre sí. Las unidades en las que se expresa el peso específico de un geotextil es en gr./m² (gramos por metro cuadrado) y gr./ml (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.

Esta propiedad es muy importante y es además muy utilizada para comparar geotextiles entre sí, pues el costo es directamente proporcional al peso específico de éste, al igual que el costo de instalación. De esta manera un geotextil de peso específico mayor a otro tendrá un peso mayor en la misma área y por lo tanto estará constituido por más material, lo cual incrementará su costo de fabricación y adquisición; al incrementar el peso específico, el grado de dificultad en su colocación también aumentará debido a que el geotextil será más rígido y por lo tanto nos representará más dificultades para su colocación, esto obviamente se traduce en un mayor costo por concepto de colocación del geotextil.

Además cabe señalar que a mayor peso del geotextil éste tendrá una mayor resistencia producto de una mayor masa en menor área.

2.1.2 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. Al variar esta propiedad con la presión, cambia la distribución de aberturas, la capacidad filtrante, la permeabilidad, etc. El espesor es medido con una exactitud de una milésima de pulgada, 0.001 pulgadas (aproximadamente 0.20 milímetros), el método que se emplea para determinar el espesor del geotextil es el ASTM D-1777.

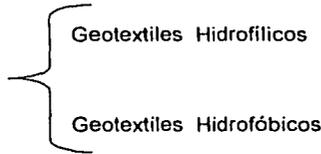
El espesor del geotextil es importante en el cálculo de otra propiedad de éste, por ejemplo, la determinación del coeficiente de permeabilidad que requiere el espesor del espécimen a través del cual ocurre el flujo. Esta es una propiedad importante

en la elección de un geotextil ya que como hemos visto, con esta propiedad se relacionan muchas características y factores de gran importancia para un adecuado uso de éste.

2.1.3 Absorción de agua

Esta propiedad se refiere a la cantidad de agua que el geotextil en su estructura es capaz de absorber, debido a la formación que tiene la misma.

De acuerdo a dicha característica podemos hacer la siguiente clasificación:



Los geotextiles hidrofilicos son aquellos que tienen en su estructura espacios o pequeñas cavidades en las que al estar en contacto con el agua, dicha estructura dará cabida a una cantidad de agua, por lo que se dice que este tipo de geotextiles son los que absorben agua.

Los geotextiles hidrofóbicos son aquellos que no presentan en su estructura ningún tipo de espacios o cavidades, eliminando al máximo que se aloje agua dentro de su estructura, por lo que se dice que estos geotextiles son los que rechazan el agua.

Esta propiedad resulta de gran importancia cuando se desee que en la aplicación que se le vaya a dar al geotextil, se retenga o no la humedad; dependiendo de la obra que se esté realizando se tendrá la opción de seleccionar el geotextil que convenga para los fines deseados.

2.1.4 Textura

Esta propiedad se refiere a la disposición y orden de los hilos en el geotextil; a si es efectivamente tejido o no y en general al aspecto que presenta el geotextil; los geotextiles pueden presentar una textura rugosa, lisa, planchada, etc.; dependiendo de su proceso de fabricación, es decir ya sea tejido, no tejido ó termosellado.

Esta propiedad está directamente en función con otras, como por ejemplo la absorción de agua, ya que al tener el geotextil una textura más rugosa, es decir una superficie más imperfecta, ésta facilitará el alojamiento de agua en su estructura y por lo tanto la absorción de agua será mayor que en el caso de un geotextil que presenta una estructura lisa, evitando el alojamiento de agua en su estructura en cuyo caso la absorción de agua es mucho menor que en el caso anterior.

2.1.5 Retención de asfalto

Esta propiedad se refiere a la cantidad de asfalto que el geotextil es capaz de retener en su estructura y que se necesita por unidad de área para adherirlo al proporcionar una capa impermeable como protección del talud o terraplén según sea el caso.

Esta propiedad es de vital importancia en un geotextil, ya que de ella depende en gran medida el éxito o fracaso de la obra; si no se considera adecuadamente la retención de asfalto puede darse una mala adherencia del geotextil con la demás estructura y ésta ya no desempeñaría de manera eficaz la función para la cual fue diseñada.

La cantidad de asfalto que el geotextil retiene es indicada en las especificaciones que el fabricante proporciona a sus clientes, aunque también se puede obtener mediante la práctica de pruebas directas de laboratorio.

2.2 PROPIEDADES MECÁNICAS

2.2.1 Resistencia a la tracción, "Grab" (desgarramiento)

La propiedad conocida comúnmente como resistencia de Grab, se refiere a que al someter un geotextil a un esfuerzo de tracción, éste presentará una resistencia a ser deformado, la cual se manifiesta mediante una tensión que se desarrolla en el mismo plano del geotextil. La resistencia a la tracción se reporta en el punto de ruptura.

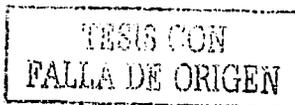
Esta resistencia se puede medir mediante una prueba de resistencia usada comúnmente en textiles con los métodos D-1682 y D-751 de la ASTM. Pero también existe una prueba especialmente hecha para geotextiles que es la D-4632, en la cual la ruptura se lleva a cabo en más tiempo que en las pruebas típicas para textiles, permitiendo que las fibras se alinien en el sentido de la tracción, como sucedería en un caso real al estar sometido el geotextil a la aplicación geotécnica.

Se utiliza un espécimen de 4 pulgadas de ancho sujetado al centro con una mordaza de una pulgada de ancho, por lo que existe contribución de un porcentaje de las fibras laterales a la resistencia total.

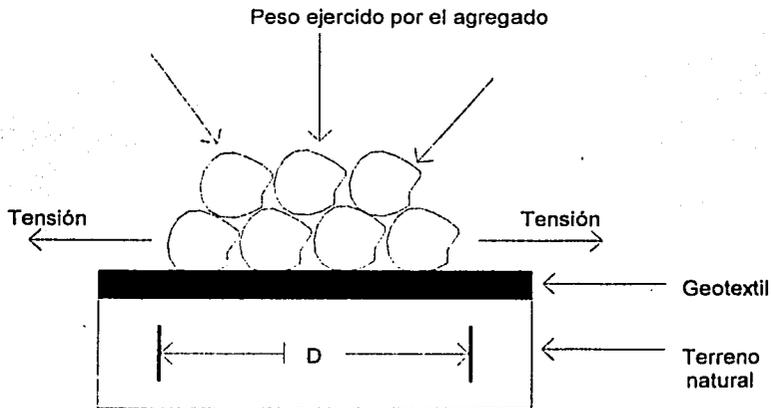
Existe cierto paralelismo entre la forma de ensayar la tela y lo que físicamente le sucede a dicho material cuando se extiende agregado pétreo sobre él como se muestra en la figura No. 4

Esta prueba se emplea para comparar los daños por instalación teóricos, contra la resistencia del geotextil contemplado en el proyecto y también para tener un control de la calidad.

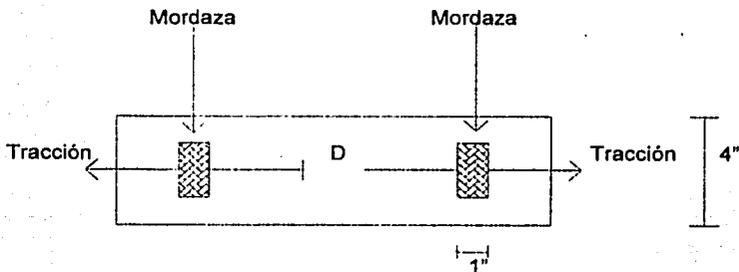
La relación esfuerzo - deformación que generalmente presenta un geotextil se muestra en la figura No. 5, en donde la resistencia a la tensión es el máximo esfuerzo que soporta la muestra de geotextil.



Aquí aparece otro concepto importante que es el módulo de Grab, este módulo de deformación influye en la capacidad de soporte del geotextil. El módulo de Grab es la pendiente inicial de la curva que se observa en la figura No. 5

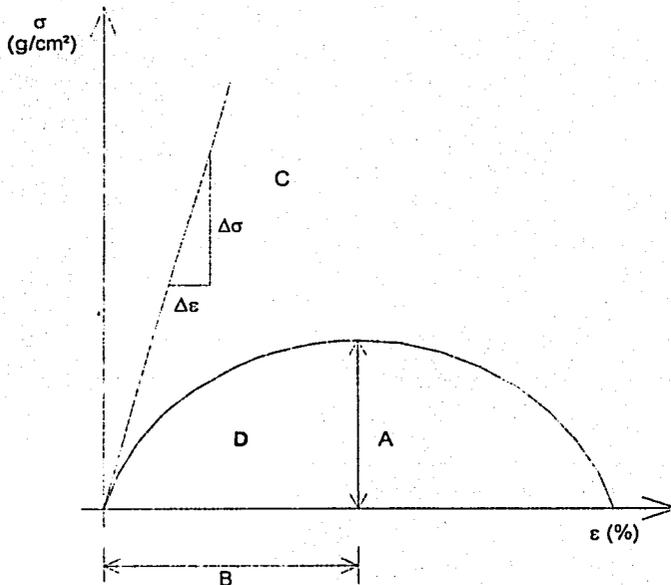


D = Longitud de la deformación producida por la acción del material pétreo
 (a) Caso Real



(b) Ensayo "Grab"

Figura No. 4



A = Resistencia ultima

B = Elongación

C = Modulo de Grab = $\frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$

D = Tenacidad

ϵ = Deformación en porcentaje

σ = Esfuerzo resistente en g/cm²

*Curva Esfuerzo – Deformación
Prueba de resistencia a la tensión de Grab*

Figura No. 5

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.2.2 Fricción

La capacidad del geotextil para proporcionar un esfuerzo significativo dentro del arreglo, depende de la fricción que se desarrolla entre la superficie y el resto de los materiales geotécnicos que se emplean en conjunto con este.

La ASTM tiene la prueba D-334 para determinar la fricción.

Comparado la eficiencia de varios tipos de geotextiles para retardar la reflexión de grietas en pavimentos asfálticos, se concluyó que los geotextiles con un coeficiente de fricción mayor retardaban más la falla. También se ha observado que debido a la baja fricción que se presentaba dentro del sistema, éste proporcionaba un deslizamiento en su frontera con el pavimento y por lo tanto no se aprovechaba satisfactoriamente su alto coeficiente de tensión por lo que el sistema fallará por deslizamiento.

Para determinar esta propiedad se realizan pruebas directas a los geotextiles junto con los materiales pétreos que se vayan a emplear.

2.2.2.1 Coeficiente de fricción suelo – geotextil

Existen diferentes métodos que son adaptaciones de la prueba de esfuerzo cortante empleada en geotecnia, modificada para fijar el geotextil al arreglo.

Esta prueba se puede modificar, para colocar dos suelos representativos de la situación real que se desea modelar y determinar la resistencia al deslizamiento por medio de la aplicación de una fuerza al geotextil para tratar de sacarlo de su lugar.

Frecuentemente con el resultado de esta prueba, comparando con las propiedades del suelo, se obtienen eficiencias en cohesión y ángulo de fricción, siendo los parámetros del suelo los límites máximos para el sistema suelo – geotextil.

2.2.3 Resistencia a la abrasión

La resistencia a la abrasión que presenta un geotextil se entiende como la resistencia a la fricción a largo plazo. Este concepto es de gran importancia para la prevención de la formación de oquedades en el geotextil producidas a largo plazo por estar en contacto con el agregado.

Para determinar esta propiedad la ASTM utiliza su prueba D-1175, consistente en aplicar una carga dinámica sobre un agregado que a su vez está colocado sobre un geotextil, para posteriormente evaluar el peso del material expulsado por el efecto de la fricción entre una superficie y otra. Este método se presenta en la figura No. 6. Se trata de dos muestras, una con geotextil y otras sin éste. En el que se simula el efecto del transito por medio de un peso rodante. Se aplica durante un tiempo equivalente al real que se pretende analizar y se comparan los resultados de las dos muestras.

2.2.4 Resistencia a la perforación (punzonamiento)

Esta propiedad es la resistencia que el geotextil opone a que un material extraño penetre su estructura.

La prueba D-751 de ASTM establece un método que consiste en incrustar una varilla de 5/16 de pulgada de radio, en una muestra de geotextil que está colocada en un molde de 1 ¾ pulgadas. Esta prueba se presenta en la figura No. 7.

2.2.5 Elongación

La elongación se refiere al alargamiento del geotextil sometido a una acción producida por diferentes causas.

2.2.5.1 Elongación aparente o elongación Grab

Este concepto determina de forma paralela la carga que ocasiona la ruptura en el geotextil, es decir la resistencia a la tracción Grab.

Esta propiedad corresponde al incremento de la longitud en el punto de ruptura del geotextil. Se expresa en porcentaje de la longitud original de la muestra. Esta propiedad se relaciona con la resistencia a los daños que se ocasionan en el geotextil por efecto de instalación, pues la elongación es otro de los componentes que produce el geotextil como respuesta a la aplicación de un esfuerzo de tracción.

La ASTM tiene el método D-1682 y el D-4632. Mediante el uso de extensómetros se determina el incremento de longitud al punto de ruptura. Esta propiedad en combinación con la resistencia a la tracción del material, da la resistencia total combinada en los casos en que las sollicitaciones mecánicas impuestas al geotextil se manifiestan mediante tensiones.

2.2.5.2 Elongación a largo plazo, con carga estática

Esta propiedad es muy importante para el caso en que el uso que se le desea dar al geotextil es el de refuerzo. Mediante el uso de ensayos preliminares bajo condiciones de presión de confinamiento, muestran un mejoramiento del desempeño para geotextiles entrelazados mecánicamente y termo sellados. Por este concepto es necesario considerar factores de seguridad adecuados al tipo de geotextil.

El método consiste en fijar cargas estáticas en muestras anchas del geotextil, correspondientes a las cargas que causan elongaciones diversas en ensayos de tensión normales, se obtienen registros de las elongaciones obtenidas a diferentes lapsos de observación. Los resultados obtenidos se consideran meros índices.

2.2.6 Resistencia al rasgado

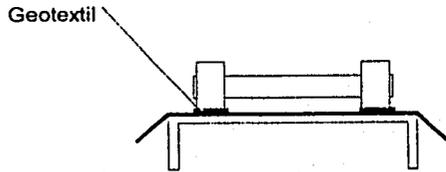
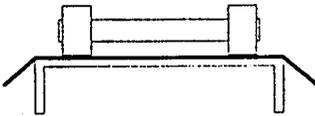
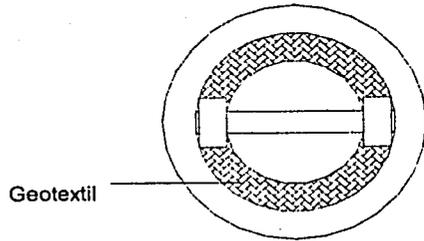
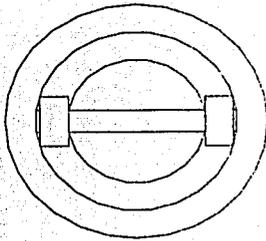
Se considera como la fuerza requerida para evitar la propagación de la ruptura de algunas fibras geotextiles.

El método de prueba generalmente usado es el D-4533 y el D-2263 de la ASTM, el cual consiste en insertar una muestra trapezoidal de geotextil en una maquina 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. Este método se ilustra en la figura No. 8.

2.2.7 Isotropía

Se refiere a que si el geotextil presenta respecto a alguna propiedad determinada direcciones privilegiadas.

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 el 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 a diseñar sistemas de tierra reforzada, donde el esfuerzo que proporciona el geotextil es unidireccional y por lo tanto es importante señalar, de acuerdo a las propiedades del refuerzo, cual de sus lados será el que absorba el empuje de la tierra.



Caso 1

Aplicación de la carga en el agregado sin geotextil

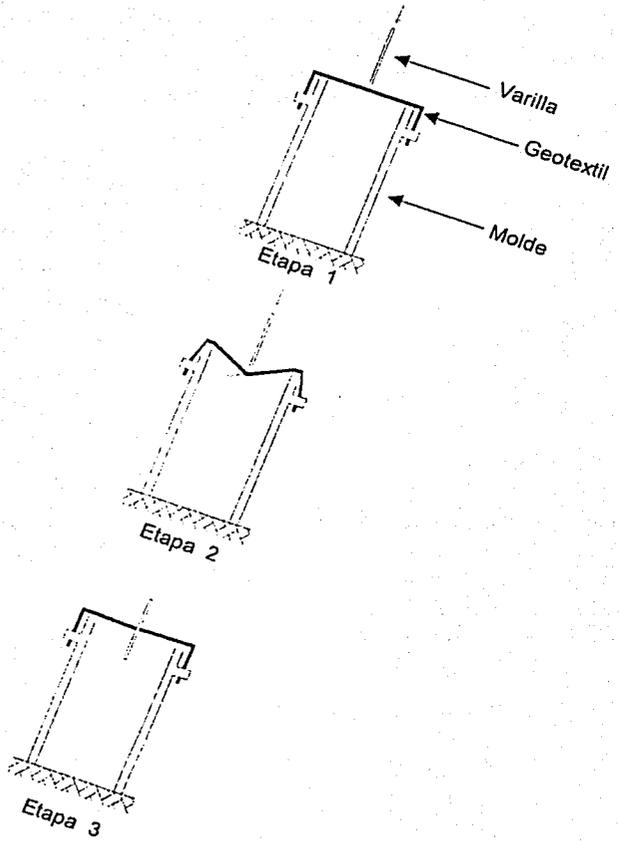
Caso 2

Aplicación de la carga en el agregado con geotextil

Prueba de resistencia a la abrasión

Figura No. 6

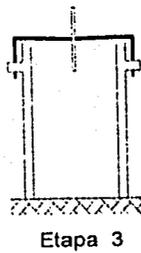
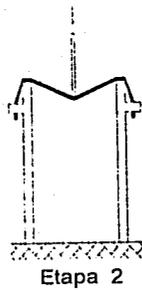
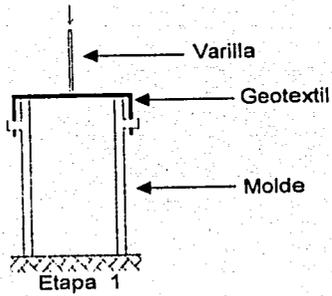
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Prueba de resistencia al punzonamiento

Figura No. 7

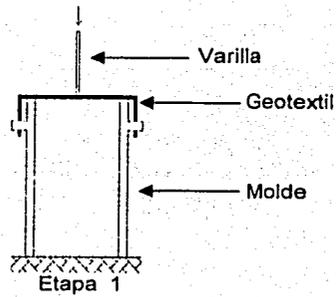
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Prueba de resistencia al punzonamiento

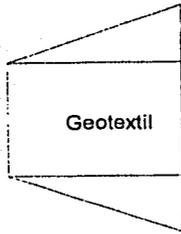
Figura No. 7

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

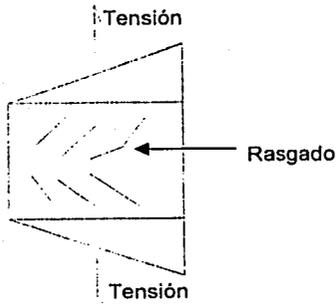


Prueba de resistencia al punzonamiento

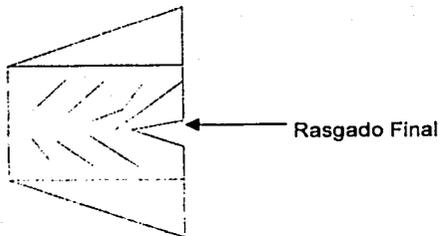
Figura No. 7



Paso 1



Paso 2



Paso 3

Prueba de resistencia al rasgado

Figura No. 8

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.3 PROPIEDADES HIDRÁULICAS

2.3.1 Permeabilidad

Esta propiedad se determina como la calidad que tiene el geotextil para ser penetrado por el agua u otro fluido.

La permeabilidad se determina de manera similar al caso de los agregados.

Esta prueba se realiza tomando una muestra de geotextil, la cual se coloca en una base y se acomoda con un tubo de cuatro y media pulgadas de diámetro en la parte superior. A continuación se hace pasar el agua por la parte superior del tubo donde fluye hacia abajo a través de la membrana y fuera del sistema. Se realizan tres pruebas con cargas constantes de 3", 12" y 36" de agua. Los datos se grafican de la manera normal que se hace con los suelos para obtener la permeabilidad, obteniéndose en cm/seg.

De esta manera se designa a K_n como el coeficiente de permeabilidad transversal y K_p como el coeficiente de permeabilidad en el plano del geotextil.

En la figura no. 9 se muestran los dos tipos de flujo que se consideran en los geotextiles: el flujo normal y el flujo a través del plano del geotextil.

2.3.2 Permeabilidad transversal (permisibilidad)

Esta propiedad 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 la dirección normal a través del geotextil.

Esta propiedad está directamente relacionada con la filtración, que se utiliza en ecuaciones de diseño por función. 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 conocida condición de suficiente permeabilidad.

Existen diversos criterios al respecto, siendo el más común el que requiere que k del geotextil sea mayor que la k del suelo. Existe otro criterio que designa factores de corrección a la k del geotextil, de acuerdo al riesgo correspondiente al tipo de sistema diseñado, ya sea en el dren de una carretera, de una presa, etc.

Generalmente se determina por el método D-4491-85 de la ASTM, pudiendo optar por el ensaye de carga constante o el de carga variable. En la primera opción, se verifica que exista flujo laminar.

Los aparatos para la determinación difieren de los permeámetros utilizados para los suelos. El método de carga constante se emplea en caso de tener flujos muy altos.

Las determinaciones se efectúan midiendo el flujo a través del geotextil, calculando la permisibilidad, en la que se encuentra implícito el espesor del material.

2.3.3 Relación de gradientes

La relación de gradientes tiene por objeto determinar el gradiente hidráulico que genera el geotextil más una pulgada de suelo que se encuentra sobre éste, comparándose contra el correspondiente gradiente que generan dos pulgadas del mismo suelo colocados arriba del arreglo del suelo que se encuentra sobre el geotextil. Es decir se coloca un espesor total de 7.62 cm del suelo real del proyecto en cuestión. La prueba se realiza con un permeámetro de carga constante y el geotextil se sujeta 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.

Esta prueba se modela con las condiciones aplicables de suelo, carga hidráulica, geotextil y gradiente hidráulico de un proyecto específico. También puede utilizarse un suelo tipo que sea fácilmente obtenible y mezclado con otro en el laboratorio.

Modela el posible problema de inclusión total de los poros de un geotextil, con el efecto correspondiente del cese del flujo a través de él.

El método se designa con la prueba CW-02215 del Cuerpo de Ingenieros.

En la figura No. 10 se muestra el arreglo para la determinación de la relación de gradientes.

2.3.4 Tamaño de abertura aparente

El tamaño de abertura aparente (AOS) es una propiedad que tiene relación con el filtrado de partículas de suelo por medio de la estructura del geotextil.

Es un índice del diámetro de los canales más largos que están abiertos entre una y otra cara del geotextil. Se utilizan pruebas en las que mediante la utilización de 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.

Existe otro método de determinación, el cual se efectúa con un equipo del tipo empleado para determinar la granulometría de los agregados. Este método es el D-4751-87 de la ASTM, en el cual se fija el geotextil entre dos cernidores que no tienen malla fina en su fondo, y sobre él se coloca un peso conocido de esferas de vidrio calibradas a un determinado tamaño estándar, sometiendo este arreglo a 10 minutos 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.

El equipo para la determinación del tamaño de apertura aparente se muestra en la figura No. 11.

La importancia de esta prueba es la relación que se encuentra con la filtración de partículas de suelo que logran pasar a través de la estructura del geotextil.

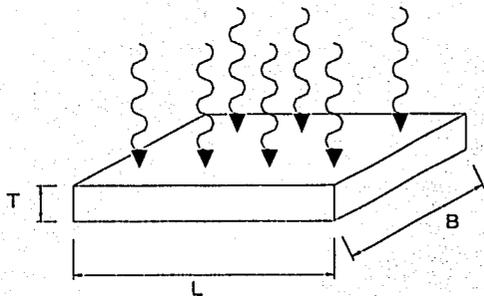
Prácticamente todos los criterios de filtración hacen uso de esta variable, así:

➤ Criterio "Grupo de trabajo 25"

- Para suelos con contenido de partículas que pasan la malla # 200, hasta 50%, el filtro geotextil debe cumplir que:
AOS \geq malla # 30 (0.6 mm)
- Para suelos donde dicho porcentaje es mayor a 50%
AOS \geq malla # 50(0.3 mm)

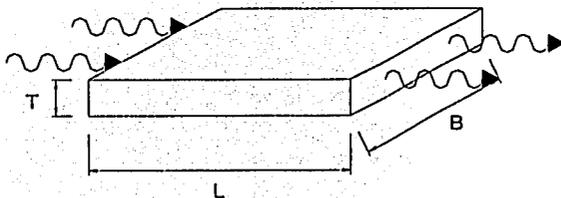
2.3.5 Resistencia a la tubificación

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



L = Longitud
B = Ancho
T = Espesor

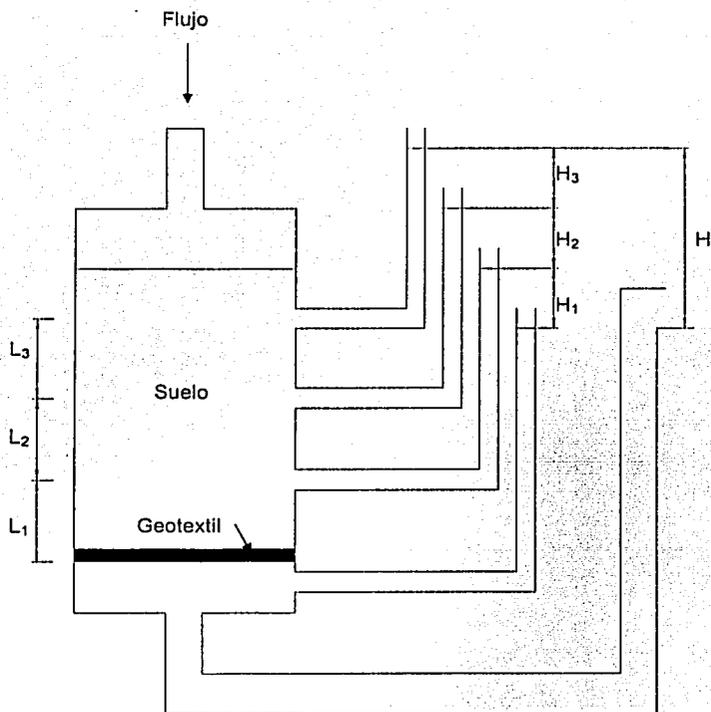
Flujo normal al plano



Flujo en el plano

Flujo en geotextiles

Figura No. 9



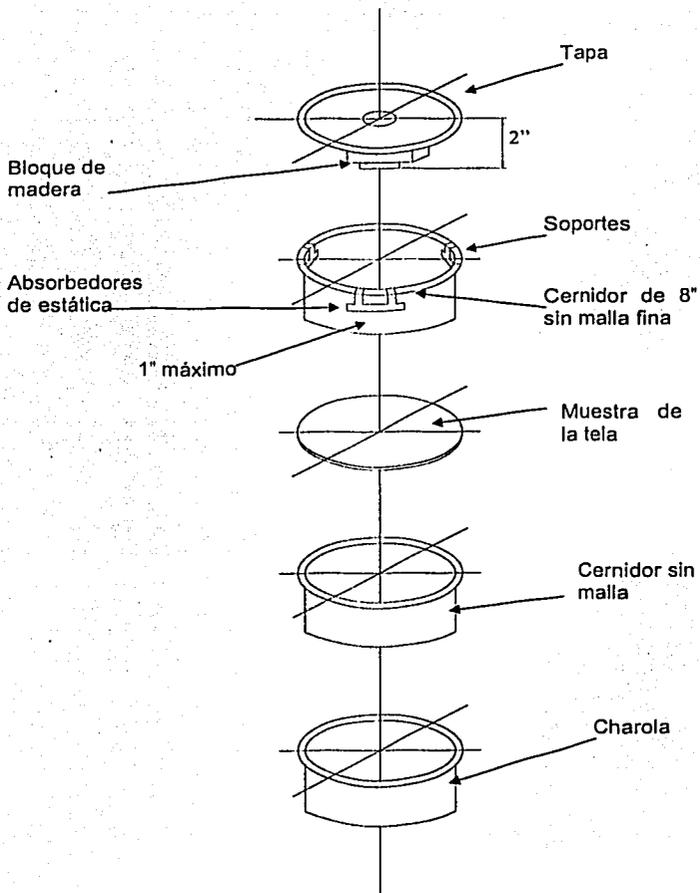
$$L_1 = L_2 = L_3 = 2.54 \text{ cm}$$

$$L_1 + L_2 + L_3 = 7.62 \text{ cm}$$

$$\text{Relación de gradientes} = \frac{\frac{H_1}{L_1}}{\frac{H_2 + H_3}{L_2 + L_3}}$$

Arreglo para la determinación de la relación de gradientes

Figura No. 10



Equipo para la determinación del tamaño de abertura aparente de los geotextiles

Figura No. 11

2.4 PROPIEDADES DE DURABILIDAD

De gran importancia son estas propiedades para todos los productos, ya que en función de estos está la vida útil del producto, en este caso el geotextil. Los geotextiles por estar en contacto directo con suelos, son muchos los agentes dañinos que atacan su estructura, por lo que un geotextil deberá presentar propiedades que garanticen su durabilidad ante el ataque de cualquier agente dañino.

2.4.1 A los agentes biológicos

Esta propiedad afecta directamente a la resistencia que presenta el geotextil al reventamiento, ya que los agentes biológicos debilitan la estructura de éste.

Por esto el Consejo de Investigación Nacional de Canadá, desarrolló un método para estimar el grado de afectación por causa de los agentes biológicos, el cual consiste en enterrar muestras de geotextiles en el suelo, después se extrae el material a intervalos de tres meses y se aplica la prueba de resistencia al reventamiento (D-774 de la ASTM) para así determinar el grado de deterioro por el efecto de los agentes biológicos.

2.4.2 Al calor

Debido a la orientación de las cadenas moleculares en los filamentos procesados, al someter al geotextil a temperaturas cercanas a su temperatura de ablandamiento, se afecta en forma definitiva la resistencia mecánica del geotextil, es por eso que se recomienda que al aplicar un producto caliente sobre el geotextil como lo es el cemento asfáltico, 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 geotextil.

La ASTM tiene una prueba donde se somete al geotextil a altas temperaturas en un horno, ésta es la D-794.

2.4.3 A los agentes químicos

El método de la ASTM D-543 denominado "Resistencia de los plásticos a los agentes o reactivos químicos", es un procedimiento para determinar los cambios en el peso, dimensiones, apariencia y resistencia. En el método se maneja 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.

2.4.4 Al intemperismo

Esta es una prueba comparativa que depende del clima, época del año, condiciones atmosféricas, etc. y como tal solo da 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 necesario vigilar que no sean expuestos al sol por periodos muy prolongados.

Todos los geotextiles 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 parte de los rayos ultravioleta, por lo que al trabajar con geotextiles de este 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 absorbentes de la radiación.

La ASTM en su método 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 más factores.

2.5 VARIEDADES DE GEOTEXTILES

Los geotextiles son básicamente de acuerdo a su proceso de fabricación geotextiles tejidos y geotextiles no tejidos, según lo cual tendrán diferencias en sus propiedades anteriormente vistas.

2.5.1 Geotextiles tejidos

Estos son los que en su proceso de fabricación se realizó un tramado o tejido de las fibras o hilos que lo componen por medio de algún mecanismo.

Los elementos individuales se entrelazan en disposición geométrica regular, perpendicularmente unos con respecto a otros.

La producción de este tipo de geotextil es de manera convencional en una máquina textil y en una gran variedad de tejidos. Estas variaciones en el tejido tienen influencia directa y de manera importante en las propiedades físicas y mecánicas del geotextil.

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

Existe movimiento relativo entre fibras. Pueden ser productos con apariencia de felpa, gruesos, con modulo de tensión intermedio en los grados de peso intermedio. Puede fabricarse isotrópicos o anisotrópicos.

2.5.1.1 Proceso de fabricación

La fabricación de los geotextiles tejidos, como se dijo, se realiza en una máquina que tiene un funcionamiento semejante a las empleadas en la industria textil. En el proceso de producción una lengüeta de la máquina levanta las fibras para permitir a la lanzadera insertar las fibras de hilo, después de esto, la lengüeta desciende encerrando a las fibras de hilo. La lengüeta se vuelve a levantar y el proceso cumple de nuevo un ciclo, la acción consecutiva de estos ciclos va formando la trama o tejido del geotextil.

La materia prima que se utiliza en la fabricación de geotextiles tejidos, son los polímeros como el polipropileno, el poliéster o el polietileno, y se pueden presentar en forma de monofilamentos, multifilamentos o cintas planas.

Algunas veces se les imparte un acabado de impregnación de resinas de tipo acrílico, que aumenta la resistencia a la tensión, el modulo de resistencia a la perforación, reduce la elongación y la resistencia al rasgado, debiendo aplicar un secado especial para restablecer la permeabilidad.

En la figura No. 12 se presenta la máquina de fabricación de geotextiles tejidos.

2.5.2 Geotextiles no tejidos

Los geotextiles no tejidos presentan un proceso de fabricación muy diferente al de los tejidos. Los filamentos se orientan en forma irregular, distribuyéndose en todos los sentidos.

En estos geotextiles no existe un movimiento relativo entre fibras. En general son productos ligeros de espesor reducido, con módulo de tensión intermedio y prácticamente isotrópicos, su peso por unidad de área es promedio, por la falta de homogeneidad total en la distribución de la fibra. Este tipo de geotextil presenta una amplia variedad de tamaños de abertura que es necesario medir por métodos indirectos.

2.5.2.1 Proceso de fabricación

El proceso de fabricación de este tipo de geotextiles incluye cuatro diferentes pasos básicos que son:

- Preparación de la fibra
- Formación del velo
- Ligado del velo
- Post-tratamiento

Las fibras obtenidas mediante el spineret se estiran para adelgazarlas, luego se dejan enfriar y se extienden sobre una mesa formando un velo continuo, es en esta parte del proceso en donde se le puede dar el acabado final de la fibra por varias maneras:

- Rotación del spineret
- Descargas eléctricas
- Introducción de corrientes de aire controladas
- Variando la velocidad de la banda transportadora

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

En la figura No. 13 y 14 se presenta un esquema general de la fabricación de los geotextiles no tejidos.

El proceso de unión de los filamentos se puede hacer por métodos como el termo fundido o termo fijado, por medio de resinas y mediante el punzonado.

2.5.2.1.1 Proceso de termo fundido o termo fijado

En este proceso los filamentos son orientados en forma irregular, distribuyéndose en todos los sentidos. El velo generalmente compuesto de filamentos continuos, se funden el uno sobre el otro, para soldar sus puntos de cruce; su unión por fusión se realiza pasando el material entre rodillos calientes, proceso que se denomina Calandreo y que se muestra en la figura No. 15, logrando así la unión de las fibras. La fibra que resulta es dura y compacta en apariencia. Con este proceso se logran obtener fibras de alta resistencia y de menores pesos volumétricos que aquellos producidos por el simple punzonado, debido precisamente a la unión de las fibras utilizadas en este proceso.

La materia prima que se utiliza en la fabricación de estos geotextiles son los 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 requieran dar al geotextil. En la actualidad existen dos tipos de termo fundidos.

- Homófilos
- Heterófilos

Los homófilos son aquellos en los que 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.

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

2.5.2.1.2 Proceso por medio de resinas

El velo se rocla y 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 estructura.

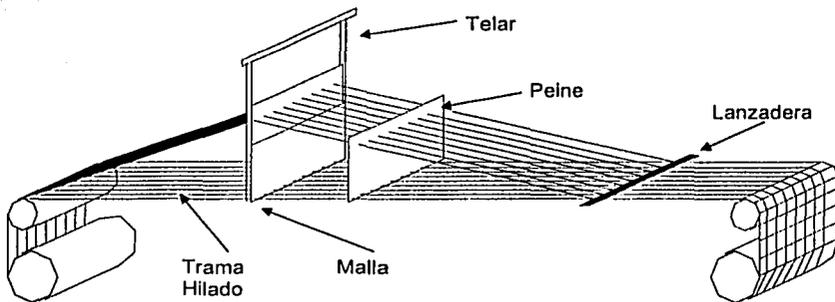
2.5.2.1.3 Proceso de punzonado

El velo se introduce en una máquina equipada con grupos de agujas de un tipo especial. Estas agujas son de 7.5 centímetros de longitud y tienen 3 ó 4 salientes o barras, las cuales enredan mecánicamente a las fibras. Las agujas las atraviesan una y otra vez, por medio de la 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. En este proceso se pueden utilizar filamentos continuos o fibras cortadas de 0.15 m de longitud. Los materiales más utilizados en este proceso son el polipropileno y el poliéster. Se ilustra en la figura No. 16.

En los geotextiles obtenidos mediante este proceso se tiene un movimiento relativo entre las fibras. Son productos con apariencia de felpa, de espesor grueso. Se pueden fabricar isotrópicos o anisotrópicos. Su peso volumétrico es promedio. Sus tramos de abertura también se miden por métodos indirectos, con la diferencia de que sus resultados se obtienen con mayor imprecisión que en los geotextiles termo sellados. Su espesor y permeabilidad varían con la presión.

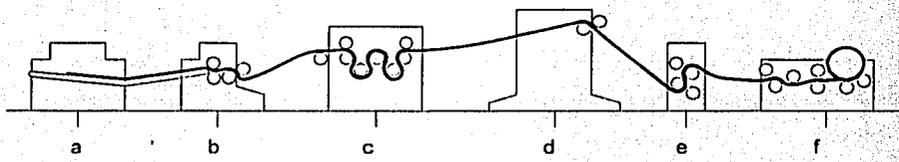
El proceso de punzonado se usa generalmente para producir geotextiles que tengan alta densidad y que retengan una gran cantidad de granos de suelo. Debe hacerse notar que la industria textil ha alcanzado tal madurez y sofisticación que puede producir todo tipo de tramas y de tejidos a la medida de las necesidades que la obra de Ingeniería Civil tenga.

Dependiendo del tipo de materiales y procesos de fabricación se pueden obtener una variedad muy extensa de geotextiles con una combinación de propiedades muy diferentes. Por ejemplo se pueden obtener geotextiles muy ligeros u otros muy pesados, así como algunos de baja resistencia y otros de gran resistencia a la tensión, dependiendo de las necesidades.



Fabricación de los geotextiles tejidos

Figura No. 12

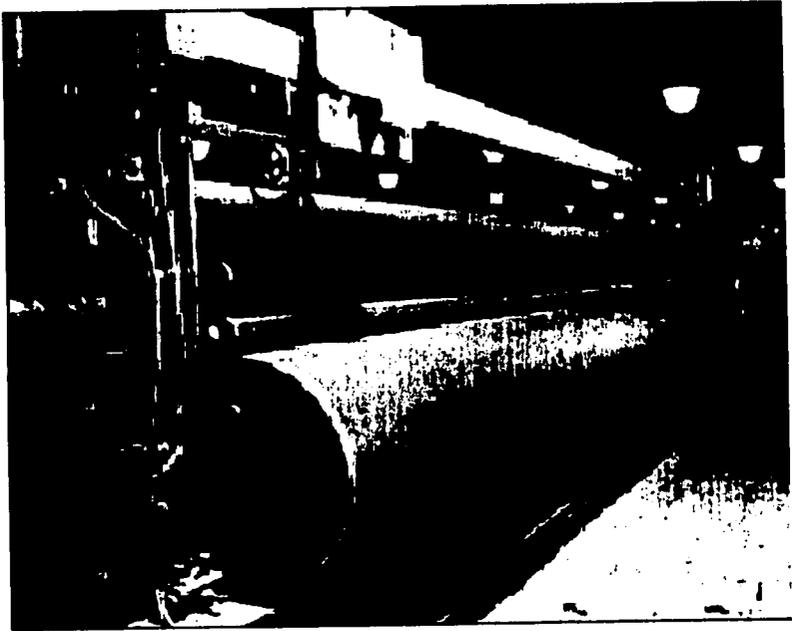


- a - Laminador
- b - Tacker
- c - Estiradora
- d - Punzonadora final
- e - Enrolladora

Fabricación de los geotextiles no tejidos

Figura No. 13

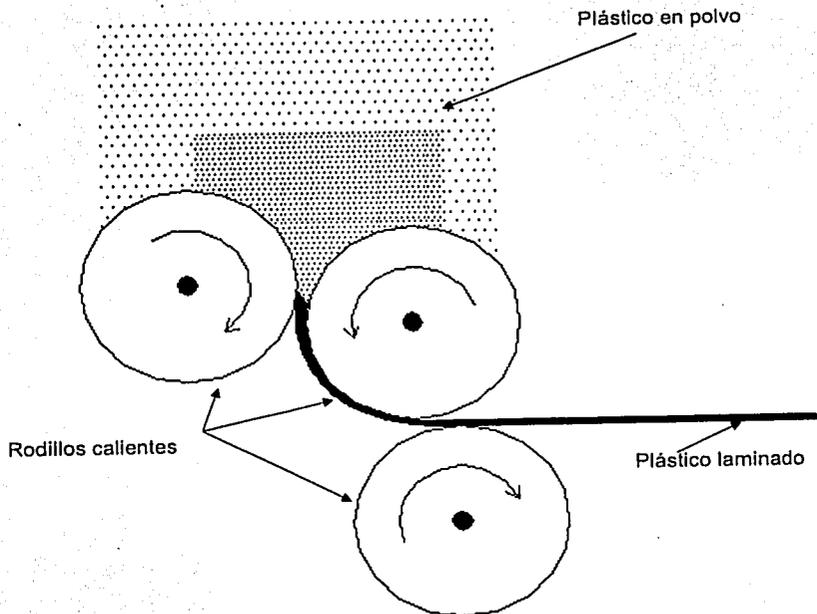
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fabricación de los geotextiles no tejidos

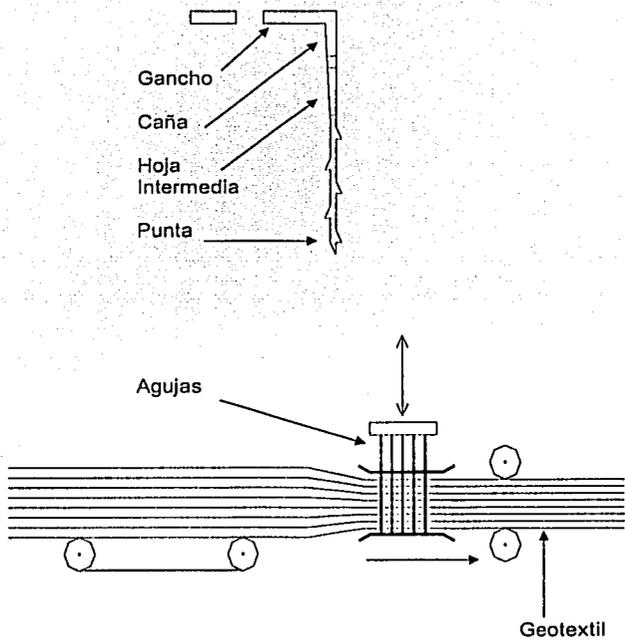
Figura No. 14



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fabricación del geotextil por el proceso de calandreo

Figura No. 15



Proceso de punzonado

Figura No. 16

2.6 PRUEBAS DE LABORATORIO

Diferentes organizaciones han desarrollado diferentes pruebas y normas para los geotextiles sin embargo las de mas prestigio y uso son las elaboradas por la ASTM y la AASHTO

2.6.1 ASTM

La organización llamada American Society for Testing and Materials fue fundada en el año de 1898 y es la mayor organización en el mundo en desarrollar estándares para una enorme diversidad de materiales.

ASTM desarrolla métodos de ensaye, especificaciones, guías, clasificaciones y terminologías en 130 áreas tales como metales, pinturas, plásticos, textiles, petróleo, construcción, energía, etc. Mas de 10,000 normas ASTM son publicadas cada año en el libro anual de la ASTM.

Facilitando de este modo el comercio internacional al estandarizar los materiales.

Las normas ASTM son ante todo documentos donde se establece los principios y requerimientos que deberá de cumplir cualquier material documentado. (incluyendo Geotextiles).

Cabe mencionar que estas Normas son mundialmente aceptadas.

La ASTM se compone de más de 132 comités técnicos quienes producen y revisan los cerca de 9,100 estándares de la American Society for Testing Materials (ASTM) cuya imagen completa se encuentra en su base de datos. Contienen métodos de prueba, definiciones de materiales, productos sistemas y servicios, prácticas, clasificaciones y guías.

2.6.2 AASHTO

La AASHTO (American Association of Highway and Transportation Officials) es una asociación no lucrativa, sin afiliación representada en los departamentos de carretera y del transporte en los 50 estados, el distrito de Colombia y Puerto Rico. Representa los cinco modos del transporte: aire, carreteras, transporte público, ferrocarril y agua. Su meta fundamental es fomentar el desarrollo, la operación y el mantenimiento de un sistema nacional integrado del transporte.

Mucho del trabajo de AASHTO es hecho por los comités compuestos por personal de los departamentos que sirven voluntariamente. La asociación proporciona un foro para la consideración de las ediciones del transporte, y es invitada con frecuencia por El Congreso de USA para conducir inspecciones, para proporcionar datos y para atestiguar en la legislación del transporte.

CAPÍTULO 3

VALORACIÓN DEL USO DE GEOTEXTILES

3.1 PRINCIPALES DEFECTOS A PREVENIR O CORREGIR EN UN PAVIMENTO ASFÁLTICO

Una de las causas principales de la falla de los pavimentos y caminos construidos sobre suelos blandos, es la contaminación de la base de agregado y la pérdida resultante en la resistencia del mismo. Cuando se coloca agregado sobre una subrasante, la capa inferior se contamina con tierra. Con el tiempo, la carga y la vibración del tránsito va hundiendo el agregado del pavimento en la tierra, causando la migración hacia arriba del limo y la arcilla. En sitios húmedos, el tránsito durante la construcción causa el bombeo de los finos de las subrasantes débiles hacia la capa de agregado. Todas estas condiciones disminuyen el espesor efectivo del agregado destruyendo, de esta forma, el apoyo del camino y reduciendo su rendimiento y vida útil. Ver figura No. 17.



Pavimento deteriorado

Figura No. 17

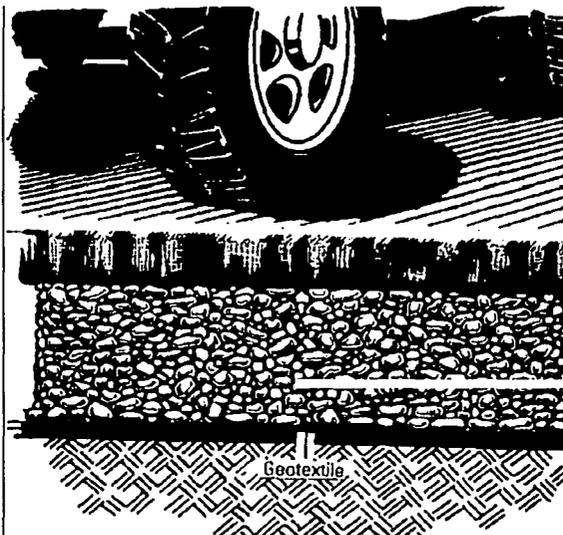
El criterio de la AASHO (American Association of States Highway Officials) para definir el concepto de falla es que ésta es la condición que se presenta en un pavimento cuando éste llega a perder las características de servicio para las que fue diseñado.

Además contamos con el concepto de Índice de Servicio Actual que representa la capacidad del pavimento para dar servicio al tránsito en un momento dado.

El Índice de Servicio Actual y la Calificación Actual son numéricamente iguales y se estima en función del estado físico de la superficie de rodamiento, la que los técnicos califican de acuerdo a los baches, deformaciones y grietas que presente, o bien con la opinión de los usuarios.

Este índice se califica en escala de 0 a 5 y se acepta que en caminos de primer orden este valor sea de 3.0 a 2.5 (nivel de rechazo) para considerárseles en condiciones aceptables; en caminos secundarios ésta condición se tiene con calificación de 2.

La mayor parte de la tecnología que la Ingeniería en su rama de los pavimentos ha desarrollado, tiene por objeto evitar la aparición de todo tipo de fallas y deterioros (ver figura No. 18.), lo que ha permitido todo un conjunto de normas de criterios de diseño y conservación, que son una herramienta importante para cualquier Ingeniero.



Pavimento con geotextil en perfectas condiciones

Figura No. 18

Las fallas en los pavimentos las originan las acciones que ejercen directa o indirectamente sobre ellos los siguientes factores:

- a) La repetición de cargas
- b) Los agentes del clima
- c) Calidad de los materiales

Las fallas pueden tener su origen en el terreno de cimentación, en las terracerías, en las obras de drenaje o en los elementos constitutivos del propio pavimento.

La identificación de una falla consiste en definir su tipo y causa que la ha producido, a veces es relativamente sencillo, en otros casos puede requerirse llevar a cabo un reconocimiento completo de la zona fallada y hacer una serie de estudios y sondeos, recabar antecedentes de construcción, etc.

Desde el punto de vista estrictamente mecánico, las fallas en los pavimentos suelen ser resultado de la deformación, o por densificación; estos procesos pueden tener lugar en cualquiera de las capas del pavimento o aún de la terracería.

El siguiente criterio separa las fallas en un pavimento en falla funcional y falla estructural.

➤ Falla Funcional

Es aquella que tienen los caminos cuando las deformaciones superficiales y las grietas del pavimento, a las que se asocia precisamente el índice de servicio, son mayores a las tolerables de acuerdo con el tipo de camino del cual se trate; ya que se puede tener una superficie de rodamiento con deficiencias, que son aceptables para carreteras secundarias, pero que pueden considerarse inconvenientes en carreteras de primer orden como las autopistas. La falla funcional no necesariamente implica una falla estructural inmediata.

➤ Falla Estructural

Implica la incapacidad del pavimento para resistir los efectos de las cargas aplicadas, en tanto que la falla funcional se traduce en una incomodidad para el usuario.

Se puede establecer que cuando se presenta la falla estructural, también ocurrirá en un plazo más o menos corto la falla funcional.

En ocasiones una falla funcional que no es atendida a su debido tiempo puede también concluir en una falla estructural.

Se trata de pavimentos contruidos con materiales inapropiados en cuanto a resistencia, o con materiales de buena calidad pero con espesor insuficiente. En

términos generales ésta es la falla que se produce cuando las combinaciones de la resistencia al esfuerzo cortante de cada capa y los respectivos espesores no son lo adecuados para que se establezca un mecanismo de resistencia apropiado.

1. Otra situación es en la que los pavimentos que originalmente estuvieron quizá en buenas condiciones, pero que por la continua repetición de las cargas del tránsito sufrieron efectos de fatiga, degradación estructural, pérdida de resistencia y deformación acumulada. Las fallas por fatiga están influidas por el tiempo de servicio, por lo tanto son típicas de un pavimento que durante mucho tiempo trabajo sin problemas.

Pero en general las fallas se pueden clasificar en cuatro grandes grupos:

1. Grietas
2. Deformaciones (cambios en la superficie o nivel original del pavimento)
3. Desintegraciones o desgranamiento de la superficie de rodamiento
4. Pérdida de resistencia a la fricción

3.1.1 Grietas

Consiste en la aparición de separaciones de no gran abertura (en el orden de 0.5 centímetros) en algún lugar del área que corresponde al pavimento.

Los agrietamientos son debidos a movimientos de las capas del pavimento que tiene lugar predominantemente en dirección horizontal; el fenómeno puede ocurrir en la base, en la sub-base, o con cierta frecuencia, en la subrasante. Son indicativos de fenómenos de congelamiento y deshielo o de cambios volumétricos por variación del contenido de agua sobre todo en la subrasante.

También se puede presentar la formación de grietas en la superficie del pavimento debido a la consolidación del terreno de cimentación.

La consolidación de terrenos de cimentación blandos, puede producir distorsión del pavimento, independientemente de los espesores o de la condición estructural del mismo. Las deformaciones de la sección transversal pueden producir agrietamientos longitudinales. Cuando por falta de resistencia en el terreno de cimentación se compromete la estabilidad de los terraplenes, también se producen agrietamientos típicos con trayectoria circular, marcando lo que podría llegar a ser la cabeza de la falla eventual; estas grietas perjudican, como es natural, al pavimento.

Los tipos mas frecuentes de grietas y sus causas son:

Falla	Causa
Grietas longitudinales en las orillas	o Cambios volumétricos de los materiales de las terracerías con

	<p>alto contenido de arcillas, por efectos de humedecimiento y secado</p> <ul style="list-style-type: none"> o ampliaciones de la carretera, no bien ligadas a la sección antigua o Ligeros movimientos o asentamientos de los terraplenes por efecto de las cargas de su propio peso o de temblores
Grietas longitudinales en el centro	<ul style="list-style-type: none"> o Defectos de tendido de la mezcla asfáltica, principalmente por reflexión de grietas en la capa subyacente, tratándose de una sobrecarpeta
Grietas transversales	<ul style="list-style-type: none"> o Reflexión de defectos existentes en la capa subyacente, o por contracción térmica
Grietas en forma de mapa o piel de cocodrilo	<ul style="list-style-type: none"> o Deflexiones excesivas o deformaciones en la carpeta por acción del tránsito pesado (fatiga) o Espesor insuficiente del pavimento para las capas que soporta
Grietas por corrimiento de la carpeta (en las orillas)	<ul style="list-style-type: none"> o Baja estabilidad de la mezcla a los esfuerzos laterales originados por el tránsito o Exceso de asfalto en el riego de liga o Tránsito demasiado pronto sobre la carpeta recién tendida
Grietas parabólicas en la carpeta	<ul style="list-style-type: none"> o Corrimiento de la carpeta en las zonas de desaceleración o Corrimientos de la carpeta por escaso o nulo asfalto de liga

3.1.2 Deformaciones

Las deformaciones que se pueden presentar en un pavimento son de gran importancia ya que éstas afectan directamente el confort del usuario y su seguridad. Se puede tener varios tipos de deformaciones en un pavimento como son:

Falla	Causa
<p>Baches Son las deformaciones locales en que se ha destruido parcialmente o totalmente el pavimento. Se asocian con agrietamientos y con altos contenidos de agua en los materiales</p>	<ul style="list-style-type: none"> o Baja compactación de las capas inferiores del pavimento o Penetración de agua a la parte inferior del pavimento por acumulaciones de la misma en zonas con defecto de acabado o deformados o Contaminaciones de la sub-base y/o base con el material de las terracerías o Pavimento subdiseñado para las cargas que por él transitan
<p>Asentamientos Estos son descensos en el nivel original de la superficie</p>	<ul style="list-style-type: none"> o Densificación o reacomodo local (densificación) de una o varias capas del pavimento o de las terracerías que produce un descenso pequeño y mas o menos uniforme de la superficie
<p>Desplazamientos o corrimientos de la carpeta (principalmente en las orillas)</p>	<ul style="list-style-type: none"> o Baja estabilidad de la mezcla o Tránsito pesado antes de compactar debidamente la mezcla o Exceso de asfalto en el riego de liga
<p>Surcos</p>	<ul style="list-style-type: none"> o Efectos de tránsito en zonas subdiseñadas o deficientemente diseñadas del pavimento o Paso del tránsito de vehículos o del equipo de construcción sobre la carpeta recién tendida o sin la debida compactación
<p>Depresiones en zanjas no bien rellenadas</p>	<ul style="list-style-type: none"> o Falta de acomodo adecuado o de compactación en los materiales del relleno o Insuficiencia en el volumen del material

Una de las deformaciones mas comunes es la deformación permanente en la superficie del pavimento representada por surcos, ésta es frecuentemente asociada a un aumento de compacidad en las capas granulares de la base o sub-base, debido, a su vez, a carga excesiva, carga repetida (aumento de compacidad por vibración), o a rotura de granos; también puede deberse a consolidación en la subrasante o en el cuerpo de la terracería.

El ancho del surco excede al de la llanta y tiende a ser mayor en comparación a éste, cuando más profunda sea la cedencia que provoca el fenómeno.

La deformación a que se está haciendo referencia debe distinguirse del surco que se produce por simple desplazamiento lateral de una carpeta defectuosa; la señal distintiva es que en este último caso el material se eleva a los dos lados del surco, éste se produce sin dichas ondulaciones.

Las fallas por cortante están típicamente asociadas a falta de resistencia al esfuerzo cortante en la base o sub-base del pavimento y más raramente en la subrasante. Consisten generalmente en surcos profundos nítidos y bien marcados, cuyo ancho no excede mucho del de la llanta. En este caso suele haber también elevación del material de carpeta a ambos lados del surco, pero la falla se distingue fácilmente de un simple desplazamiento de carpeta por la mayor profundidad afectada.

3.1.3 Desgranamiento de la superficie de rodamiento

El desgranamiento de la superficie de rodamiento en las diversas formas en las que se pueda presentar se debe principalmente a la falta de asfalto o de adherencia. Existen materiales que presentan una muy baja compatibilidad con el asfalto, disminuyendo en forma considerable la resistencia de la liga asfalto-agregado pétreo.

Falla	Causa
Desprendimiento del material de la carpeta o del riego de sello	<ul style="list-style-type: none"> o Escasa cantidad de asfalto en la mezcla o en el riego de sello o Falta de afinidad del material pétreo con el asfalto o Falta de compactación de la mezcla o de planchado de los materiales pétreos, según el caso o Sobrecalentamiento de la mezcla, Cuando ésta se hace en planta
Desprendimiento de la película de asfalto del material pétreo	<ul style="list-style-type: none"> o Rompimiento de las partículas del material pétreo que propician su desprendimiento o Material suave, que no resiste la acción del tránsito
Desprendimiento de la carpeta como capa	<ul style="list-style-type: none"> o Esfuerzos elevados en la interfase entre la carpeta y la base o Riego de liga insuficiente o anclaje deficiente de la carpeta con la base

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El agrietamiento en "piel de cocodrilo" se trata de un agrietamiento que se extiende sobre toda la superficie de rodamiento o por lo menos, sobre una parte importante, por el cual dicha superficie adquiere el aspecto que da nombre al fenómeno.

Esta condición es indicativa de movimiento excesivo de una o más de las capas del pavimento o de fatiga, muchas veces en la propia carpeta. El agrietamiento en "piel de cocodrilo" es común en pavimentos flexibles contruidos sobre terracerías resistentes a la ruptura por choque o percusión, o dentro de los cuales, la subrasante muestre resistencia a la ruptura por cortante. También es típico de bases débiles o insuficientemente compactadas.

El fenómeno puede ser o no progresivo; cuando lo es, termina en destrucciones locales del pavimento, que comienzan por desprendimientos de la carpeta en lugares localizados y en rápida demolición de los materiales granulares expuestos. Cuando el fenómeno alcanza estos grados destructivos puede decirse casi con seguridad que está ligado a deficiencias estructurales en la base.

En países en que el congelamiento es un fenómeno relevante, el agrietamiento es frecuente cuando se utilizan materiales muy susceptibles a daño por el congelamiento. También puede ser indicativo de lugares en que se requiere subdrenaje.

Al estudiar este tipo de agrietamiento resulta esencial determinar si se trata de un fenómeno evolutivo. En general, los procesos asociados a envejecimiento y fatiga de la carpeta progresan muy lentamente; en cambio son muy rápidas las evoluciones del fenómeno asociadas a deficiencia estructural o a exceso de agua. En consecuencia para definir la evolución futura de un proceso detectado suelen ser precisos estudios de detalle en el pavimento.

3.1.4 Pérdida de resistencia a la fricción

Hay ocasiones en las que las capas del pavimento no tienen la adherencia necesaria para no permitir movimientos entre estas dos. Ya sea producto de la falta de afinidad entre los materiales o por la falta de asfalto en la liga de la carpeta y la base.

Al no haber una adherencia adecuada y necesaria para mantener las capas del pavimento ligadas, es obvio que la resistencia a la fricción esta muy por debajo del valor aceptable y por lo tanto se presentara un corrimiento de alguna de las capas del pavimento.

El deslizamiento más común es el de la carpeta asfáltica con respecto de la base, al haber una inadecuada cantidad de asfalto ligante.

El agrietamiento en "piel de cocodrilo" se trata de un agrietamiento que se extiende sobre toda la superficie de rodamiento o por lo menos, sobre una parte importante, por el cual dicha superficie adquiere el aspecto que da nombre al fenómeno.

Esta condición es indicativa de movimiento excesivo de una o más de las capas del pavimento o de fatiga, muchas veces en la propia carpeta. El agrietamiento en "piel de cocodrilo" es común en pavimentos flexibles construidos sobre terracerías resistentes a la ruptura por choque o percusión, o dentro de los cuales, la subrasante muestra resistencia a la ruptura por cortante. También es típico de bases débiles o insuficientemente compactadas.

El fenómeno puede ser o no progresivo; cuando lo es, termina en destrucciones locales del pavimento, que comienzan por desprendimientos de la carpeta en lugares localizados y en rápida demolición de los materiales granulares expuestos. Cuando el fenómeno alcanza estos grados destructivos puede decirse casi con seguridad que está ligado a deficiencias estructurales en la base.

En países en que el congelamiento es un fenómeno relevante, el agrietamiento es frecuente cuando se utilizan materiales muy susceptibles a daño por el congelamiento. También puede ser indicativo de lugares en que se requiere subdrenaje.

Al estudiar este tipo de agrietamiento resulta esencial determinar si se trata de un fenómeno evolutivo. En general, los procesos asociados a envejecimiento y fatiga de la carpeta progresan muy lentamente; en cambio son muy rápidas las evoluciones del fenómeno asociadas a deficiencia estructural o a exceso de agua. En consecuencia para definir la evolución futura de un proceso detectado suelen ser precisos estudios de detalle en el pavimento.

3.1.4 Pérdida de resistencia a la fricción

Hay ocasiones en las que las capas del pavimento no tienen la adherencia necesaria para no permitir movimientos entre estas dos. Ya sea producto de la falta de afinidad entre los materiales o por la falta de asfalto en la liga de la carpeta y la base.

Al no haber una adherencia adecuada y necesaria para mantener las capas del pavimento ligadas, es obvio que la resistencia a la fricción está muy por debajo del valor aceptable y por lo tanto se presentará un corrimiento de alguna de las capas del pavimento.

El deslizamiento más común es el de la carpeta asfáltica con respecto de la base, al haber una inadecuada cantidad de asfalto ligante.

3.2 TÉCNICAS A EMPLEAR

Los problemas que en un pavimento se pueden encontrar son muy variados y las alternativas a emplear para su mejoramiento van desde la colocación de riegos 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 condiciones avanzadas 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.

3.2.1 Colocación de sobrecarpetas

La construcción de carpetas asfálticas con diseños adecuados (espesores mayores de 76 mm) para resistir fenómenos de fatiga es una de las técnicas más usuales para la rehabilitación de pavimentos asfálticos.

El adecuado diseño de una sobrecarpeta, basado en las condiciones del pavimento, con el espesor suficiente para resistir todos los fenómenos que dañaron a la anterior carpeta, además de la amplia experiencia que se tiene en el empleo de esta técnica y los materiales que en ella se utilizan la hacen una de las más confiables y por lo tanto una muy utilizada técnica en la mayoría de los casos de rehabilitación de carpetas asfálticas.

3.2.2 Empleo de asfaltos especiales

Esta alternativa consiste en la utilización de asfaltos ahulados o modificadores en la elaboración de la carpeta o el reciclado de la carpeta existente y la colocación de una sobrecarpeta a la que se le ha agregado un aditivo de cemento asfáltico.

El reciclado total de la carpeta actual para formar una nueva base asfáltica, complementando el producto con agregados pétreos, agentes rejuvenecedores y asfalto para completar un espesor adecuado y las necesidades de tránsito. Esta alternativa implicaría un estudio complementario de la estructura existente para el diseño de la base asfáltica propuesta.

Una desventaja de esta técnica es por supuesto la disponibilidad y el costo de los asfaltos especiales, así como el no conocimiento amplio de su manejo y aplicación.

3.2.3 Empleo de geotextiles

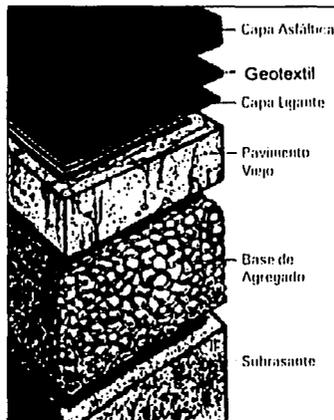
Los geotextiles son una solución comprobada para una variedad de retos en ingeniería civil y ambiental. Estos son usados para mejorar el rendimiento y reducir los costos de casi todas las estructuras de ingeniería civil, incluyendo drenajes subterráneos, carreteras, vías férreas, terraplenes y rellenos sanitarios. Los geotextiles permiten el avance de la construcción bajo condiciones de terrenos difíciles, los cuales de otra manera harían que el trabajo fuera imposible.

Los geotextiles proporcionan cuatro funciones importantes las cuales aumentan el funcionamiento del camino: separación, estabilización, refuerzo y drenaje.

Tanto los geotextiles tejidos como los no tejidos proporcionan una separación a largo plazo entre la base de agregado y la subrasante. Al separar estos dos materiales, el geotextil mantiene el espesor original del agregado del camino. Esta es la función más importante del geotextil para caminos, particularmente cuando se construyen sobre suelos con subrasantes de resistencia débil a moderada.

El geotextil también permite usar una base de agregado para el pavimento con una granulometría más abierta y de alta permeabilidad, lo que mejora el drenaje rápido.

La estructura de un pavimento con geotextil se muestra en la figura No. 19



Estructura de un pavimento con geotextil

Figura No. 19

3.3 VENTAJAS EN EL EMPLEO DE GEOTEXTILES

Los geotextiles presentan propiedades muy importantes que hacen bastante atractivo su uso. En el campo de los pavimentos es de vital importancia considerar las reducciones al mínimo de las deformaciones y los agrietamientos. Dichas problemáticas son bastante bien atacadas con el uso de un geotextil ya que de forma directa funciona en contra de estas fallas.

3.3.1 Menor deformación

La deformación de la carpeta asfáltica es una falla muy común en la mayoría de los pavimentos.

La inclusión de un geotextil adecuado en la estructura de un pavimento nos puede ayudar a obtener menores deformaciones en la estructura del pavimento.

La falta de compactación, el reacomodo de materiales, el insuficiente espesor de las capas, el inadecuado riego de liga por mencionar algunos, son motivos de que se presenten deformaciones en un pavimentos, sin embargo su origen es el mal proceso constructivo o los malos materiales; pero hay otros que dependen de otras causas como por ejemplo el agua y las cargas aplicadas al pavimento.

Dichas causas son la penetración de agua en la estructura del pavimento y la contaminación de las capas por material ajeno a esta.

Estas causales pueden ser evitadas por un geotextil que bloquee el flujo de agua a través del pavimento y/o separe los materiales ajenos al pavimento de éste.

3.3.2 Resistencia al agrietamiento

Los agrietamientos son generalmente debidos a cambios volumétricos en el pavimento producto de la humedad en éste además de los esfuerzos a los que esta expuesta la estructura.

Los geotextiles presentan características idóneas para atacar estas fallas. Su función como refuerzo y barrera impermeable reducen de manera considerable la aparición de grietas ya que controlan los esfuerzos y la cantidad de agua que fluye a través de la estructura del pavimento.

3.4 CRITERIOS DE DISEÑO

La utilización de geotextiles como refuerzo de pavimentos se remonta a unos 60 años atrás, cuando se utilizaron telas de algodón impregnadas de asfalto, con el propósito de reforzar las carpetas asfálticas y construir una barrera impermeable que impidiera el paso del agua. Debido a su corta vida útil este material fue sustituido posteriormente por fibras sintéticas de mayor duración, alta resistencia a esfuerzos de tensión, de abrasión y de punzonamiento, resistentes al ataque de productos químicos, bacterias, etc., entre los cuales se encuentra el polipropileno, y recientemente el nylon, poliéster, fibra de vidrio, e inclusive una mezcla de fibras de estos materiales, lo que ha dado origen a un tipo de geotextil especial para trabajos de refuerzo de pavimentos. Estos geotextiles son de tipo no tejidos para resistir esfuerzos de tensión radiales, de fibras cortas o largas, que deben soportar

temperaturas del orden de 150 °C durante su colocación, así como ser capaces de retener el asfalto que les proporcionará la característica sellante. Finalmente el geotextil debe ser ligero para facilitar su manejo.

La tecnología moderna de los pavimentos ha manifestado una clara tendencia hacia el proyecto y construcción de estructuras que proporcionen al usuario seguridad, comodidad y bajos costos de transportación. Para tal efecto, se han desarrollado métodos de diseño, técnicas de construcción y tecnologías de materiales para obtener pavimentos más durables y resistentes, capaces de responder a las necesidades del tránsito moderno, que requiere de altas especificaciones de funcionalidad y operación.

Para proporcionar a los pavimentos menor deformabilidad y mayor resistencia al agrietamiento se están utilizando productos geosintéticos, como los geotextiles y las georedes, colocados los primeros en contacto con las capas asfálticas y las segundas entre los materiales de bases granulares de los pavimentos.

3.4.1 Como refuerzo

Los objetivos que se persiguen al utilizar un geotextil como refuerzo son los siguientes:

- Retardar o impedir el agrietamiento por fatiga de las capas asfálticas, al actuar como un elemento de refuerzo de alta resistencia a la tensión.
- Retardar y reducir el agrietamiento producido por reflexión de grietas y juntas de construcción.
- Reducir en algunos casos, el espesor de la sobrecarpeta necesaria para reforzar el pavimento.
- Reducir los costos de mantenimiento y de operación del pavimento, al prolongar su vida útil.

El método de diseño desde el punto de vista de refuerzo, está basado en ensayos realizados para determinar la efectividad del geotextil e impedir la reflexión de grietas, en los cuales se destruye un espécimen con una porción de carpeta agrietada a la cual se le coloca una capa de geotextil y enseguida se cubre con una porción de sobrecarpeta no agrietada. Al espécimen se le aplican ciclos de cargas dinámicas hasta provocar el agrietamiento por reflexión en la parte superior del espécimen, ensayando inclusive uno en el cual no se ha colocado el geotextil y que sirve de control. En la siguiente tabla se muestran los resultados típicos de un ensayo de este tipo.

GEOTEXTIL	PESO g/m ²	MODULO SECANTE KG/CM ² (*)	CICLOS A LA FALLA	FACTOR DE EFECTIVIDAD FEG
Sin geotextil, control	----		480	1.0

No tejido, polipropileno	150	60	1000	2.1
No tejido, poliéster	205	55	2300	4.8
No tejido, polipropileno	205	95	3260	6.8
Tejido, polipropileno y poliéster	170	165	2760	5.8
No tejido, poliéster termo soldado	110	199	7650	15.9

(*) Para una deformación unitaria del 5%

Lo más importante de la tabla es la última columna en la que aparece el denominado factor de efectividad del geotextil, FEG, definido como:

$$FEG = \frac{N_r}{N_n}$$

En donde:

N_r es el número de ciclos a la falla del espécimen con refuerzo

N_n es el número de ciclos a la falla del espécimen sin refuerzo

De acuerdo con los ensayos efectuados se ha encontrado que el FEG varía de 2.1 a 15.9

El método consiste en que una vez conocido el valor del FEG para diferentes tipos de geotextil, se aplique como un factor de reducción del parámetro que identifica al tránsito como puede verse en la siguiente expresión:

$$\sum L_r = \frac{\sum L_n}{FEG}$$

En donde:

$\sum L_r$ es el tránsito de diseño para pavimento con refuerzo, en ejes equivalentes de 80 KN

$\sum L_n$ es el tránsito de diseño para pavimento sin refuerzo, en ejes equivalentes de 80 KN

FEG es el factor de efectividad del geotextil

El siguiente paso a seguir es calcular el espesor del pavimento requerido para ambos casos, T_r y T_n , es decir espesor con refuerzo y sin refuerzo, respectivamente y finalmente se calculará el espesor de pavimento existente, T_e , en términos de espesor equivalente con los factores de reducción correspondientes a su estado actual. De esta manera se obtendrá el espesor de sobrecarpeta requerida para los casos con y sin refuerzo.

$$T_{sr} = T_r - T_e$$

$$T_{nr} = T_n - T_e$$

Y finalmente

$$T = T_{sr} - T_{nr}$$

Donde

T_r = espesor del pavimento con geotextil

T_n = espesor del pavimento sin geotextil

T_e = espesor del pavimento existente

T_{sr} = espesor de sobrecarpeta requerida con geotextil

T_{nr} = espesor de sobrecarpeta requerida sin geotextil

T = espesor de sobrecarpeta equivalente a la presencia de l geotextil y que deja de colocarse por ese motivo

El cual proporcionará el espesor de sobrecarpeta equivalente a la presencia del geotextil y que deja de colocarse por ese motivo.

3.4.2 Como barrera impermeable

Los objetivos que se persiguen al utilizar un geotextil como barrera impermeable son los siguientes:

- Restringir o evitar la entrada del agua al pavimento y a la capa subrasante constituyendo una membrana impermeable; con esta acción se impide el debilitamiento de la estructura y se evita el consecuente deterioro y destrucción eventual.
- Evitar el bombeo, es decir, la expulsión de agua y sólidos por las grietas del pavimento, evitando la socavación interior en el pavimento.

El método de diseño desde el punto de vista del geotextil como una barrera impermeable, esta apoyado en el procedimiento propuesto por el Instituto del Asfalto, basado en las deflexiones con Viga Benkelman, en el cuai se determina el espesor requerido de sobrecarpeta conociendo la Deflexión de Rebote Representativa (DRR) y el tránsito en términos de ejes equivalentes de 80 KN. El DRR se determina con la siguiente expresión:

$$DRR = (x + 2s)(f_t)(c)$$

En donde:

- DRR = deflexión de rebote representativa
- x = media aritmética de las deflexiones medias, en mm
- s = desviación estándar, en mm
- f_t = factor de ajuste por temperatura
- c = factor de ajuste por período crítico

El factor de ajuste por período crítico es en gran forma afectado por las condiciones ambientales y concretamente por el contenido de agua de la subrasante, su valor es unitario si las deflexiones son medidas durante el período crítico en el año, o bien será la relación entre las deflexiones medidas en el período crítico y las medidas en cualquier época del año. Para la aplicación del método, el valor de este factor se reduce para el caso de usar geotextiles como barrera impermeable, gracias a lo cual se reduce en consecuencia el espesor de la sobrecarpeta requerida; la diferencia entre los espesores de sobrecarpeta con y sin geotextil equivale al ahorro producido por la colocación de éste.

En cada uno de los métodos descritos anteriormente es necesario comparar los efectos de diferentes geotextiles para elegir el más adecuado. Sometiendo muestras de diferentes tipos de geotextiles a este método se obtiene un valor para cada uno y de esta manera se puede comparar y escoger entre ellos el que a consideración del ingeniero sea el mejor.

CAPÍTULO 4

COLOCACIÓN DE GEOTEXTILES EN EL PAVIMENTO ASFÁLTICO

4.1 GENERALIDADES SOBRE PAVIMENTOS

4.1.1 Definición de pavimento

Un pavimento es la parte estructural de un camino comprendido entre la subrasante y la rasante, es decir se construye directamente sobre la capa subrasante y esta formada por dos o más capas superpuestas de materiales seleccionados, con espesores que dependen de la calidad y resistencia de los materiales que constituyen las terracerías, de las cargas impuestas y del clima.

Las características más importantes que un pavimento debe de reunir son las siguientes:

- Presentar resistencia para soportar las cargas impuestas por el tránsito y tener la capacidad para transmitir adecuadamente las presiones de dichas cargas a las terracerías.
- Proporcionar una superficie uniforme que permita un tránsito fácil y cómodo al rodamiento.
- Resistir los efectos del intemperismo.
- Resistir la abrasión de las llantas de los vehículos.
- Proporcionar adherencia entre las llantas y el pavimento para evitar derrapamiento.

4.1.2 Capas de un pavimento flexible

Como ya se menciona anteriormente el pavimento se constituye de diferentes capas que tienen diferentes funciones y presentan variaciones respecto a calidad de materiales y compactación.

Estas capas que constituyen al pavimento flexible son básicamente tres:

- Sub-base
- Base
- Carpeta

4.1.2.1 Sub-base

La sub-base es la capa de material que se construye directamente sobre la terracería y que está formada por un material de mejor calidad que el de aquella, obtenido en la generalidad de los casos de depósitos cercanos a la obra. La sub-base tiene como función:

- ✓ Reducir el costo del pavimento disminuyendo el espesor de la base que se construye, generalmente, con materiales de mayor costo por tener que cumplir con especificaciones más rígidas;
- ✓ Proteger a la base aislandola de la terracería ya que cuando ésta está formada por material fino y plástico (generalmente es este el caso) y

cuando la base es de textura abierta, de no existir el aislamiento dado por el material de la sub-base, el material de la terracería se introduciría en la base pudiendo provocar cambios volumétricos perjudiciales al variar las condiciones de humedad, a la vez que se disminuiría la resistencia estructural de la base. El aislamiento producido por la sub-base no solo consiste en evitar que los finos plásticos de la terracería se introduzcan en la base de textura abierta, sino también en evitar los hinchamientos y revollura de ambos materiales cuando se usan piedras trituradas o gravas de río para formar la base;

- ✓ En caminos en construcción frecuentemente se construye la sub-base, que propiamente es un revestimiento provisional, para tener una superficie de rodamiento que facilite, en cualquier época del año, el paso del equipo de construcción y de los vehículos que transiten por el camino antes de quedar pavimentado. Si el revestimiento provisional una vez que ha estado en servicio reúne las condiciones de calidad para sub-base, este espesor debe tomarse en cuenta al proyectar el espesor total del pavimento, de lo contrario debe dejarse como parte de las terracerías.

4.1.2.2 Base

La base es la capa de material que se construye sobre la sub-base o a falta de ésta, sobre la terracería, debiendo estar formada por materiales de mejor calidad que los de la sub-base. Los principales requisitos que debe satisfacer la capa de base son los que siguen:

- Tener en todo tiempo la resistencia estructural para soportar las presiones que le sean transmitidas por los vehículos estacionados o en movimiento;
- Tener el espesor necesario para que dichas presiones, al ser transmitidas a la sub-base o a la subrasante, no excedan la resistencia estructural de éstas;
- No presentar cambios volumétricos perjudiciales al variar las condiciones de humedad.

4.1.2.3 Carpeta asfáltica

La carpeta es la capa de material pétreo cementado con asfalto que se coloca sobre la base para satisfacer las siguientes funciones:

- Proporcionar una superficie de rodamiento adecuada que permita en todo tiempo, un tránsito fácil y cómodo de los vehículos;
- Impedir la filtración del agua de lluvia hasta las capas inferiores, para impedir que el agua disminuya su capacidad para soportar cargas;
- Proporcionar al pavimento una superficie de rodamiento estable capaz de resistir la aplicación directa de las cargas, la fricción de las llantas y los esfuerzos de frenaje;
- Resistir la acción de los efectos del intemperismo.
- Contribuir en la resistencia estructural.

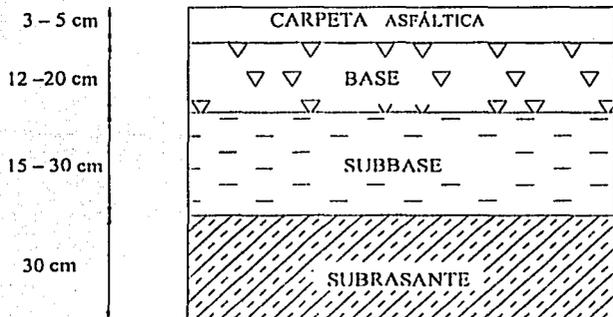
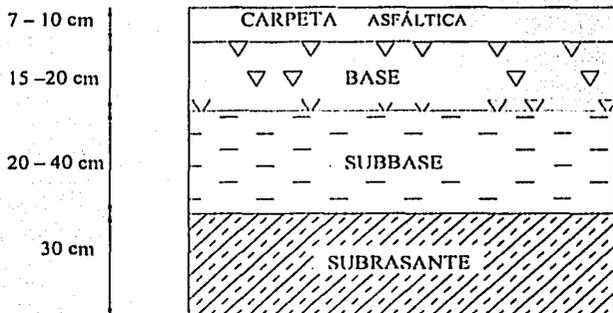
4.2 SECCIÓN TRANSVERSAL

En esta sección se pretende mostrar los distintos tipos de secciones que se pueden presentar en la estructura de un pavimento, tanto nuevos como restaurados.

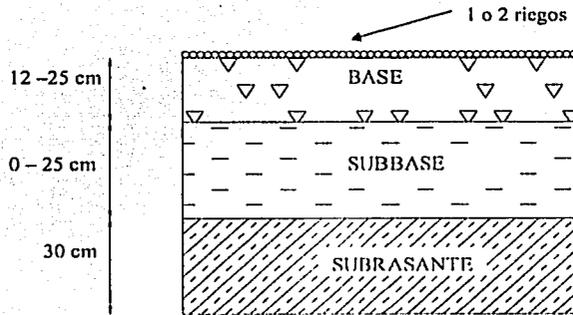
4.2.1 Pavimento asfáltico nuevo

Se mostrarán las secciones típicas que se pueden encontrar en el caso de la construcción de un pavimento nuevo.

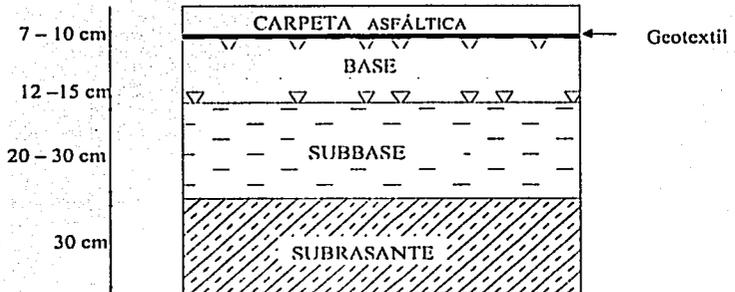
4.2.1.1 Normal



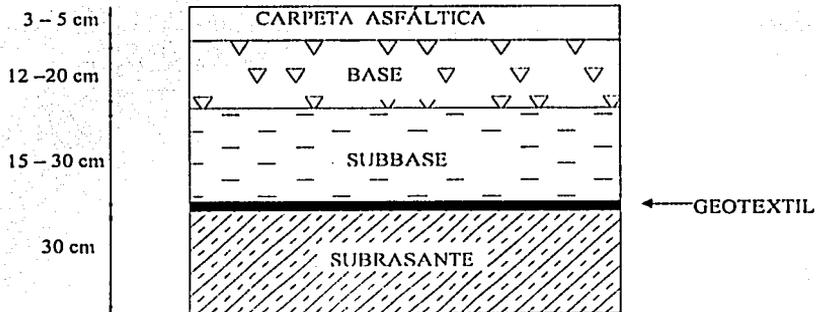
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



4.2.1.2 Con geotextil incluido



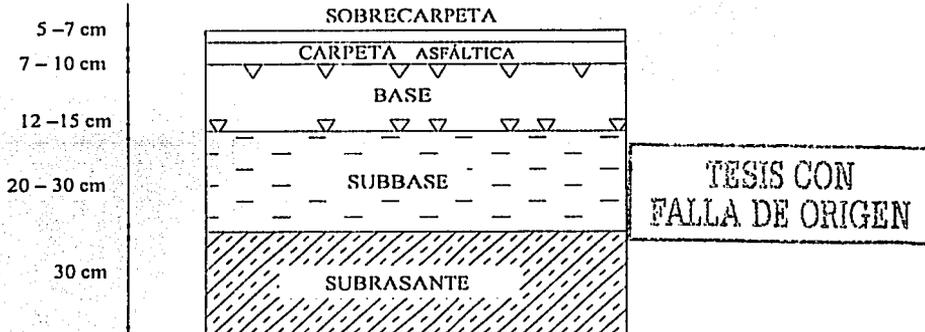
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



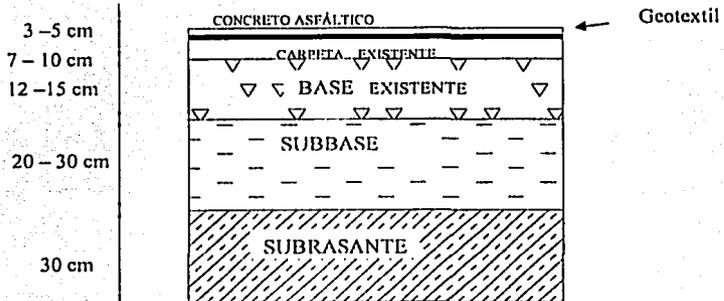
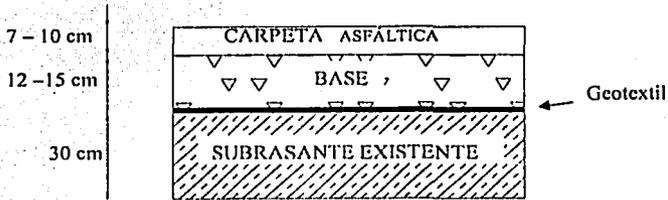
4.2.2 Pavimento asfáltico restaurado

Se mostrarán las secciones típicas que se pueden encontrar en el caso de la construcción de un pavimento restaurado.

4.2.2.1 Normal



4.2.2.2 Con geotextil incluido



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.3 FUNCIÓN DEL GEOTEXTIL EN UN PAVIMENTO ASFÁLTICO

Existe gran variedad de aplicaciones para los geotextiles, sin embargo para la Ingeniería Civil son de vital importancia las siguientes seis, y para el caso de un pavimento son de importancia relevante los tres primeros.

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

4.3.1 Separación

El geotextil establece una frontera entre diferentes masas de suelo o roca, segregando de este modo dos o 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 si se tiene un pavimento y toda la estructura de este esta construida sobre un suelo blando, el geotextil en esta aplicación sirve solo como separador, para evitar que el material de la cimentación contamine el agregado de las capas inferiores del pavimento. Se ha observado en caminos como éstos que el lodo sube a través de las grietas, esto es el primer síntoma de falla, después se forman grietas cada vez más grandes y finalmente viene 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.

4.3.2 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 de manera adecuada 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 la construcción de caminos sobre pantanos y depósitos compresibles en general.

4.3.3 Barrera impermeable

Se refiere a la aplicación de geotextiles impregnados generalmente con productos asfálticos. Los cuales impiden el paso de fluidos y partículas de suelo, es aplicable sólo cuando el geotextil 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.

4.3.4 Filtración

El geotextil forma con el suelo un sistema en equilibrio que permite el libre flujo de agua y gases, sin perdida de suelo a través del plano del geotextil. En esta aplicación se permite el flujo de agua a través del geotextil y se evita la migración de partículas de suelo; como ya se dijo anteriormente esta función no se aplica directamente en la estructura de los pavimentos, es mas bien una aplicación en las obras complementarias de drenaje.

4.3.5 Drenaje

Esta aplicación es probablemente la segunda más usual de los geotextiles debido a que suele ser más económico su empleo en situaciones de control de permeabilidad.

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

4.3.6 Protección

Esta aplicación consiste en la colocación de geotextiles en taludes de tierra para garantizar su estabilidad así como proteger el material del que esta hecho el talud de los efectos del intemperismo.

4.4 MAQUINARÍA Y HERRAMIENTA

4.4.1 Petrolizadora

El camión distribuidor debe tener un dosificador y ser capaz de rociar la capa ligante a la proporción de aplicación uniforme especificada. Debe estar equipado con una boquilla rociadora manual para distribuir la capa ligante en los lugares inaccesibles para el camión.

La petrolizadora de presión es el equipo más importante para la construcción de carpetas asfálticas formadas por tratamientos superficiales y mezclas en el lugar. Este equipo debe regar el producto asfáltico sobre el camino en cantidades exactas y durante todo el tiempo que dure la carga de la petrolizadora, debe conservar la misma razón de riego sin que varíe ésta por cambios de pendiente o de dirección del camino.

La petrolizadora consta de las siguientes partes:

- Tanque de acero
- División de lamina para evitar el fuerte ondular del asfalto
- Derramadero
- Tubos calentadores
- Registro
- Calibrador del nivel del tanque
- Válvula de control
- Caja de válvulas
- Bomba
- Chimenea
- Colector del tanque
- Válvula del tanque
- Quemadores de aceite
- Barra de cambio
- Motor de la bomba
- Barra de riego
- Soporte ajustable de la barra

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En general la petrolizadora es un camión con llantas neumáticas, en el cual va montado un tanque equipado con algún sistema de calefacción (generalmente quemadores de aceite), que calienta directamente la tubería que pasa por todo el tanque. En la parte trasera del tanque hay una barra con un sistema de espreas de riego, a través de las cuales se aplica el asfalto a presión sobre la superficie del camino. La barra de riego debe regar por lo menor tres metros de ancho. Se debe tener en el tanque un termómetro apropiado para comprobar en cualquier momento la temperatura del producto que está regando. La petrolizadora debe contar también con una manguera provista, en la punta, de una boquilla para regar a mano las partes que no hayan sido regadas, o no se puedan regar con la barra de la misma petrolizadora (figura No. 20). Esto ocurre generalmente cerca de los

brocales de alcantarillas de drenaje de las calles en algunas esquinas, etc. Las petrolizadoras se construyen de diferentes capacidades, pero las más usadas son las de 2300 litros y las de 3800 litros. La petrolizadora se muestra en la figura No. 21 y 22.

El control de calidad del producto asfáltico que se riega, se lleva a cabo por medio de un tacómetro que es un aparato similar a un velocímetro pero aproximadamente cien veces más sensible. Una pequeña rueda colocada entre la rueda delantera y la trasera, pero cerca de la primera, sirve para controlar la velocidad del tacómetro.

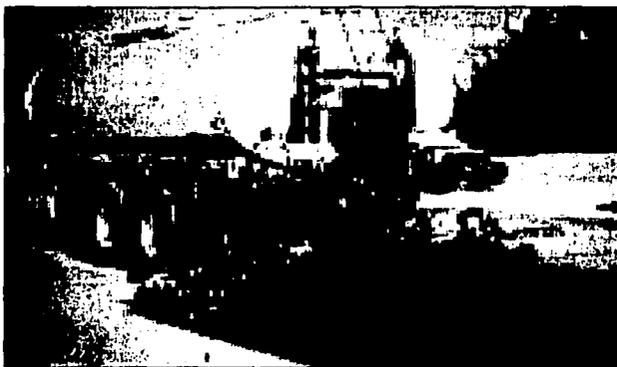
Cuando se va a regar asfalto con las petrolizadoras, es necesario que se prevea una capacidad adicional de 5% como tolerancia debido a la expansión que sufre el asfalto al calentarse.



Riego manual de asfalto con boquilla

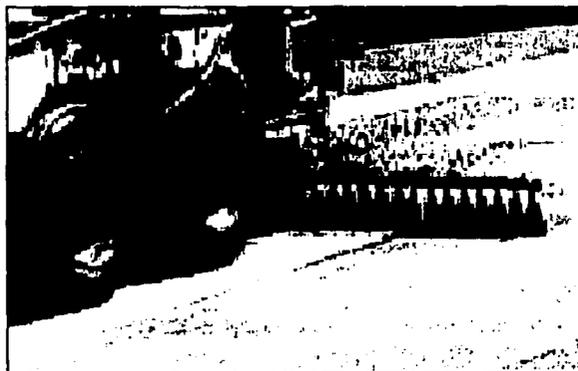
Figura No. 20

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Petroliadora en funcionamiento

Figura No. 21



Petroliadora en funcionamiento

Figura No. 22

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.4.2 Cepillos o enrazadores

Dentro de la colocación del geotextil en el pavimento, es de primordial importancia que la superficie quede lo más lisa posible sin pliegues ni arrugas, lo cual se pretende lograr mediante una adecuada colocación directa del rollo, pero generalmente siempre se tendrán arrugas y pliegues aún habiendo tenido un máximo de cuidados. Por lo que los cepillos para enrasar adquieren así importancia dentro del proceso.

Los cepillos adecuados para esta labor son aquellos que cuentan con cerdas firmes, las cuales permiten ejercer presión sobre el geotextil del centro hacia fuera en la dirección del tendido.

De no considerar esta herramienta y no realizar esta labor se pueden tener muchos problemas futuros en el pavimento, ya que no existe una liga adecuada entre las capas del pavimento y del geotextil, limitándose la efectividad para realizar sus funciones.

4.4.3 Equipo manual de aplicación de asfalto

A pesar de que la petroliadora generalmente proporciona un riego uniforme y suficiente para satisfacer las especificaciones del proyecto, se pueden dar las condiciones particulares en las que se requiera aplicar más asfalto, por ejemplo si por causa de fuerza mayor se requiere que un vehículo transite sobre el riego de liga, este provocará desprendimiento del asfalto y por razones técnicas y económicas, la forma correcta de corregirlo será por medio de aplicaciones manuales de asfalto.

A todas las juntas transversales, arrugas cortadas y traslapes, se le adicionará una segunda aplicación de riego de liga para satisfacer las especificaciones de saturación del geotextil y garantizar la perfecta unión y adherencia, pero esto obviamente se tendrá que realizar de manera manual.

Se utilizan escobas de cerdas rígidas o rodillos neumáticos para emparejar la tela.

En una obra de ingeniería se dispone de tambos de 200 litros en los que se tiene el asfalto, mismos que son calentados para obtener las condiciones de manejabilidad; de dichos tambos se extrae el asfalto en botes una vez que ya cuenta con las características necesarias de temperatura y trabajabilidad, el personal lo aplica en los lugares en donde el riego de sello esté deteriorado, en los traslapes, las juntas y los cortes mediante cepillos de cerdas firmes.

No existe un estricto control en cuanto a la cantidad de asfalto que se coloca sino que depende más de la experiencia del personal encargado de esta labor.

4.4.4 Herramientas de corte

En las curvas en las que se decide que se formen por trozos cortados de formas cuadradas o rectangulares, es obligado contar con algún artefacto para realizar el corte del geotextil. En los pliegues en los que se requiere cortar el geotextil y alisarlo, igualmente se requiere de un artefacto para realizarlo.

Debido a que las características físicas y químicas del geotextil no presentan condiciones de extrema dureza ni gran espesor, no se requieren herramientas de corte sofisticadas o con características especiales, por lo que generalmente se utiliza una navaja gruesa de buen filo y tijeras grandes igualmente de buen filo. Con estas herramientas de corte es más que suficiente para satisfacer las necesidades que se presentan.

4.5 MATERIALES ADICIONALES

4.5.1 Concreto Asfáltico

Los concretos asfálticos constituyen la clase superior de los pavimentos bituminosos.

El concreto asfáltico mezclado en vía, consiste en una o varias capas compactadas de una mezcla de agregados minerales, asfalto líquido, producido en la vía por medio de plantas viajeras, moto niveladoras, arados agrícolas o cualquier otro tipo capaz de mezclar agregados y asfalto sobre la superficie de la vía. Este tipo de concreto asfáltico se puede emplear como capa de rodamiento para tráfico liviano y mediano, como base de pavimentos flexibles para tráficos mediano y pesado o como capa intermedia.

El concreto asfáltico mezclado en planta y colocado en frío se usa por lo general para reparaciones y obras pequeñas, en las cuales no se justifica la operación de una planta de mezcla en caliente, consiste en una combinación de materiales pétreos y materiales asfálticos producida en una planta sin calentamiento previo de los materiales y cuya colocación en la vía y la consiguiente compactación se hacen a la temperatura ambiente.

El concreto asfáltico mezclado en planta y compactado en caliente es el pavimento asfáltico de mejor calidad y se compone de una mezcla de agregados graduados y asfalto, realizada a una temperatura aproximada de 150°C colocada y compactada en caliente. Las plantas para la producción de mezclas en caliente se construyen de tal manera que, después de calentar y secar los agregados, los separa en diferentes grupos de tamaños, los recombina en las proporciones adecuadas, los mezcla con la cantidad debida de asfalto caliente y finalmente los entrega a los vehículos transportados, que a su vez la colocan en la máquina pavimentadora para que esta la deposite sobre la vía con un espesor uniforme, después de lo cual se compacta mediante rodillos mientras la temperatura se conserva alta.

4.5.2 Asfalto

El asfalto es un componente natural que existe en disolución en la mayor parte de los petróleos. El petróleo crudo se destila para separar las diversas fracciones y recuperar el asfalto.

Procesos similares producidos naturalmente han dado lugar a yacimientos naturales de asfalto, en algunos de los cuales el material se encuentra prácticamente libre de materias extrañas, mientras que en otras está mezclado con cantidades variables de minerales, agua y otras sustancias.

Las rocas porosas saturadas de asfalto que se encuentran en algunos yacimientos naturales se conocen con el nombre de rocas asfálticas.

4.5.2.1 Resumen histórico

Prehistoria

Se han encontrado esqueletos de animales prehistóricos conservados intactos hasta nuestros días en depósitos superficiales de asfalto en el pozo de La Brea en Los Ángeles California USA.

3200 a 540 AC

Excavaciones arqueológicas en Mesopotamia y en el Valle del Indio indican el amplio uso del asfalto como aglomerante para albañilería y construcción de carreteras y para capas de impermeabilización en estanques y depósitos de agua.

300 AC

El asfalto se emplea extensamente en Egipto en embalsamientos.

1820 DC

En Francia se emplea roca asfáltica para pavimentación de suelos, puentes y aceras.

1838 DC

En Filadelfia se emplea roca asfáltica importada en la construcción de aceras.

1870 DC

Se realiza la construcción del primer pavimento asfáltico en Newark, Nueva Jersey, por el profesor E. J. Desmedt, químico belga.

1876 DC

Construcción del primer pavimento de tipo Sheet asphalt en Washington D.C.; con asfalto de lago importado.

4.5.2.2 Propiedades

El asfalto es un material de particular interés para el Ingeniero porque es un aglomerante resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero.

Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de materiales graduados con los que se combina usualmente. Además es altamente resistente a la mayor parte de los ácidos, álcalis y sales. Aunque es una sustancia sólida o semisólida a temperaturas atmosféricas ordinarias, puede licuarse fácilmente por aplicación de calor, por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificaciones.

Cuando el asfalto es calentado a una temperatura lo suficientemente alta, por encima de su punto de inflamación, este comienza a fluidificarse, a veces como un fluido Newtoniano y sus propiedades mecánicas pueden definirse por su viscosidad. A temperaturas mas bajas, el asfalto es un sólido visco-elástico, sus propiedades mecánicas son mas complejas y se describen por su modulo de visco-elasticidad, conocido como el modulo de stiffness.

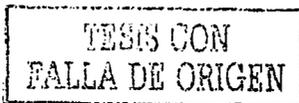
4.5.2.3 Definición

Es un material aglomerante de color que varia de pardo oscuro a negro, de consistencia sólida, semisólida o líquida, cuyos constituyentes predominantes son betunes que se dan en la naturaleza como tales, o que se obtienen de la destilación del petróleo. El asfalto está presente en proporciones variables en la constitución de la mayor parte de los crudos del petróleo.

La definición dada por la ASTM dice que "ASTMAs" son los materiales aglomerantes sólidos o semisólidos de color que varia de negro a pardo oscuro y que se licuan gradualmente al calentarse, cuyos constituyentes predominantes son los betunes que se dan en la naturaleza en forma sólida o semisólida o se obtienen de la destilación del petróleo; o combinaciones de estos entre si o con el petróleo o productos derivados de estas combinaciones (ASTM standard D-8).

4.5.2.4 Viscosidad

La viscosidad de un asfalto es usualmente medida en un viscosímetro capilar en una manera similar a la que se miden los aceites lubricantes. Este método mide la viscosidad cinemática que se reporta en centistokes (cst). La dinámica o absoluta se mide en centipoises (cp) y puede obtenerse de la cinemática multiplicándola por la densidad a esa temperatura determinada.



4.5.2.5 Viscosidades de aplicación

En muchas aplicaciones, el asfalto es calentado hasta hacerse lo suficientemente fluido para cada aplicación en particular. La siguiente tabla nos indica la viscosidad que debe tener el asfalto para una aplicación determinada. Se asume que la aplicación se llevará a cabo a la máxima viscosidad posible, es decir la mínima temperatura posible. En algunos casos, menores viscosidades pueden utilizarse, dependiendo de los materiales que se utilicen, debido a que pueden ser dañados por la temperatura excesiva.

Aplicación	Viscosidad requerida (cst)
Spray	20-100
Llenado de Juntas	100-200
Mezclado con Filler	200
Impregnación	20-200
Impermeabilización	200-1000
Pintado	600
Recubrimiento	1000
Bombear	1500-2000

4.5.2.6 Resistividad / Conductividad Eléctrica

El asfalto tiene una alta resistencia (o una baja conductividad) y es en consecuencia un buen material aislante. La resistencia de todos grados comerciales decrece con el incremento de la temperatura y algunas figuras típicas son:

Temp. °C	Resistencia (ohm/cm)
30	10^{14}
50	10^{13}
80	10^{12}

4.5.2.7 Propiedades térmicas

Conductividad térmica es alrededor de 0.16 W/metro.°C (0.14 kcal/metro.hora.°C)
El coeficiente de expansión cúbica del asfalto es alrededor de 0.0006 /°C
El asfalto es moderadamente un buen material aislante térmico.

4.5.2.8 Almacenamiento y manipulación de asfalto caliente

Costras o formación de pieles en tanques de asfalto es causado por el sobre calentamiento en una atmósfera oxidante. Esto puede ser minimizado reduciendo la temperatura de almacenamiento o evitando picos temporarios de temperatura causado por controles deficientes de la temperatura. El asfalto no debe ser almacenado a granel a altas temperaturas. Si la temperatura de aplicación está por encima de los 160°C, se deberá utilizar un pequeño tanque calentador para llegar a esa temperatura y la temperatura en el tanque de estar 50°C por encima del punto de ablandamiento del asfalto en cuestión. Gas inerte como el nitrógeno o el dióxido de carbono puede ser utilizado para reducir la formación de "pieles" en la superficie del asfalto. Este tipo de proceso puede llegar a ser honeroso.

Otros procesos a utilizarse pueden ser:

- * Estar seguro que alguna línea de retorno en el sistema circulatorio entre al tanque por debajo del nivel de la superficie del asfalto y reducir la exposición del asfalto al contacto con el oxígeno del aire
- * Usar tanques verticales para reducir la superficie de contacto con el oxígeno del aire
- * Si alguna piel se forma en la superficie de contacto del asfalto con el aire, mezclar ligeramente para que esa proporción de residuos carbonosos mezclados vuelvan a mezclarse con la masa original del asfalto
- * Evitar inhalar los vapores de asfalto, particularmente cuando se retiran muestras de la parte superior del tanque

4.5.2.9 Resistencia del asfalto a los químicos

El asfalto es generalmente considerado con alta y buena resistencia al ataque a los químicos tales como ácidos, sales, álcalis, etc.

- La resistencia al ataque se incrementa con la dureza del asfalto
- Los asfaltos oxidados son mas resistentes que los asfaltos directos de penetración
- Los asfaltos desasfaltizados con propano tienen una buena resistencia al ataque de los químicos
- Agregando un 5% de una parafina dura (punto de fusión por encima de 60°C) al asfalto pueden mejorar la resistencia al ataque de ácidos
- El ataque químico sobre el asfalto es peor cuando se incrementa la temperatura, se incrementa el tiempo y se incrementa la concentración del químico
- El ataque sobre un asfalto inmerso en un químico líquido es mas severo que si el ataque se realiza con el mismo químico en forma de gas o vapor

4.5.3 Emulsiones asfálticas

La emulsión asfáltica es una dispersión de pequeños glóbulos de asfalto en agua, estabilizada por un agente emulsificante. Se aplica normalmente a temperatura ambiente o inferior a 85 °C.

Las emulsiones asfálticas son, sin duda, la forma mas económica, menos contaminante, y de menor consumo energético que existe para aplicar un asfalto en una carretera. Avances en la química de los tensioactivos, en equipos de fabricación, el resurgir de técnicas de estabilización o reciclado, la aparición de asfaltos modificados, etc, han originado que esta técnica que empezó por los años '30, tengan hoy un nivel tecnológico adecuado a los métodos mas sofisticados de construcción y conservación de carreteras, pudiendo diseñar con ellas desde el tratamiento de conservación de un camino hasta una mezcla de altas prestaciones.

Cuando son usadas emulsiones, éstas se deberán dejar curar adecuadamente de tal forma que prácticamente no quede humedad antes de colocar la tela de pavimentación.

4.5.3.1 Viscosidad

Los aparatos, procedimientos y finalidad de los ensayos para determinar la viscosidad de los asfaltos emulsificados o emulsiones asfálticas, son esencialmente los mismos que para los asfaltos fluidificados.

Se mide normalmente por el ensayo de la viscosidad Saybolt -Furol. Como las temperaturas de ensayo empleadas en los asfaltos líquidos son generalmente más bajas que en los betunes asfálticos, se emplean normalmente agua como fluido de calentamiento para el baño termostático. Los aparatos y procedimientos se describen en las normas AASHTO T-201 y ASTM D-2170.

Existe cierta tendencia a medir la viscosidad en unidades fundamentales (centístokes) con los viscosímetros de flujo en tubo capilar.

4.5.3.2 Sedimentación

Determina la tendencia a sedimentar de los glóbulos de asfalto durante el almacenaje de una emulsión asfáltica. Se deja en reposo durante cinco días una muestra de emulsión asfáltica en un cilindro graduado, después de lo cual se determina la diferencia en contenido de asfalto entre el fondo y la superficie de la muestra. El procedimiento y el material necesario se describen en los métodos AASHTO T-201 y ASTM D-244.

4.5.3.3 Demulsibilidad

Este ensayo indica la velocidad relativa a que los glóbulos coloidales de asfalto de las emulsiones de rotura rápida y media se unirán entre sí (o la emulsión romperá), cuando la emulsión se extienda en película delgada sobre el terreno o los agregados.

El cloruro cálcico coagula ó floccula los diminutos glóbulos de asfalto presentes en estas emulsiones. En el ensayo se mezcla con emulsión asfáltica una solución de cloruro cálcico de agua, tamizando a continuación la mezcla para determinar la cantidad de asfalto separada de la emulsión.

4.5.3.4 Ensayo de tamizado

Este ensayo complementa al de sedimentación y tiene un propósito en cierto modo similar. Se emplea para determinar cuantitativamente el porcentaje de asfalto presente en forma de glóbulos relativamente grandes.

Estos glóbulos no dan revestimientos delgados y uniformes de asfalto sobre las partículas de materiales graduados o pueden ser o no identificados por el ensayo de sedimentación y que solo tiene valor en este aspecto cuando hay suficiente diferencia entre el peso específico del asfalto y el del agua para permitir que se produzca la sedimentación.

En el ensayo de tamizado se hace pasar una muestra representativa de la emulsión asfáltica a través de un tamiz del numero 20.

4.5.3.5 Ensayo sobre el residuo

Usualmente se realizan sobre el residuo de destilación los ensayos de penetración, solubilidad y ductilidad correspondientes a los betunes asfálticos.

4.6 TÉCNICAS DE COLOCACIÓN

4.6.1 Consideraciones previas

La tela de pavimentación deberá mantenerse seca y envuelta de manera que se proteja de los elementos durante el traslado y almacenamiento. En ningún momento la tela de pavimentación deberá exponerse a la luz ultravioleta por un período que exceda los catorce días. Los rollos de tela de pavimentación deberán ser almacenados de una manera que se protejan de los elementos atmosféricos. Si se almacenan al aire libre, estos deberán estar elevados y protegidos con una cubierta impermeable. La tela de pavimentación deberá estar etiquetada según ASTM D 4873, "Guide for Identification, Storage, and Handling of Geotextiles" (Guía para la Identificación, Almacenamiento y Manejo de Geotextiles).

La temperatura ambiente debe ser adecuada para el manejo del asfalto, 10°C como mínimo para cementos asfálticos y 15°C como mínimo para emulsiones asfálticas. Los trabajos deben suspenderse cuando hay amenaza de lluvia.

El terreno debe tener una preparación previa a la colocación del geotextil. Este aspecto es muy importante para que el geotextil cumpla su función correctamente. Debe realizarse previamente una evaluación del pavimento para detectar y corregir problemas de insuficiencia estructural y de drenaje. Las grietas existentes

mayores de 3 milímetros de abertura deben ser previamente selladas con asfalto y mayores de 6 milímetros con mortero asfáltico. Ver figura No. 23 Las distorsiones y deformaciones deben corregirse con una capa de renivelación.

Se debe limpiar el pavimento viejo de tierra, agua, aceite y materiales extraños. Rellenar las grietas, según las indicaciones del ingeniero, con un relleno adecuado (como por ejemplo, concreto asfáltico o asfalto). Reparar las grietas y baches más grandes con una mezcla caliente debidamente compactada o con un relleno similar. El pavimento muy quebrado es una indicación de fallo en la subrasante y debe ser excavado y reemplazado antes de colocar las sobrecapas. Pavimento áspero pero estable puede requerir fresado o la colocación de una capa de nivelación antes de la instalación del geotextil y de la sobrecapa de asfalto. La superficie debe estar seca antes de colocar la capa ligante y el geotextil.



Relleno manual de las grietas con asfalto

Figura No. 23

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ESTA TESIS NO SALIÓ
DE LA BIBLIOTECA

La aplicación del asfalto debe ser uniforme y su dosificación depende de la porosidad de la superficie y de la retención del geotextil; puede calcularse con la siguiente expresión.

$$Qd = 0.3 + Qs + Qc$$

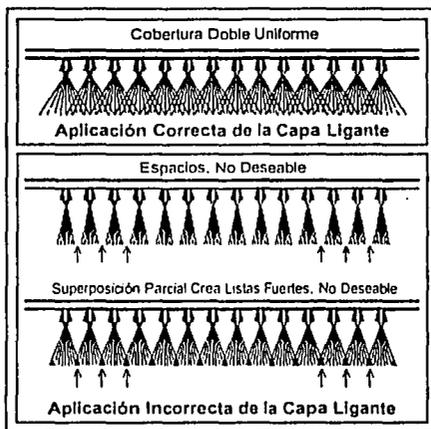
En donde:

- Qd Cantidad de asfalto aplicada, l/m^2
- Qs Asfalto retenido por el geotextil, l/m^2
- Qc Corrección por porosidad de la superficie, l/m^2

Los valores de Qc se presentan en la siguiente tabla.

Condición de la superficie	Qc (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

El asfalto debe aplicarse en el ancho del geotextil más 15 cm adicionales hacia ambos lados. La dosificación generalmente varía entre 0.9 y 1.2 l/m^2 . La correcta e incorrecta aplicación de la capa ligante se muestra en la figura No. 24



Aplicación de la capa ligante

Figura No. 24

En cualquier tipo de colocación que se utilice se deberá prever una terminación lisa para lograr una adherencia total de la tela, o por lo menos con un contenido mínimo de pliegues y dobleces; aquellos pliegues y dobleces que excedan de 2.5 cm deberán de ser cortados y colocados horizontalmente para después ser aplanadas. Se utilizarán escobas y 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 colocarán 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 exceder los 40 cm de ancho. En los traslapes de rollos paralelos deberá de procurarse que su traslape sea mínimo, de unos 7.5 cm, ya que podría presentarse el problema de inadecuada impregnación entre las dos capas del geotextil y su adherencia con el pavimento.

El geotextil que se extienda más allá del pavimento existente o de las áreas donde no fue aplicada la capa ligante deberá ser cortado y removido. Las operaciones normales de pavimentación deben efectuarse inmediatamente después de la colocación de la tela. Todas las áreas donde se colocó la tela de pavimentación deben pavimentarse el mismo día. Si la tela se llegara a mojar,

habrá que dejarla secar totalmente antes de pavimentar. Se recomienda un espesor mínimo de asfalto compactado de 3.81 cm, para proporcionar la temperatura y la presión adecuadas para unir el sistema. Sobrecapas compactadas de tan solo 2.5 cm de espesor se han colocado exitosamente en climas cálidos en pavimentos de tráfico liviano, pero generalmente no se recomienda. No se debe permitir el tránsito sobre el geotextil 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 del geotextil.

El geotextil dañado deberá ser removido y sustituido con el mismo tipo de geotextil, 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 de asegurarse de que se saturen de manera adecuada para cumplir con otra de sus aplicaciones, que es la de formar una barrera impermeable. Ver figura No. 25



Construcción de pavimento con geotextil

Figura No. 25

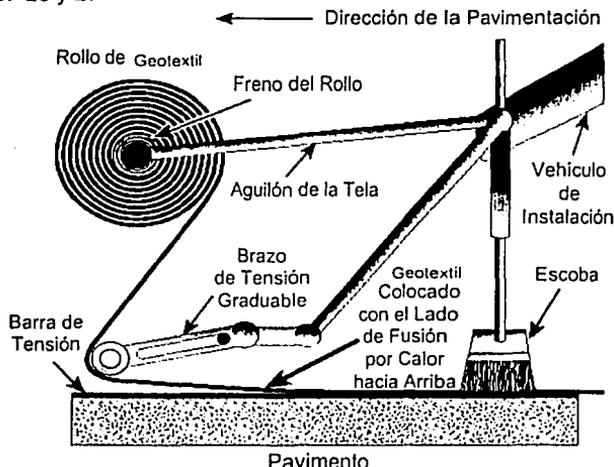
4.6.2 Tendido con máquina

La tela se puede instalar con un equipo mecánico montado en la parte delantera de un tractor o retroexcavadora o en la parte trasera del camión distribuidor. Estos métodos mecánicos requieren solamente dos obreros y un operador. Unidades manuales se pueden usar para trabajos pequeños.

Para el tendido del geotextil se utiliza generalmente un tractor pequeño que sea de poco peso, con el fin de que no dañe la estructura inferior del pavimento y el riego de liga, el cual en su parte delantera tiene instalado un aditamento especialmente diseñado para el tendido del geotextil.

El aditamento especial es una estructura metálica en la cual se coloca el rollo del geotextil permitiendo que éste gire libremente para que se vaya desenrollando y colocando sobre el pavimento con solo la acción del adecuado movimiento del tractor. Se debe vigilar mucho la velocidad del tractor ya que de ser alta puede producir mucha tensión en el geotextil y de ser baja puede presentarse la formación de pliegues. Otro punto importante a considerar cuando se coloca geotextil por medios mecánicos es la dirección del tractor, la cual debe ser perfectamente recta y en las curvas se debe tratar en forma especial. Si durante el tendido se presenta un cambio de dirección no planeado que sumado a la fuerza del tractor pudiera presentar el desprendimiento del geotextil que ya había sido adherido al pavimento con asfalto, obviamente repercutiría en un reacomodo del geotextil provocando mayores tiempos y costos.

El equipo mecánico para la colocación correcta del geotextil se muestra en las figuras No. 26 y 27



Esquema del equipo mecánico para la colocación del geotextil
Figura No. 26

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Equipo mecánico para la colocación del geotextil en funcionamiento

Figura No. 27

4.6.3 Tendido manual

El tendido manual se realiza básicamente con dos personas, una es la que sostiene el rollo del geotextil y la otra lo acomoda conforme van caminando a lo largo del pavimento, permitiendo que el geotextil se vaya desenrollando y por lo tanto se vaya colocando sobre el pavimento y adhiriéndose a éste con el asfalto.

El rollo se introduce en una barra que será sujeta en ambos extremos por un trabajador, ellos tendrán que caminar a un cierto ritmo para evitar que se presente la formación de pliegues y dobleces.

En este caso se debe cuidar mucho que ambos trabajadores tengan el ritmo de caminado adecuado y se lleve el rollo siempre a la misma altura, ya que de no ser así es muy fácil que se presenten defectos de colocación.

Ver Figura No. 28

El tendido de esa forma resulta ser más tardado y considerando que se debe de proceder antes de que el asfalto pierda sus propiedades cohesivas, el ritmo de colocación debe ser lo más rápido posible evitando al máximo tener contratiempos.

Debido a que los trabajadores no pueden ejercer mucha tensión durante la colocación, en ocasiones se puede presentar la formación de pequeños pliegues y dobleces.

Los principios básicos para el tendido manual son los siguientes:

- Se sujeta la barra de soporte y los frenos al rollo de geotextil y se regulan los frenos para una resistencia uniforme
- Se debe alzar y desenrollar el geotextil aproximadamente de 4.5 metros a 9 metros y se alinear  con el borde del pavimento o la guía procediendo a estirarlo para que no forme arrugas al tenderlo sobre la capa ligante
- Se cepilla el geotextil desde el centro hacia afuera, siguiendo la dirección del tendido
- Se continua repitiendo el proceso de alzar y desenrollar
- El tejido deberá estirarse lo suficiente para acomodarse a las curvas abiertas, pero en las curvas cerradas podrá requerirse cortar y traslapar
- En el caso de que se formen arrugas, se cortar  y traslapar  el tejido en la dirección de la pavimentación.



Obreros realizando la colocación manual del geotextil

Figura No. 28

4.6.4 Principales diferencias en la colocación del geotextil en un pavimento nuevo y uno restaurado

Quando se coloca el geotextil en un pavimento nuevo se debe tener una especial atención en la superficie final que presente la base sobre la cual se colocará el geotextil; ésta debe tener las mejores condiciones de calidad, es decir debe ser al máximo plana, lisa, tener la menor rugosidad y porosidad posible, para que sobre de ésta se proceda aplicar el riego de liga y posteriormente sobre éste el geotextil.

En el pavimento a restaurar, se tiene primeramente que hacer 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 3 milímetros, se llenarán con material asfáltico a la temperatura de aplicación que garantice su penetración
- Cuando su ancho sea mayor de 6 milímetros, se deberán rellenar con una mezcla de producto asfáltico y arena cuya fluidez garantice la penetración, o con capas alternas de arena y producto asfáltico, cuidando que éste último quede en la capa final superficial

Además de corregir las fallas y grietas se debe limpiar perfectamente la superficie del pavimento viejo, eliminando toda clase de material indeseable como polvo, plástico, basura e incluso residuos metálicos.

Esta son en general las diferencias que se tienen en la colocación del geotextil. Una vez atendido lo anterior en el pavimento y se haya aplicado el riego de liga, las técnicas de colocación del geotextil son las mismas para ambos casos. Con base en lo anterior se puede puntualizar que las diferencias en la colocación de geotextil consisten básicamente en la preparación de la superficie sobre la que se tenderá el geotextil.

CAPÍTULO 5

PRUEBAS EN CARPETAS ASFÁLTICAS CON GEOTEXTILES

La determinación de la eficiencia del geotextil en un pavimento es muy importante, ya que aunque en teoría, éste se diseñe adecuadamente y se tenga riguroso cuidado en todos los aspectos del diseño que sean necesarios, en la práctica, es decir al momento de realizar la construcción del pavimento siempre estaremos a la merced de diversos factores que alteraran las condiciones bajo las que se ha planteado el diseño y la construcción (lluvia, contaminación del agregado, polvo, tránsito de vehículos, retrasos en la construcción, etc), disminuyendo así la eficiencia real del pavimento comparada con la que se diseñó originalmente; esta condición es inevitable en cualquier obra, sin embargo es importante entonces, conocer, en nuestro caso, la eficiencia del geotextil una vez ya colocado en un pavimento, para esto se han desarrollado algunas pruebas que determinan la eficiencia durante el funcionamiento normal del pavimento con geotextil. Las que a juicio propio considero como las más importantes por la función que prueban son las que se describen adelante. Con el fin de medir y comparar la resistencia al agrietamiento en carpetas de concreto asfáltico con y sin geotextil se han desarrollado pruebas de fatiga en laboratorio.

5.1 ESTIMACIÓN DE REQUERIMIENTO DE ADHESIVO

Con el fin de que la carpeta quede bien colocada es necesario que el riego de liga tenga buena adherencia tanto en su parte inferior como con la carpeta. En lo que respecta al geotextil, el adhesivo debe de ser de tal tipo que permita una buena adherencia en la capa inferior penetrando el geotextil de abajo hacia arriba y que a la vez provea el exceso necesario de adhesivo en la parte superior con el fin de que la carpeta tenga una buena adherencia al geotextil. Para que este efecto se presente es necesaria la presencia de dos factores: calor y presión.

El calor necesario será proporcionado tanto por el mismo adhesivo como el que tendrá la carpeta. La presión será proporcionada tanto por la carpeta en el momento de la construcción como por la compactación final que se le desee dar a esta.

El factor de riego recomendado para el adhesivo se obtiene usando una máquina de prueba Marshall. Ver figura No 29. Esta prueba se realiza siguiendo los siguientes pasos:

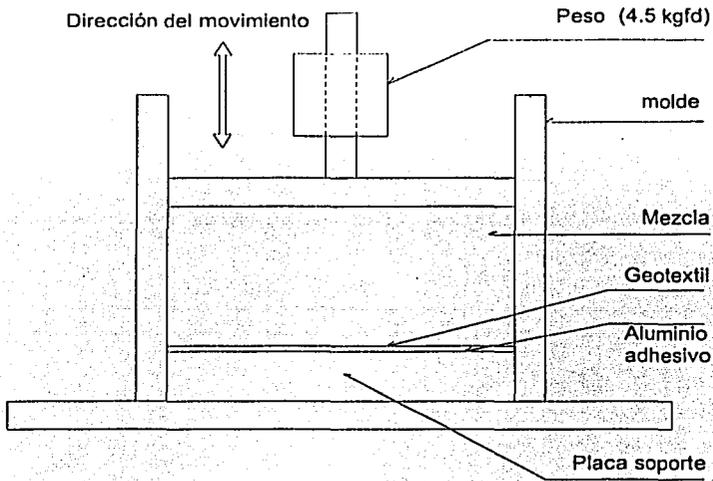
- Se coloca una lamina de aluminio en la placa inferior.
- Se colocan uniformemente diferentes capas de adhesivo a razón de 0.3, 0.6, 0.7 y 0.9 litros por metro cuadrado.
- Se coloca el geotextil sobre el adhesivo.
- Se coloca un bloque compactado de concreto asfáltico dentro del molde.
- Se deja caer el pistón 75 veces sobre el bloque de concreto para cada geotextil con sus diferentes cantidades de adhesivo (peso = 4.5 Kg y longitud de caída = 45 cm)

Después de las pruebas, la temperatura baja y se procede a remover el geotextil dividiendo la muestra en cuadros de 2.5 mm por 2.5 mm. Se cuenta el número de cuadritos que quedan saturados y este número se divide entre el número de

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

cuadritos no saturados, con lo cual se obtiene una relación para cada prueba. De esta forma se obtiene un porcentaje, en el que el 100 % de saturación es el valor más bajo de relación de riego. A continuación se grafican los porcentajes contra la relación de riego.

Para correlacionar estos valores es necesario apoyarse en otras pruebas especiales de retención de aceite y otros (Texas, FHWA, etc.). Pero inclusive entre estas pruebas la retención de asfalto cambia, por lo que para su determinación es importante simular el peor de los casos que pudiera existir ya en el campo.



Equipo para determinar el riego de liga óptimo

Figura No. 29

5.2 PRUEBAS DE FLEXIÓN Y CRECIMIENTO DE GRIETAS

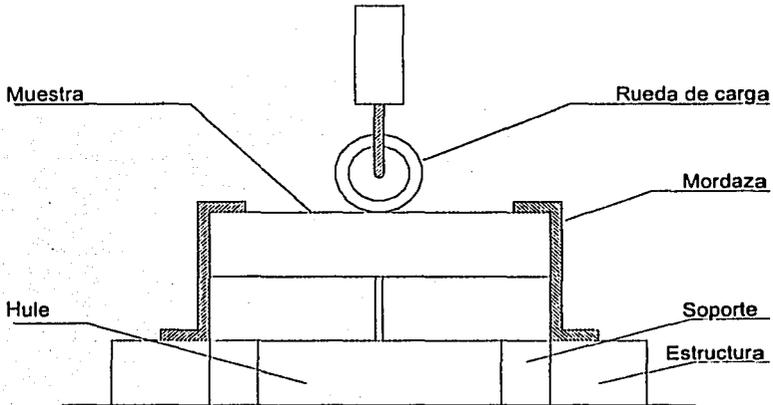
Al aplicar en forma constante cargas simuladas de vehículos pesados, puede ocurrir la reflexión de grietas. Para simular la acción del paso de las ruedas se utiliza un equipo adecuado (ver figura No. 30). La muestra de geotextil se encapsula entre dos capas de carpeta asfáltica. La capa inferior tiene un espesor de 5 cm, pero la capa superior varía desde 2 hasta 4 centímetros con el fin de investigar el efecto de la capa superior sobre el crecimiento de grietas (ver figura No. 31). Se realiza un corte de 4 mm de ancho sobre la capa inferior con el fin de simular un agrietamiento anterior en la carpeta asfáltica repavimentada, además se realiza el corte exactamente a la mitad del bloque con el fin de permitir movimientos diferenciales verticales y esfuerzos cortantes verticales en la capa superior. Ambas capas son manufacturadas de concreto asfáltico convencional y el geotextil en todos los casos es intercalado siguiendo la tabla que indica la cantidad de asfalto requerido para cada tipo de tela. Como se muestra en la figura No. 31, el aparato permite la deflexión de la muestra a través de la rueda de carga ya que está instalado el resto del sistema sobre una capa de hule y sujeto por unas prensas instaladas a los lados del equipo. La carga ejercida por la rueda es controlada por un pistón de aceite y la rueda se hace girar a razón de 50 vueltas / minuto. Se miden las longitudes de las grietas tanto en la cara superior como en la capa inferior de la muestra a intervalos regulares de 200 a 400 ciclos. Se considera el promedio de estos dos valores para todos los análisis. Se rocía un polvo blanco en ambas caras para hacer más visibles las grietas. El procedimiento se da por terminado cuando las grietas alcanzan la parte superior en ambas caras de las carpetas asfálticas. Las muestras de control también son impregnadas con cemento asfáltico.

La prueba que se realiza consiste de una probeta formada por 2 capas de concreto asfáltico. El espesor de la capa es inferior a 50 cm en todos los casos pero en la prueba de control y la de geotextil A, varía el espesor de la carpeta superior de 2 a 4 cm, del mismo modo varía la proporción del riego de liga de 0.5 a 0.9 L/m² en la muestra de geotextil A para verificar en que tanto ayuda el aumentar o disminuir el riego de liga. Para cada probeta se grafica la longitud de grieta contra el número de pasadas de carga y se cuenta el número de ciclos en los cuales empiezan a aparecer grietas en la capa superior. Las observaciones obtenidas son las siguientes: por lo que se refiere al crecimiento de grietas por fatiga en la capa superior, las muestras con geotextil con capa superior de 3 cm y el riego de liga adecuado, tienen la capacidad de retardar la aparición de grietas y claramente pueden aumentar el número de ciclos de carga de 1/1.5 a 1/3.0 comparados con la muestra de control que no tenía geotextil.

Por otro lado, la variación en la proporción de riego de liga en las pruebas 2, 3 y 4 del geotextil A también muestra que el riego de liga adecuado da un valor de ciclos de carga más alto. De tal forma que es evidente que la determinación del riego de liga juega un papel importante para la vida útil tanto del geotextil como del pavimento.

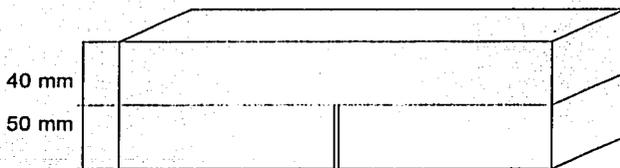
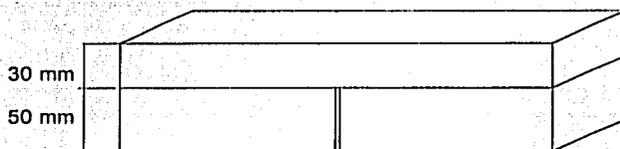
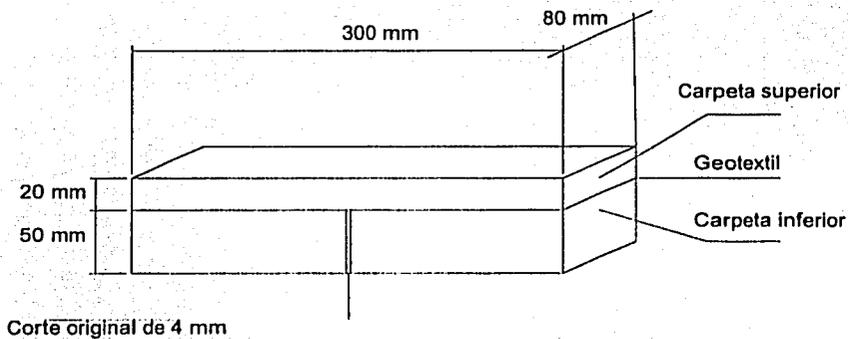
Ahora bien, variando el espesor de la carpeta superior el número de ciclos de carga aumenta considerablemente cuando se incrementa el espesor de 2 a 4 cm e inclusive la muestra con geotextil y 3 cm de carpeta obtiene casi el mismo valor que la muestra que no tenía geotextil y que esta compuesta por 4 cm de carpeta superior. Así que queda claro que es posible reducir el espesor de la carpeta asfáltica cuando se usa un geotextil.

El concreto asfáltico se vuelve muy quebradizo a temperaturas menores de cero grados centígrados y a estas temperaturas en que se realizan las pruebas de flexión una vez que la grieta ya ha alcanzado la profundidad total o sea de lado a lado. La resistencia a la ruptura es casi la misma para todas las muestras que tienen geotextil intercalado e inclusive para muestras que no tienen geotextil. Pero las muestras con geotextil siguen mostrando un 50 % de resistencia del valor original; en cambio la muestra sin control baja su resistencia casi a cero después de la ruptura



Equipo simulador de ciclos de carga

Figura No. 30



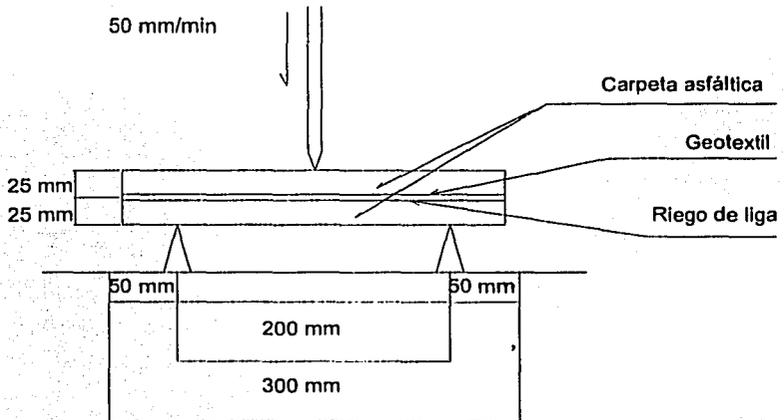
Muestras de fatiga a la flexión

Figura No. 31

5.3 PRUEBAS DE DEFORMACIÓN E IMPERMEABILIDAD

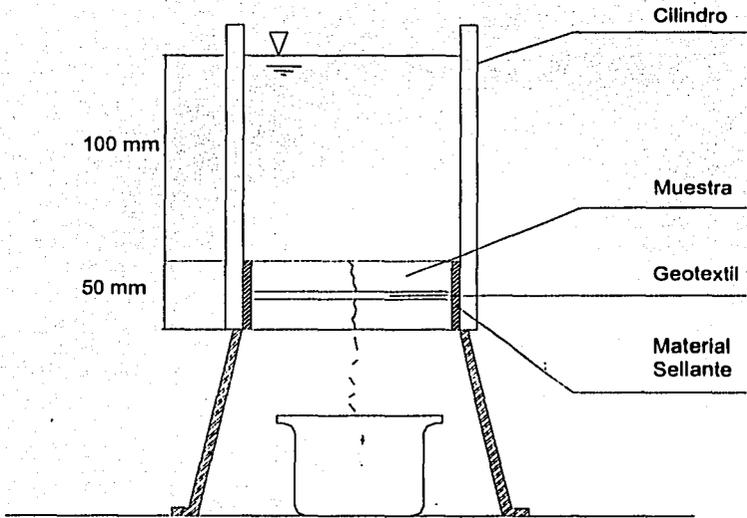
Las muestras conteniendo una tela no tejida curada durante cuatro horas a cero grados centígrados, se someten a prueba para verificar su deformación e investigar la efectividad del geotextil, la aplicación de la carga se hace en forma continua hasta que la deformación llega a los dos centímetros (ver figura No. 32) y se mide la resistencia remanente después de que la muestra se rompe. Después la muestra es colocada en el aparato que mide la impermeabilidad (ver figura No. 33) con el fin de verificar cual es la efectividad del geotextil una vez que la carpeta está agrietada en ambos lados.

Después de la ruptura hay una diferencia significativa entre las muestras que tienen geotextil y la que no lo tienen en lo que se refiere a la permeabilidad. Es evidente que el geotextil con cemento asfáltico tiene la capacidad de proteger la carpeta anterior aun después de que la carpeta nueva se haya agrietado.



Equipo de flexión

Figura No. 32



Equipo para medir la permeabilidad

Figura No. 33

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CONCLUSIONES

En la actualidad existen muchos productos en la industria de la construcción que presentan buenas características tanto físicas, mecánicas e hidráulicas, aunque desafortunadamente no siempre vemos todas estas virtudes juntas, por lo que generalmente nos vemos obligados a combinar las propiedades de diferentes materiales para satisfacer las necesidades que tenemos que afrontar.

Los geotextiles nos brindan una gran cantidad de propiedades que nos obligan a tenerlos muy en cuenta en lo que se refiere a obras de drenaje, taludes, separación de materiales, rellenos sanitarios, vías férreas y pavimentos entre otros usos. Los geotextiles permiten la construcción de obras en las que las condiciones del terreno son difíciles y sin los cuales el trabajo sería imposible.

El geotextil realmente no es un material nuevo, su historia es de ya algunas décadas, aunque no ha tenido una gran difusión lo que ha repercutido directamente en su poco uso. En un principio sus características no eran muy claras e incluso se le atribuían algunas que no tenía y se demeritaban otras que sí posee; pero actualmente organizaciones internacionales de prestigio dedicadas a la normatividad de materiales como la ASTM y AASHTO cuentan ya con muchos estudios al respecto, además con pruebas perfectamente estandarizadas que controlan la calidad y propiedades de los geotextiles.

Su origen sintético a base de polímeros es en sí una gran ventaja ya que estos se pueden manejar en un laboratorio incrementando las propiedades que requiere en mayor medida el mercado, permitiendo tener geotextiles con mayores bondades para más aplicaciones.

En los pavimentos existen las condiciones para la aplicación de los geotextiles. Un pavimento es una estructura heterogénea, en el que diferentes materiales (en su mayoría pétreos), con características diferentes (granulometría, plasticidad, ángulo de fricción interna, contenido de humedad, compactación, etc.) aportan sus propiedades para transmitir en forma ordenada y uniforme las cargas que son producidas sobre este por efecto del tránsito a que está sujeto.

De acuerdo a lo expuesto en este trabajo tenemos dos situaciones en las que el uso de un geotextil es de gran ayuda. La primera es para controlar las condiciones de la estructura del pavimento y la segunda es para contribuir al mejoramiento del funcionamiento del pavimento.

Para controlar las condiciones de la estructura se coloca el geotextil entre la subrasante y la base del pavimento.

Ya se vio anteriormente que una de las principales causas de falla en los pavimentos construidos en suelos blandos es la contaminación de la base de agregado, lo que provoca la disminución efectiva del agregado, debilitando el apoyo del camino y reduciendo su rendimiento y vida útil.

Encontrar un procedimiento constructivo en el que con solo la aplicación de materiales pétreos se pueda garantizar la no contaminación del material de buena calidad de la base del pavimento con el de menor calidad de la subrasante es prácticamente imposible sin la ayuda de una membrana fabricada de otro material diferente al de la estructura.

Esta membrana deberá ser además resistente a los esfuerzos que sobre de ella se transmitirán, resistente a los agentes biológicos y a la degradación, al punzonamiento que el material que sobre éste este le produzca, etc; para estos requerimientos un geotextil es un material que se acopla perfectamente a estas necesidades.

Cuando la experiencia del ingeniero al conocer el sitio en que se pretende construir una carretera además del apoyo de datos técnicos y estadísticos de la región prevé el uso de un geotextil, repercutirá directamente en tener un funcionamiento correcto de la estructura del pavimento por un periodo mayor de tiempo aliviando al usuario de las molestias y riesgos que las fallas provocan en éste.

En el caso en el que el pavimento se encuentra presa de diversas fallas, hemos visto que la manera usual de remediarlo es con la simple aplicación de una carpeta asfáltica, sin embargo no hace falta decir que aunque en algunas ocasiones este tratamiento es suficiente en gran parte de estas no es así; al paso del tiempo las fallas ya presentes en el pavimento serán reflejadas nuevamente en la superficie de la carpeta asfáltica.

Las fallas se ven reflejadas en diversas zonas de la carpeta asfáltica, provocando la degradación y desintegración de la carpeta y por lo tanto permitiendo la penetración de otros materiales en la estructura del pavimento; las rocas, basura, objetos metálicos, objetos plásticos, objetos orgánicos y el agua son ejemplos claros de esta contaminación que se filtra en la estructura por las grietas y fisuras de la carpeta asfáltica, provocando la disminución de la resistencia y en el caso del agua variaciones volumétricas que son en extremo dañinas para la estructura.

La aplicación de la sobre carpeta adiciona resistencia a los esfuerzos transmitidos y corrige el índice de servicio mejorando el confort para el usuario que transita sobre el pavimento. Pero esto no es suficiente ya que solo es un mantenimiento correctivo, por lo que se tiene que realizar uno preventivo. Es aquí donde el geotextil nos es útil.

Un geotextil bloquea el flujo de agua a través del pavimento y separa los materiales ajenos a este permitiendo tener menores deformaciones en el pavimento. Al actuar como elemento de alta resistencia a la tensión proporciona al elemento resistencia a los agrietamientos, es decir que un geotextil reduce de manera considerable la aparición de grietas y deformaciones ya que controla los esfuerzos y la cantidad de agua que fluye a través de la estructura del pavimento.

Son pues claras las ventajas técnicas que se adquieren con la inclusión de un geotextil en la estructura de un pavimento, pero además en la cuestión económica son igualmente apreciables estas ventajas.

El costo que la colocación del geotextil entre la subrasante y la base del pavimento no es comparable con el beneficio obtenido. La reducción de los costos de mantenimiento y operación del pavimento al prolongar la vida útil, justifican su aplicación en este caso.

En el caso en el que se aplica bajo la sobre carpeta queda claro según las pruebas mencionadas en este trabajo que es posible reducir el espesor de la sobre carpeta cuando se usa un geotextil, reduciendo en este caso los costos de construcción.

Son entonces muchas las cualidades técnicas e incluso económicas que un geotextil proporciona a las obras de ingeniería civil, pero no hay que olvidar que una consideración muy importante en todas las obras es la apreciación, conocimientos y experiencia del ingeniero responsable a cargo, el cual tendrá a cabo la realización del análisis de las condiciones existentes y será quien decida la aplicación o no de este u otro material. Su aplicación en obras en las que no son requeridas sus propiedades nos provocara el incremento del costo de la obra sin un beneficio real, mientras que si no aplica y la obra lo requiere los costos de mantenimiento y operación serán elevados. Es entonces muy importante la correcta valoración del uso del geotextil ya que de esto dependerá en gran medida su éxito o fracaso.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos
Geosintéticos, geotextiles y geomembranas
Primer simposio sobre geosintéticos, SMMS, México, julio de 1990
2. Martínez Rosete Edith
Construcción y mantenimiento de pavimentos
Tesis, UNAM. Facultad de Ingeniería, 1996
3. Day David A.
Biblioteca Internacional del Ingeniero civil, Vol. I y II
México, DF, Editorial Limusa, 1992
4. Murillo Fernández Rodrigo
Los geotextiles como materiales de construcción
XV Congreso Nacional de Ingeniería Civil, CICM, México, 1989
5. Apodaca Melchor J. Rubén
Empleo de geotextiles en el diseño y construcción
División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM
México 1984
6. Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, AMIVT – AMOCO
Los geotextiles en el diseño de vías terrestres
Segundo Seminario técnico, México DF. , Junio de 1995
7. Dirección General de Conservación de Obras Publicas
Normas para calificar el estado físico de un camino
Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Subsecretaría de Infraestructura
8. Koerner, Robert M.
Designing With Geosynthetics
Editorial Prentice Hall
Fourth Edition

9. Berry, Peter L. and Reid, David

Mecánica de Suelos

México DF. Editorial McGraw Hill 1993

10. Ortiz Hermosillo Ricardo Enrique

Rediseño y rehabilitación de pavimentos con el uso de geotextiles

Tesis, UNAM, ENEP Acatlán, 1997

11. Bernal Morales José Ángel y Meza Hilario Juan

Procedimientos de construcción en pavimentos

Tesis, UNAM, ENEP Acatlán, 1983

12. Sánchez Martínez Alejandro

Geomembranas en pavimentos flexibles

Tesis, UNAM, ENEP Acatlán, 1986

13. Verdin Balderas Daniel

Mantenimiento y/o rehabilitación de caminos

Tesis, UNAM, ENEP Acatlán, 1988

14. Díaz Pérez Jorge Alberto

Refuerzo de muros de contención con geotextiles

Tesis, UNAM, ENEP Acatlán, 1996

15. Lara Navarro Pablo Damian

Aplicación de geotextiles en la estabilidad de taludes

Tesis, UNAM, ENEP Acatlán, 1995

16. Samano Álvarez Aarón Andrés

Uso de geotextiles en obras de protección para control y previsión de la erosión en márgenes de ríos y costas

Tesis, UNAM, ENEP Acatlán, 1991

17. Amoco Fabrics and Fibers Company

Capacidad de los geotextiles

Archivo PDF, Atlanta Georgia, 1996

18. Amoco Fabrics and Fibers Company
El Sistema Petromat de Amoco
Archivo PDF, Atlanta Georgia, 1998

19. Amoco Fabrics and Fibers Company
Nota Técnica No. 1 Funciones de los Geosintéticos
Archivo PDF, Atlanta Georgia, 1994

20. Amoco Fabrics and Fibers Company
Guía para especificar telas de pavimentación
Archivo PDF, Atlanta Georgia, 1994

21. <http://www.e-asfalto.com/propiedades/propiedades.htm>
e-asfalto.com "El sitio de asfaltos en internet"

22. <http://www.construaprende.com/Trabajos/T6/T6paq01.html>
Concreto asfáltico

23. F. P. Germann R. L. Lytton
Methodology for predicting the reflection cracking life of asphalt concrete overlays
Texas Transportation Institute
Texas University, 1979

23. R. S. Smith
Laboratory testing of fabric interlayers for asphalt concrete paving
Interim Report Federal Highway Administration

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
No. 1	Dispositivos para la fabricación de filamentos de sección transversal plana o cilíndrica	7
No.2	Orientación molecular en filamentos a consecuencia del estiramiento	8
No. 3	Geometría transversal	13
No. 4	Ensaye "Grab"	18
No. 5	Curva Esfuerzo-Deformación Prueba de Resistencia a la tensión Grab	19
No. 6	Prueba de resistencia a la abrasión	23
No. 7	Prueba de resistencia al punzonamiento	24
No. 8	Prueba de resistencia al rasgado	25
No. 9	Flujo en geotextiles	29
No. 10	Arreglo para la determinación de la relación de gradientes	30
No. 11	Equipo para la determinación del tamaño de abertura aparente de los geotextiles	31
No. 12	Fabricación de los geotextiles tejidos	37
No. 13	Fabricación de los geotextiles no tejidos	38
No. 14	Fabricación de los geotextiles no tejidos	39
No. 15	Fabricación del geotextil por el proceso de calandreo	40
No. 16	Proceso de punzonado	41
No. 17	Pavimento deteriorado	44
No. 18	Pavimento con geotextil en perfectas condiciones	45
No. 19	Estructura de un pavimento con geotextil	53
No. 20	Riego manual de asfalto con boquilla	69
No. 21	Petrolizadora en funcionamiento	70
No. 22	Petrolizadora en funcionamiento	70
No. 23	Relleno manual de las grietas con asfalto	79
No. 24	Aplicación de la capa ligante	81
No. 25	Construcción de pavimento con geotextil	82
No. 26	Esquema del equipo mecánico para la colocación del geotextil	83
No. 27	Equipo mecánico para la colocación del geotextil en funcionamiento	84
No. 28	Obreros realizando la colocación manual del geotextil	85
No. 29	Equipo para determinar el riego de liga optimo	89
No. 30	Equipo simulador de ciclos de carga	91
No. 31	Muestras de fatiga a la flexión	92
No. 32	Equipo de flexión	93
No. 33	Equipo para medir la permeabilidad	94