

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

**GEOTEXILES
EN LA
CONSTRUCCION, RECONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO
DE
TERRAPLENES Y PAVIMENTOS**

TESIS

Presentada a la Junta Directiva

de la

Facultad de Ingeniería

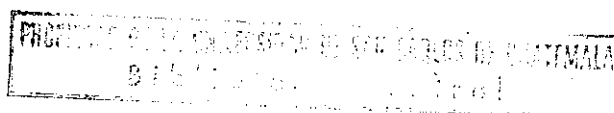
POR

CESAR AUGUSTO MARROQUIN YOC

Al conferírsele el Título de

INGENIERO CIVIL

Guatemala, octubre de 1,997





08
T(4123)
c.4

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

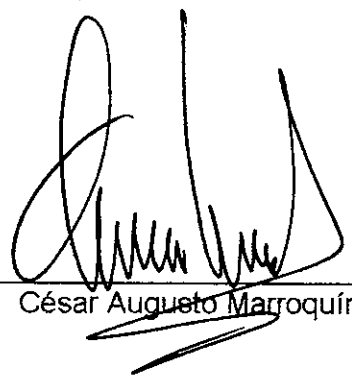
FACULTAD DE INGENIERIA

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

**GEOTEXTILES
EN LA
CONSTRUCCION, RECONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO
DE
TERRAPLENES Y PAVIMENTOS**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 18 de marzo de 1,997.



César Augusto Marroquín Yoc



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

DECANO:	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL PRIMERO:	Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
VOCAL TERCERO:	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
VOCAL CUARTO:	Br. Victor Manuel Lobos Aldana
VOCAL QUINTO:	Br. Wagner Gustavo López Cáceres
SECRETARIO:	Ing. Gilda Marina Castellanos de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN

GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR:	Ing. Edgar Fernando Valenzuela Villanueva
EXAMINADOR:	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
EXAMINADOR:	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
SECRETARIO:	Ing. Gilda Marina Castellanos de Illescas



Guatemala,
5 de septiembre de 1,997.

Señor
Ing. Edgar de León Maldonado
Coordinador del Area de Transportes
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad.

Señor Ingeniero:

Tengo el agrado de dirigirme a usted, para informarle que de acuerdo a la designación recibida, he asesorado y revisado el trabajo de tesis del estudiante **César Augusto Marroquín Yoc**, quien desarrolló el tema **Geotextiles en la Construcción, Reconstrucción y Mantenimiento de Terraplenes y Pavimentos**.

Es importante hacer notar que aún cuando el uso de geotextiles para drenaje no fue considerado al proponerse y aprobarse el tema de ésta tesis, al desarrollarse este trabajo se ha considerado necesario incluir esta aplicación toda vez que el drenaje es de vital importancia para toda obra de ingeniería civil.

Al respecto manifiesto que el trabajo de tesis ha sido realizado con dedicación y esmero; por lo que el mismo, es un valioso aporte bibliográfico nacional sobre el tema tan importante y de actualidad. Me consta lo acucioso de la investigación y la aportación personal del estudiante Marroquín Yoc.

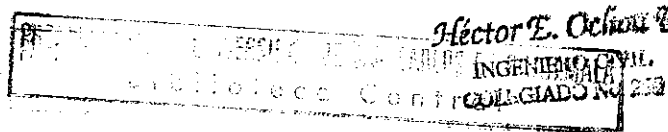
Por lo tanto, me complace emitir dictamen favorable, **aprobando** dicha tesis.

Sin otro particular.

Atentamente,



Ing. Héctor Everardo Ochoa Urraca
COLEGIADO No. 250







FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Ingeniero

Jack Douglas Ibarra Solórzano

Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad.

Guatemala,
12 de septiembre de 1,997.

Señor Director:

Tengo el agrado de someter a su consideración el trabajo de tesis titulado **Geotextiles en la Construcción, Reconstrucción y Mantenimiento de Terraplenes y Pavimentos**, realizado por el estudiante universitario **César Augusto Marroquín Yoc**, quien contó con la asesoría del Ingeniero Héctor Everardo Ochoa Urraca.

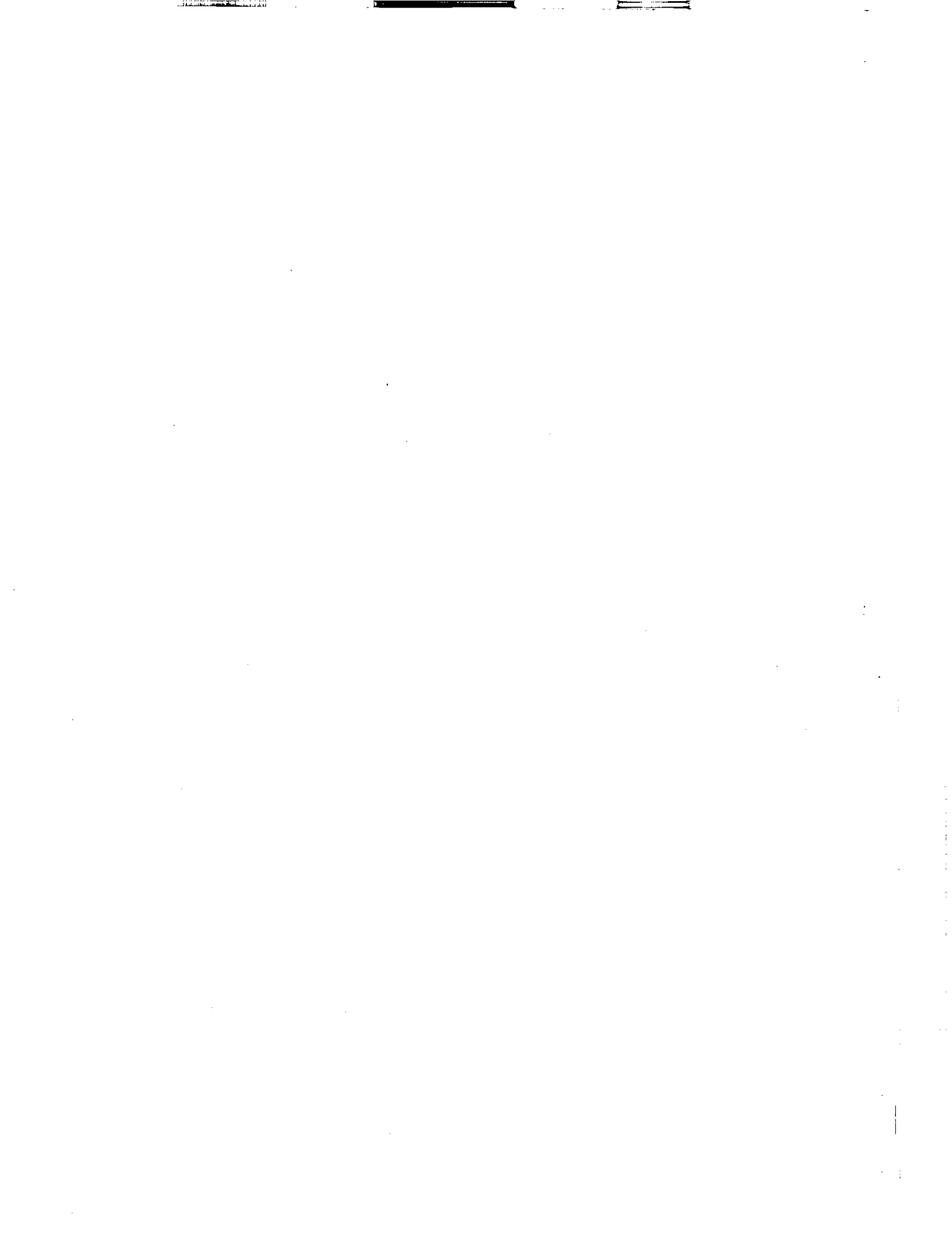
El trabajo en cuestión, cumple con los requerimientos necesarios, por lo que me permito recomendar su **aprobación** para los efectos subsiguientes.

Sin otro particular lo saluda, atentamente.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Ing. Edgar de León Maldonado
Coordinador del Área de Transportes



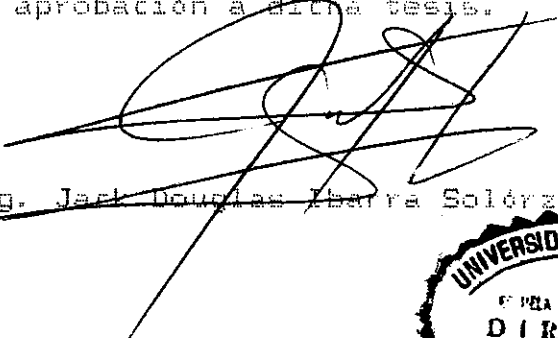


FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Héctor Everardo Ochoa Urraca y del Jefe del Departamento de Transporte Ing. Edgar Daniel de León Maldonado, del trabajo de tesis del estudiante César Augusto Marroquín Yoc, titulado GEOTEXILES EN LA CONSTRUCCION, RECONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO DE TERRAPLENES Y PAVIMENTOS, da por este medio su aprobación a dicha tesis.


Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano



Guatemala, octubre de 1, 1997.

JDIS/bbdeb.





FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis **GEOTEXILES EN LA CONSTRUCCION, RECONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO DE TERRAPLENES Y PAVIMENTOS**, del estudiante César Augusto Marroquín Yoc, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Herbert René Miranda Barrios

DECANO

Guatemala, octubre de 1, 997

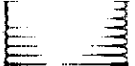
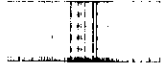


/bbdeb.



DEDICATORIA A:

- DIOS:** Por el don de la vida y las facultades para adelantar mis estudios.
- MIS ABUELOS:** Romualdo Yoc copín (Q.E.P.D.)
Rosenda González Rodríguez de Yoc (Q.E.P.D.)
Antonia Marroquín
Por sus consejos y enseñanzas
- MIS PADRES:** Augusto Marroquín (Q.E.P.D.)
Enriqueta Yoc González Vda. de Marroquín
Por sus múltiples esfuerzos de toda la vida.
- MIS HERMANOS:** Miriam, Alicia y Jorge Mario
Con mucho aprecio.
- MIS SOBRINOS:** Jimmy Rolando, Jonathan Estuardo y Josseline Karina
Con amor y cariño.
- MI FAMILIA EN GENERAL:** Especialmente a mis primas: María Yolanda, Zoila Edelmira, y a mi tío Romualdo Yoque González.
Por su apoyo incondicional.
- MI BUEN AMIGO:** Ing. Juan Carlos Romero Mérida (Q.E.P.D.)
Por su amistad y compañerismo inolvidable.



AGRADECIMIENTOS A:

GUATEMALA: Por la oportunidad de colaborar a su engrandecimiento.

**LA UNIVERSIDAD
DE SAN CARLOS:** Por la formación académica recibida.

**LA FACULTAD DE
INGENIERIA:** Por los conocimientos adquiridos en sus aulas.

LA EMPRESA: SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.
Por la oportunidad laboral, el apoyo brindado y hacer posible la culminación de mi carrera.

Ing. Rodrigo Estuardo Díaz Arriola
Por el aporte del tema de tesis.

Ing. Héctor Everardo Ochoa Urraca
Por su amable atención en la asesoría de tesis y por compartir sus experiencias en el campo de la ingeniería.

Ing. Tomas Hishman
Por su amable atención, aporte bibliográfico y por compartir sus experiencias en el campo del geotextil.

**LOS AMIGOS Y
COMPAÑEROS
EN GENERAL:**

Especialmente a:
Juan Carlos Velásquez Avila
Miguel Antonio Reyes Ventura
Mildred Alejandra Martínez Zepeda
Erwin Ulises López Pivaral
Luis Antonio Díaz Illescas
Dan Herberth Teni Pérez
Luis Rafael Choc
Mario Fernando Tabarini Barrios

Por sus amable y sincera amistad.

INDICE GENERAL

	Página
INDICE DE TABLAS	iv
INDICE DE FIGURAS	v
OBJETIVOS	vii
JUSTIFICACION	viii
GLOSARIO	ix
INTRODUCCION	1
CAPITULO 1: GENERALIDADES	3
1.1 Historia	3
1.2 Definición de geotextil	4
1.3 Tipos de geotextil	4
1.3.1 Tejidos	4
1.3.2 No tejidos	5
1.3.2a Termosellados	5
1.3.2b Entrelazados mecánicamente	5
CAPITULO 2: FUNCIONES DEL GEOTEXTIL	7
2.1 Separación	7
2.2 Filtración	10
2.3 Drenaje	12
2.4 Refuerzo	13
CAPITULO 3: APLICACIONES DEL GEOTEXTIL	16
3.1 Terraplenes en suelos blandos	16
3.2 Pavimentos	18
3.2.1 Pavimentos flexibles	21
3.2.2 Pavimentos rígidos	22
3.3 Obras hidráulicas	22
3.3.1 Materiales graduados para filtros	23
3.3.2 Los geotextiles como filtros	23
3.4 Drenajes	24
3.4.1 Cajas, colectores y alcantarillados	24
3.4.2 Drenajes subterráneos	25
CAPITULO 4: DISEÑO	27
4.1 Métodos de cálculo y diseño en terraplenes	28
4.2 Diseño con geotextiles en pavimentos	34
4.2.1 Principios de diseño	37
4.2.2 Espesor de las capas del pavimento	39
4.2.3 Caminos vecinales o temporales	39

	Página
4.3	Diseño con geotextiles en drenajes 43
4.3.1	Cajas colectores y alcantarillados 43
4.3.2	Drenaje subterráneo 44
4.4	Diseño por función con geotextiles 45
4.4.1	Ejemplo de diseño por función 49
4.5	Selección del geotextil 50
	 CAPITULO 5: COLOCACION DEL GEOTEXTIL 51
5.1	Procedimiento constructivo en pavimentos 53
5.1.1	Almacenamiento en obra 53
5.1.2	Condiciones ambientales 53
5.1.3	Preparación de la superficie 53
5.1.4	Aplicación del asfalto 54
5.1.5	Control del tránsito 54
5.1.6	Colocación de la sobrecarpeta 55
5.2	Colocación del geotextil en terraplenes 55
5.3	Colocación del geotextil en drenajes 55
	 CAPITULO 6: RESULTADOS 57
6.1	Comportamiento observado en pavimentos 57
6.2	Comportamiento observado en en obras hidráulicas 61
6.3	Comportamiento observado en terraplenes 61
	 CAPITULO 7: ESPECIFICACIONES 63
7.1	Generalidades 63
7.1.1	Normas Generales 63
7.1.1.1	Empaque y almacenamiento 64
7.1.1.2	Exposición durante su colocación 64
7.1.1.3	Costura o pegado de juntas 64
7.2	Especificaciones para pavimentos 64
7.2.1	Materiales 65
7.2.2	Equipo 65
7.2.3	Procedimiento constructivo 66
7.3	Especificaciones para drenaje 67
7.3.1	Materiales 68
7.4	Especificaciones para separación 68
7.4.1	Materiales 70
7.4.2	Requerimientos de construcción 71
7.5	Especificaciones para filtro 71
7.5.1	Material 71
7.5.1.1	Requisitos Generales 71

	Página
7.5.1.2 Aplicación	72
7.5.1.3 Requisitos de resistencia	72
7.5.1.4 Costuras	73
7.6 Requisitos hidráulicos	73
CAPITULO 8: PRUEBAS DE LABORATORIO	74
8.1 Estimación de requerimiento de adhesivo	74
8.2 Prueba de flexión y crecimiento de grietas	75
8.3 Pruebas de deformación e impermeabilidad	77
8.3.1 Pruebas de espesor	78
8.4 Fátiga a la flexión	78
8.5 Prueba de flexión cuando la falla es severa	79
8.6 Prueba de tensión	80
8.6.1 Pruebas de tensión para drenajes	81
CAPITULO 9: VENTAJAS	82
9.1 Económicas	83
9.2 Beneficios	83
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES	87
BIBLIOGRAFIA	88
ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

	Página
CAPITULO 2	
Tabla 1.2 Desarrollo de la deformación por tensión con esfuerzo cortante en suelos granulares	14
CAPITULO 4	
Tabla 1.4 Ciclos de carga a la falla en diferentes tipos de geotextil	35
Tabla 2.4 Clase de severidad en la construcción	38
Tabla 3.4 Requerimientos mecánicos del geotextil	38
Tabla 4.4 Factores de seguridad, en función del uso de geotextiles, (Koerner, 1,990)	47
Tabla 5.4 Propiedades generales de los geotextiles y su relación con la función	48
CAPITULO 6	
Tabla 1.6 Resultados de investigación. Bruchsal - Bretten Line	59
CAPITULO 7	
Tabla 1.7 Requisitos físicos para geotextiles para pavimentos	63
Tabla 2.7 Requisitos físicos para geotextiles para drenaje	67
Tabla 3.7 Geotextiles para separación (M ²)	68
Tabla 4.7 Propiedades físicas requeridas	69
Tabla 5.7 Traslapes recomendados	70
Tabla 6.7 Requisitos físicos de la resistencia	72
CAPITULO 8	
Tabla 1.8 Propiedades del geotextil	74

INDICE DE FIGURAS

	Página
CAPITULO 2	
Figura 1.2 Contaminación de la base con finos del suelo y reparación	9
Figura 2.2 La función de separación con geotextil evita perdida de agregados	10
Figura 3.2 Función de filtración del fluido	11
Figura 4.2 Drenaje del flujo a través del mismo tejido	12
Figura 5.2 Función de refuerzo a la tracción del geotextil	13
Figura 6.2 Fuerza requerida y disponible para refuerzo (Jewell, 1,990)	14
Figura 7.2 Resistencia al esfuerzo cortante movilizada y desarrollo de la deformación por tensión (Jewell, 1,990)	15
CAPITULO 3	
Figura 1.3 Sin el empleo del geotextil de alta tenacidad de pueden presentar fallas por deslizamiento o de capacidad de carga	16
Figura 2.3 Con el uso del geotextil la estructura de terraplenes es más estable	17
Figura 3.3 Procedimiento para desarrollar el efecto membrana al construir	20
Figura 4.3 Pavimento asfáltico reconstruido y rehabilitado con geotextil	21
Figura 5.3 Drenajes de sub-base	24
Figura 6.3 Drenajes de sub-base	25
Figura 7.3 Drenajes de sub-base	25
Figura 8.3 Drenaje adyacente al pavimento (vista en elevación)	26
Figura 9.3 Drenaje de sub-base (vista en elevación)	26
Figura 10.3 Drenaje adyacente al pavimento (vista isométrica)	26
CAPITULO 4	
Figura 1.4 Efecto Membrana	28
Figura 2.4 Inestabilidad interna	29
Figura 3.4 Cálculo de Estabilidad interna	29
Figura 4.4 Falla de cimentación	30
Figura 5.4 Cálculo de estabilidad de cimentación	30
Figura 6.4 Falla externa	31
Figura 7.4 Cálculo de Estabilidad externa	31
Figura 8.4 Modo de falla por capacidad portante	32
Figura 9.4 Tabla de Pilot	32
Figura 10.4 Curva de diseño del espesor de los agregados para rueda de carga de 10,000 Lbs.	40
Figura 11.4 Valor o Número Estructural (SN) para carreteras de primera categoría, $P_1 = 2.5$	41
Figura 12.4 Curvas de diseño del espesor, camiones de "Rueda simple"	42

	Página
Figura 13.4 Curvas de diseño del espesor, camiones de "Rueda doble"	42
Figura 14.4 Drenaje interceptor y colector para encauzar el agua de infiltración	43
Figura 15.4 Pozos Auxiliares o de recarga con geotextil	44
Figura 16.4 Diseño por función	46
 CAPITULO 5	
Figura 1.5 Formación de una curva con cortes al geotextil	52
Figura 2.5 Formación de una curva usando piezas cortadas	52
 CAPITULO 6	
Figura 1.6 Experiencia con geotextil y sin geotextil	60
Figura 2.6 Proceso de filtración (paso 1)	61
Figura 3.6 Proceso de filtración (paso 2)	62
Figura 4.6 Proceso de filtración (paso 3)	62
Figura 5.6 Proceso de filtración (paso 4)	62
Figura 6.6 Micro filtro mineral	62
 CAPITULO 8	
Figura 1.8 Equipo simulador de ciclos de carga	76
Figura 2.8 Muestras de fátiga a la flexión	76
Figura 3.8 Equipo de flexión	77
Figura 4.8 Equipo para medir permeabilidad del agua	77
Figura 5.8 Prueba de resistencia a la flexión	80

OBJETIVOS

1 GENERALES

- 1.1 Proyectar la tecnología del geotextil a la sociedad guatemalteca por medio de información bibliográfica y darlo a conocer ampliamente.
- 1.2 Comparar el tiempo de vida útil de proyectos de ingeniería civil (pavimentos, terraplenes, etc.) construídos con un sistema convencional y usando la tecnología del geotextil.

2 ESPECIFICOS

- 2.1 Que este documento sirva de ayuda para conocer nuevas técnicas de construcción, reconstrucción y mantenimiento de caminos pavimentados, terraplenes y obras hidráulicas, para un funcionamiento adecuado más prolongado en el tiempo.
- 2.2 Que este documento sea una guía para conocer los GEOTEXTILES, que le pueden dar una mejor calidad y mejores beneficios a los caminos del país.

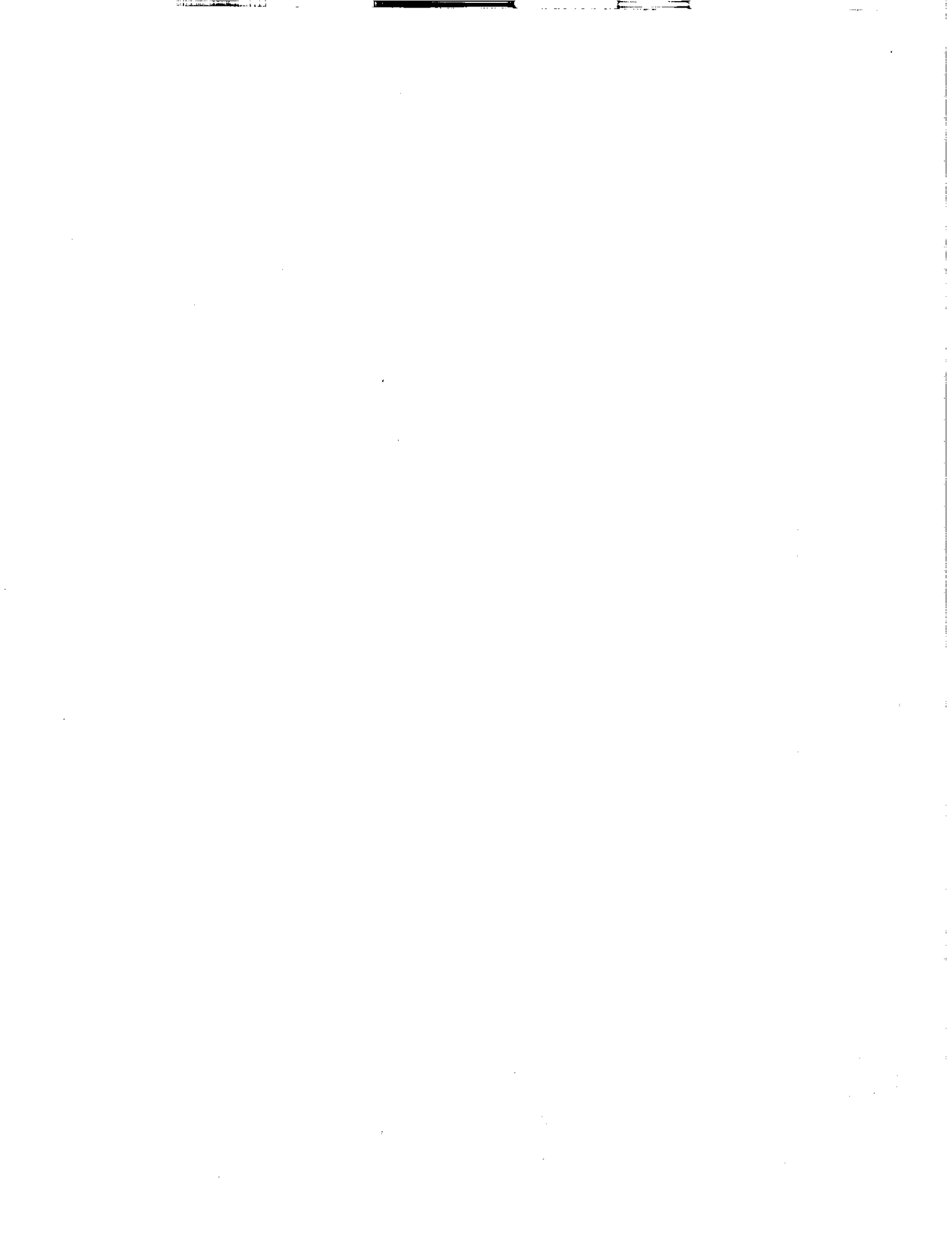
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

JUSTIFICACION

Como es de conocimiento público, es de vital importancia para el país mantener en buen estado la red vial urbana y rural, y para ello es necesario adoptar soluciones que prolonguen su vida útil y retardar las fallas que se dan debido a la acción de elementos naturales y al paso constante de vehículos pesados. Una de las soluciones para la conservación del sistema vial es la utilización de GEOTEXTILES, tanto en la construcción de obras hidráulicas, terraplenes y pavimentos nuevos, como en su mantenimiento, rehabilitación y/o reconstrucción. Esta tecnología es poco conocida en el medio y este trabajo de tesis pretende divulgar los beneficios que para el país tendría su aplicación.



GLOSARIO

- AOS:** Tamaño de abertura aparente.
- ASTM:** American Society for Testing Materials.
- AASHO:** American Association of state Highway officials.
- AASHTO:** American Association of state Highway and Transportation officials.
- Agua por Capilaridad:** Es el agua que se adhiere en los poros del suelo por el efecto de la tensión superficial.
- Colmatación:** Proceso de acumulación de partículas que son atrapadas dentro del espesor del geotextil, reduciendo su capacidad de drenaje.
- Deflexión:** Es la deformación que se produce en el pavimento. El valor máximo de deflexión aceptable para la capa de base es de 0.05 pulgadas (1.3 mm) respecto a un punto dado a una distancia no mayor de 12 pies (3.68 m) en cualquier dirección. Cuando la capa de superficie de rodadura es igual o menor a 5 cms. Si ésta es mayor, la deflexión máxima aceptable es de 0.135 pulgadas (3.5 mm).
- DGC:** Dirección General de Caminos.
- Drenaje:** Flujo controlado de fluidos a través de un medio poroso, o alivio de presiones de líquidos o gases en la masa del suelo.
- Encapsulado:** Masa de suelo rodeada completamente por un geosintético utilizado como separador o barrera.
- Especificaciones:** Propiedades requeridas para la aplicación de ciertos materiales, en proyectos de infraestructura.
- Filtración:** Acción de retener partículas de mayor tamaño que la abertura del material, permitiendo el paso de los fluidos.
- Geocompuesto:** Producto constituido por dos o más geomembranas o geotextiles o por la combinación de éstos con otros materiales.
- Geomembrana:** Recubrimiento sintético impermeable a fluidos y partículas que se utiliza en ingeniería geotécnica.

- Georred:** Material fabricado por perforación de hojas de polímero que se someten a estiramiento en una o dos direcciones, o formado por dos grupos de elementos paralelos de polímero sometidos a estiramiento y cuya función es reforzar el suelo.
- Geosintético:** Producto elaborado con polímeros para su uso en obras geotécnicas, que comprende los geotextiles, las geomembranas y otros productos relacionados.
- Geotextil:** Material flexible y permeable a los fluidos, capaz de retener partículas de suelo mayores que el tamaño de sus poros, o proporcionar refuerzo, diseñado y fabricado para trabajos de ingeniería civil.
- Producto Relacionado:** Materiales similares a los geotextiles y a las geomembranas que no se apegan a esas definiciones.
- Rayo ultravioleta degradado:** Proceso donde una propiedad particular de un geotextil es dañado o reducido debido a la exposición solar. Típicamente las reducciones pueden ser vistas en las propiedades físicas de todo geosintético después de exponerse por cierto tiempo a la luz solar. La cantidad de tiempo requerido para sufrir la pérdida de grado específico varía con el producto, la propiedad en cuestión, la exposición al medio ambiente y el tiempo de exposición.
- Talud:** Es la inclinación resultante en el terreno, por la ejecución de un corte en el terreno natural o relleno para la construcción de un terraplén.
- Terraplén:** Masa de suelo de relleno estabilizada por medio de refuerzo interno con geotextiles o georredes, colocados en posición cercana a la horizontal.
- Viga Benkelman:** Método del MS-17 (1,969). Instituto de Asfalto. Determina las deflexiones producidas en el pavimento por el paso constante del tránsito vehicular, la cual se efectúa en prueba de campo por cada 400 m² en la superficie de la capa de base compactada. El equipo se compone de una regla de medición y un micrómetro para tomar las lecturas.

INTRODUCCION

El deterioro constante que sufren las carreteras del país, incide fuertemente en el alza del coste de vida de todos los guatemaltecos, por ello el profesional de la ingeniería civil que enfrente esta situación, debe conocer y adoptar los avances de la tecnología, de manera que este tipo de proyectos luego de realizados, sean satisfactorios y cumplan con los requisitos de comodidad y seguridad que los usuarios demandan.

Es evidente que el mal estado de los pavimentos, causa un deterioro más acelerado en la estructura de todo tipo de vehículos, que al final el afectado es como siempre el consumidor final, pues los transportistas que trasladan los productos incrementan sus costos de operación y reparación del transporte.

El ingeniero de caminos debe poseer los conocimientos básicos necesarios relacionados con la ingeniería de carreteras, para poder solucionar los problemas estructurales de nuestros caminos. En tal sentido, el presente trabajo de tesis titulado GEOTEXTILES EN LA CONSTRUCCION, RECONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO DE TERRAPLENES Y PAVIMENTOS, tiene por finalidad servir al profesional de ingeniería, como material de apoyo para dichos fines.

El presente trabajo, se inicia con el **Glosario** que incluye terminología de uso común relacionado con el tema, cuya lectura se considera necesaria para una mejor comprensión de los temas aquí tratados, seguidamente con el **Capítulo 1, "Generalidades"**, que trata diversos aspectos relacionados con la historia del geotextil, su definición, características y propiedades. **En el Capítulo 2, "Funciones del geotextil"**, se definen las funciones principales que se le dan a los geotextiles como son: separación, filtración, drenaje y refuerzo. **En el Capítulo 3, "Aplicaciones del geotextil"**, se detallan algunas aplicaciones de los geotextiles, como: Construcción de terraplenes en suelos blandos o suaves, construcción y reconstrucción de pavimentos tanto rígidos como flexibles, y obras hidráulicas (funcionando el geotextil como un filtro), como drenajes, alcantarillados, drenajes subterráneos, etc.

En el Capítulo 4, "Diseño", se presentan algunos métodos de cálculo y diseño para terraplenes, pavimentos, drenajes, alcantarillado y drenaje subterráneo, diseño por función y selección del geotextil. **En el Capítulo 5, "Colocación del geotextil"**, se describe el procedimiento constructivo en pavimentos, la colocación en terraplenes y drenajes, y se exponen las precauciones que se deben tomar durante la colocación.

En el Capítulo 6, "Resultados", se definen algunos resultados observados utilizando geotextiles en el extranjero, relacionados con el comportamiento en pavimentos, obras hidráulicas y terraplenes, los cuales sin lugar a duda dejan constancia de su utilidad y funcionamiento. **En el Capítulo 7, "Especificaciones"**, se mencionan las principales especificaciones que se deben cumplir en el uso para pavimentos, drenajes, etc., los tipos de materiales y maquinaria a utilizar, y el procedimiento constructivo.

En el Capítulo 8, "Pruebas de laboratorio", se analizan algunos ensayos estipulados para los geotextiles, relacionados con el uso requerido. **En el Capítulo 9, "Ventajas"**, se mencionan tanto las ventajas funcionales y constructivas como económicas y beneficios obtenidos utilizando geotextiles.

Finalmente para completar el tema, se presentan las Conclusiones y Recomendaciones del caso, las referencias bibliográficas utilizadas para el desarrollo del tema y los anexos que incluyen gráficos a utilizar en otros usos del geotextil.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 Historia

Desde la antigüedad, en la construcción de caminos, terraplenes, muros de contención, etc. se han colocado materiales naturales como pieles o fibras vegetales sobre los suelos muy blandos, para reforzarlos y evitar pérdidas de materiales de superficie debido a incrustaciones en los suelos blandos. En la época actual, la primera experiencia que se tuvo utilizando telas de algodón tejido impregnada de asfalto fue en el año 1,935, en una construcción de caminos en Carolina del Sur, U.S.A., y en los últimos años numerosas secciones experimentales usando geotextiles no tejidos han sido construídas con el fin de evaluar la efectividad reforzadora o retardadora de las grietas con geotextiles así como para evaluar la efectividad impermeabilizadora de los mismos.

El empleo de telas con estos fines se inicia en el presente siglo, en la década de los años 60, y los primeros textiles fabricados específicamente para obras de ingeniería aparecen a principios de los años 70; se adoptan entonces los términos geotextil y geomembrana como denominación de materiales elaborados con polímeros que se emplean en geotécnia. Es a partir del año 1,970 que los geotextiles comienzan a usarse a gran escala en diferentes tipos de obras de ingeniería. Su mayor uso dá inicio en Estados Unidos de Norteamérica; y en la actualidad ya se utilizan en la mayor parte del mundo.

Con la tecnología del geotextil, ahora es posible ejecutar trabajos que antes eran considerados imposibles de efectuar. Se construyen carreteras sobre terrenos fangosos, sobre terrenos arcillosos o de sedimentos saturados, terraplenes, taludes, y otros usos en drenajes y obras hidráulicas. Los geotextiles debido a la resistencia que poseen, fueron desarrollados originalmente para este tipo de problemas.

Los geotextiles se están usando y se seguirán usando cada día más, dando soluciones a los problemas más dificultosos de ingeniería vial en forma adecuada, rápida y económica.

En Guatemala, una de las primeras aplicaciones con geotextiles para pavimentos tuvo lugar en el Aeropuerto de Santa Elena Petén (1,978), colocandose en el terraplén que conforma la pista de aterrizaje. Otra aplicación tuvo lugar en la calzada Raúl Aguilar Bártres, colocando geotextil en uno de los carriles desde el trébol hasta el puente del Anillo Periférico (1,982). Actualmente el uso de geotextiles en Guatemala se ha incrementado a gran escala, de manera que se están utilizando en diversos tipos de proyectos de ingeniería civil.

1.2 Definición de Geotextil

Un geotextil es una tela que se utiliza asociada en conjunto con un suelo. Y según el proceso de fabricación pueden ser: tejidos, no tejidos, entrelazados, punzonados o compuestos por varios geotextiles.

Los geotextiles son materiales de construcción flexibles y permeables a los fluidos, capaces de retener partículas de suelo mayores que el tamaño de sus poros. Se utilizan en combinación con la cimentación, suelo, roca, tierra o cualquier otro material geotécnico, forman parte de un proyecto, estructura o sistema realizado por el proyectista. Se componen de un grupo de polímeros denominados plásticos, que son moléculas gigantes obtenidas sintéticamente a partir de derivados de la industria petroquímica.

Los geotextiles se fabrican de acuerdo a las necesidades de diseño de las obras en las que se tenga considerada su instalación, en donde los agentes mecánicos a los que va a estar sometido el material serán determinantes para definir el tipo a utilizar. Los geotextiles pertenecen a una gran familia denominada "Familia de Geoproductos", que incluye geotextil, geofibras, geomallas, geoquímicos, geodrenes, geosintéticos, geocompuestos, geobloques, geotubos y muchos más.

1.3 Tipos de Geotextil

Los geotextiles se clasifican de acuerdo a su proceso de fabricación, características y propiedades principales, como se ilustra a continuación.

1.3.1 Tejidos

Las telas comunes y corrientes, son telas tejidas porque sus filamentos (hilos) guardan un orden en su proceso de elaboración. Es por eso que en ingeniería textil se les llama TELAS BIDIRECCIONALES, las fibras son orientadas en dirección longitudinal y transversal (tejido cuadrículado) que forman ángulos rectos entre sí. Las telas tejidas, por ser bidireccionales, tienen más resistencia en las dos direcciones de sus filamentos (no necesariamente iguales en sus dos direcciones).

Propiedades principales, de acuerdo al proceso de su fabricación:

- a) PROCESO: Urdido (tramado). Los elementos individuales se entrelazan en disposición geométrica regular, perpendicularmente unos con respecto a otros.
- b) MATERIA PRIMA: Polímeros sintéticos como polipropilenos, poliéster o polietileno.
- c) ELEMENTOS: Monofilamentos, multifilamentos o cinta plana (raffia).

- d) **PRINCIPALES CARACTERISTICAS:** Varía el movimiento relativo entre fibras; su módulo de tensión varía de intermedio a alto. Pueden ser isotrópicos o anisotrópicos. Tamaños de abertura constante que se miden con procedimientos sencillos.

1.3.2 No Tejidos

El término NO TEJIDOS significa que sus filamentos (hilos) no tienen una orientación ordenada, es decir, que su orientación es al azar, alineándose en todas direcciones dentro de la tela. Las telas No Tejidas, por ser multidireccionales, tienen resistencia casi de igual magnitud en todas sus direcciones.

1.3.2.a TERMOSELLADOS. Propiedades principales, de acuerdo al proceso de su fabricación

- a) **PROCESO:** Los filamentos se orientan en forma irregular, distribuyéndose en todos los sentidos. El sellado o unión por fusión se logra pasando el material entre rodillos calientes, uniéndose las fibras en las zonas donde se cruzan.
- b) **MATERIA PRIMA:** Filamentos continuos de polipropileno o nylon/polietileno. Un porcentaje de los filamentos se funde primero, manteniéndose intacta la resistencia de los filamentos restantes.
- c) **PRINCIPALES CARACTERISTICAS:** No existe movimiento relativo entre las fibras. 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. Presentan una variedad amplia de tamaños de abertura que es necesario medir por métodos indirectos.

1.3.2.b ENTRELAZADOS MECANICAMENTE. Propiedades principales, de acuerdo al proceso de su fabricación

- a) **PROCESO:** Por medio de la acción de agujas, las fibras se enredan entre sí. Algunas veces se les imparte un acabado de impregnación de resinas del tipo acrílico, que aumenta la resistencia a la tensión, el módulo, la resistencia a la perforación, pero reduce la elongación y la resistencia al rasgado, debiendo aplicar un secado especial para restablecer la permeabilidad.
- b) **MATERIA PRIMA:** Filamento continuo o bien fibra cortada (típicamente 0.15m. de longitud). Los polímeros más usuales son el polipropileno y el poliéster.

- c) **CARACTERISTICAS PRINCIPALES:** Existe movimiento relativo entre fibras. Productos con apariencia de felpa, gruesos, con módulo de tensión intermedio en los grados de peso intermedio. Pueden fabricarse isotrópicos o anisotrópicos. Su peso por unidad de área es también promedio por la misma razón que los termosellados. Sus tamaños de abertura también deben medirse por métodos indirectos, con mayor imprecisión que para los termosellados. Su espesor y permeabilidad varían con la presión.

CAPITULO 2

FUNCIONES DEL GEOTEXTIL

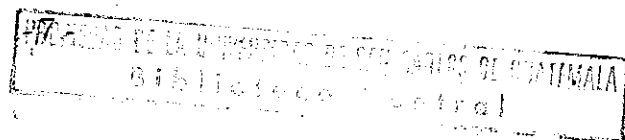
Las funciones de los geotextiles son múltiples, dependen de su resistencia y permeabilidad y en general en toda obra de ingeniería, tienen una función principal y otras secundarias. Actualmente se reconocen cuatro funciones principales: **separación**, para evitar o minimizar la mezcla de materiales de diferente granulometría; **filtración y drenaje**, para evitar la migración de partículas de suelo y permitir el libre flujo de agua y gases; **refuerzo**, para soportar tensiones y estabilizar las masas de suelos. Sin embargo, también existen geotextiles para impermeabilización, formando una barrera que impide el paso de fluidos y partículas de suelo.

Los geoproductos como el geotextil se aplican a una amplia variedad de obras, como taludes y muros de tierra, terraplenes en suelos blandos, control de erosión, almacenamientos, cortinas de presas, canales, vías de comunicación, sistemas de filtración y drenaje, y en la disposición de residuos líquidos y sólidos. Cuando un textil es impregnado con un producto asfáltico o polímero para hacerlo impermeable se convierte en GEOMEMBRANA.

2.1 Separación

Esta función consiste en establecer una frontera entre suelos de diferente consistencia y/o granulometría como una subrasante de suelos cohesivos y una base ó sub-base de agregados no cohesivos. Así, cuando no se usan geotextiles, los esfuerzos que generen las cargas rodantes forzan la intrusión del agregado dentro del material cohesivo, sus partículas penetran desplazando al suelo y los finos del suelo penetran al material granular a través de vacíos existentes en él. Otro mecanismo de penetración de finos se origina cuando los suelos cohesivos en estado saturado son sometidos a carga y las presiones de poro son disipadas mediante la extrusión de lodos que penetran al material granular, recubiéndolo y reduciendo sus características friccionantes, con lo que también se reduce su capacidad de carga. Al colocar un geotextil entre ambos materiales, se impide el intercambio de partículas, permitiendo sólo el paso del agua.

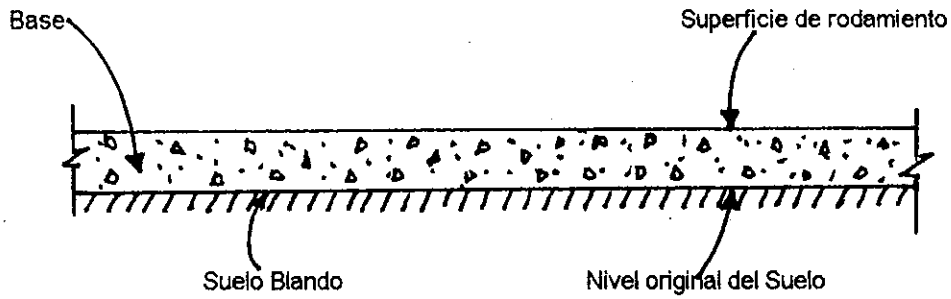
El efecto de la separación no es despreciable, diversos estudios muestran que el efecto de la contaminación reduce el espesor efectivo que reparte los esfuerzos transmitidos por el tránsito y la resistencia de la base o sub-base, iniciando un mecanismo progresivo de falla. La figura 1.2 muestra cualitativamente el proceso de contaminación y el mantenimiento correctivo que consiste en la renivelación del camino con espesores extra de material granular. Experiencias reportadas indican que una mezcla de aproximadamente el 20% en peso de material cohesivo dentro de bases graduadas densas, reduce la capacidad de carga de éstas al nivel de la del suelo cohesivo.



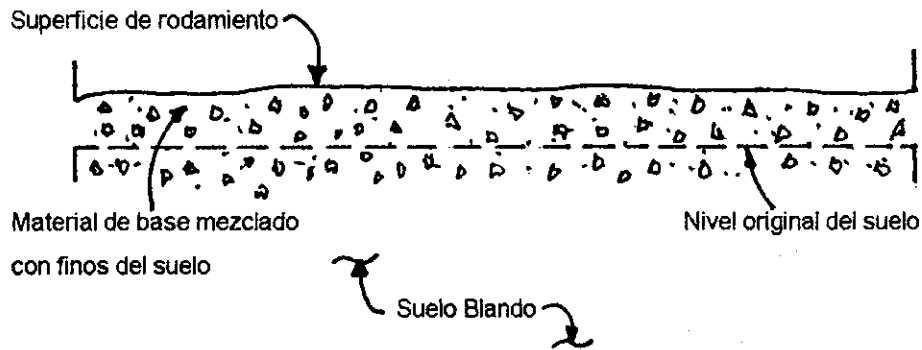
Tanto los geotextiles tejidos como los no tejidos proporcionan una separación a largo plazo entre la base de agregado y la subrasante al separar estos dos materiales, el geotextil conserva el espesor del agregado del camino. Esta es la función más importante del geotextil para caminos pavimentados, especialmente cuando se construyen sobre subrasantes de resistencia moderada ($4 \leq \text{CBR} \leq 7$). El geotextil también permite usar una base de agregado de alta permeabilidad y de tamaño más uniforme. Al disminuir la pérdida de agregado y aumentar su permeabilidad, se incrementa considerablemente el rendimiento del pavimento, como lo muestra la figura 2.2.

Los geotextiles tejidos y no tejidos de mayor resistencia proporcionan estabilización además de su función principal de separación. A través de la estabilización, un geotextil puede aumentar la capacidad efectiva de resistencia de las subrasantes pobres ($2 \leq \text{CBR} \leq 4$). Un geotextil de estabilización reduce el bombeo de la subrasante, socavamiento y espesor requerido del agregado.

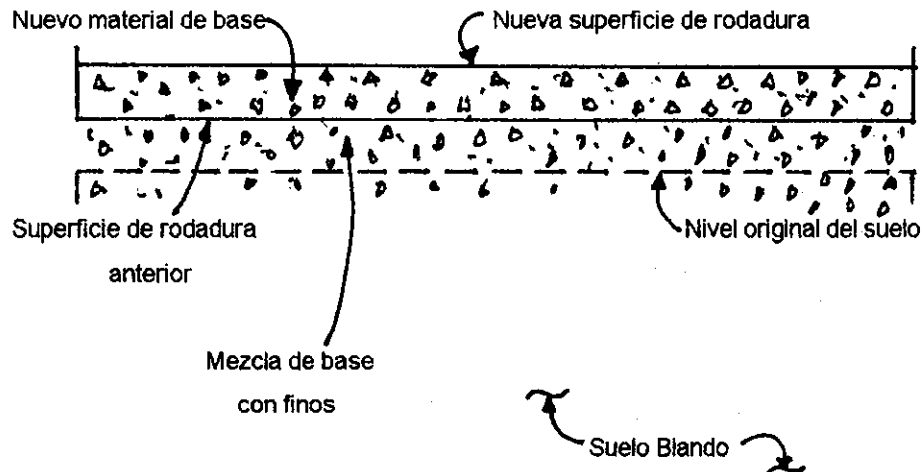
Cuando se construye sobre subrasantes débiles los geotextiles de estabilización reducen sustancialmente los costos de construcción para caminos pavimentados y sin pavimentar. Por ejemplo, el espesor del agregado de un camino sin pavimentar puede reducirse tanto como un 50% cuando se usa geotextil de estabilización. La separación, la estabilización y el refuerzo son necesarios para la construcción sobre subrasantes débiles ($\text{CBR} < 2$). Los geotextiles tejidos de refuerzo de alto coeficiente proporcionan una plataforma esencial para construir una base de camino competente y minimizar los requerimientos de profundidad de relleno.



A. Construcción inicial: el agregado se coloca directamente sobre el suelo



B. Deterioro del camino por intrusión de finos y contaminación de la base



C. PROCEDIMIENTO DE REPARACION: se coloca agregado nuevo directamente sobre el agregado contaminado.

Figura 1.2 Contaminación de la base con finos del suelo y reparación

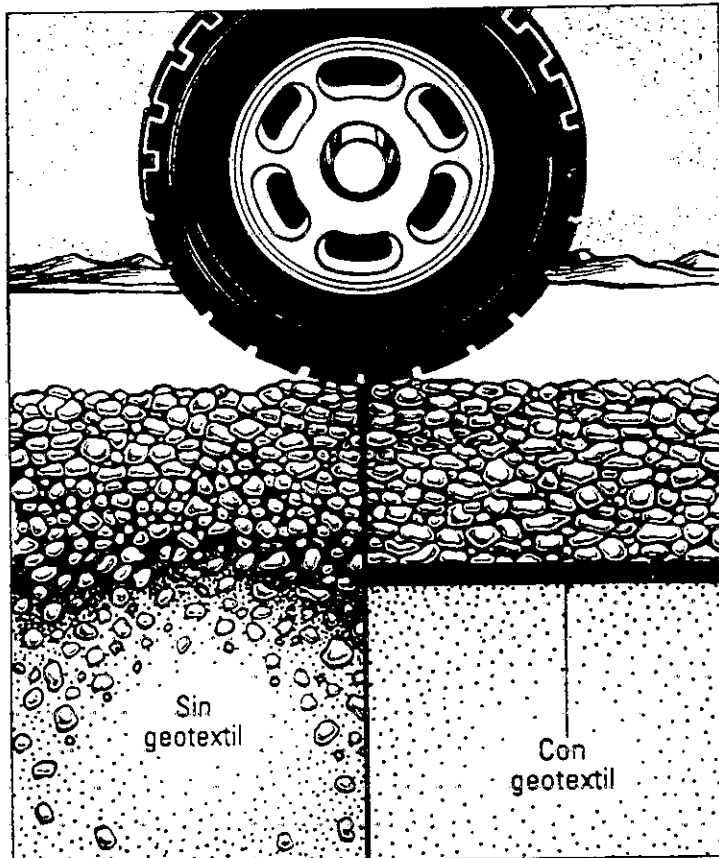


Figura 2.2 La función de separación con geotextil evita pérdida de agregados

2.2 Filtración

Se define como el sistema en equilibrio geotextil-suelo que permite el libre flujo de agua, sin pérdida de suelo, a través del plano del textil, durante un lapso indefinidamente largo. Ejemplos de aplicaciones son: la construcción de subdrenes de carreteras y aeropistas, en combinación con estructuras pesadas como gaviones y enrocamientos para evitar la erosión de taludes y cortes, la contención de rellenos hidráulicos, etc.

En una aplicación de filtración, se trata de permitir el flujo de agua a través del geotextil y retener el suelo; esto se utiliza en algunas aplicaciones de drenaje. Se tiene el filtro de suelo, el suelo abierto, el textil para permitir que los finos del filtro pasen a través de él mientras que las partículas gruesas del suelo son detenidas permitiendo que el agua pase. La filtración no es nueva, simplemente la aplicación de los geotextiles es nueva.

Siempre se han usado filtros de agregados; lo único que ahora se reemplaza algunas capas de agregados por un geotextil. Esta es una aplicación sencilla en un dren francés.

En transmisión se permite el flujo de agua a través del plano del geotextil, se utiliza en drenes de muros, drenes **S** y en muchas aplicaciones en rellenos sanitarios. Es una aplicación simple, se tiene una presión vertical normal al geotextil y se permite que el agua fluya en su plano. En un muro de cimentación, muro de retención, se requiere disipar la presión del agua tras él, el agua del suelo se mueve hacia la tela, a través de la que pasa hasta el tubo colector y luego sale.

En el caso de caminos pavimentados se tiene un problema de refuerzo. Un pavimento es simplemente una estructura que toma la presión de contacto, (muy alta bajo las llantas) y la reduce a una presión lo suficientemente baja para que el suelo subyacente la soporte. Cuando se considera que habrá un tiempo insuficiente para obtener una deflexión vertical adecuada para conseguir alguna tensión del refuerzo textil en caminos pavimentados, las funciones principales son separación y filtración. Al haberlas identificado, se trata de elegir pruebas de propiedades para las especificaciones, las cuales cuantificarán esas funciones. Obtener esas propiedades es bastante complejo: se puede usar la experiencia propia o hacer trabajos previos, tratando de obtener sólo aquellas funciones que son requeridas para una de esas especificaciones de propiedades necesarias para esa función particular.

El geotextil permite el paso del agua a través de los poros o aberturas del tejido, impidiendo que las partículas sólidas traspasen la estructura del material para evitar la generación de oquedades y pérdida de estabilidad estructural, mostrado graficamente en la figura 3.2.

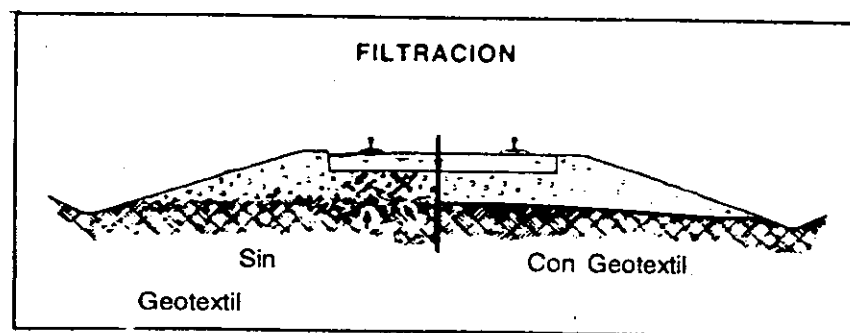


Figura 3.2 Función de filtración del fluido

2.3 Drenaje

Es el sistema en equilibrio "Geotextil-Suelo", que permite el libre flujo del agua sin pérdida de suelo, en el plano del geotextil, durante un lapso indefinidamente largo. Aplicaciones típicas son: drenes de chimenea en presas, drenes atrás de muros de contención, capas rompedoras de capilaridad y otras. Esta aplicación es privativa de los geotextiles fabricados por entrelazamiento mecánico, que por su construcción y espesor presentan también una componente de permeabilidad en su plano. La capacidad de drenar el flujo es otra habilidad del geotextil, que es un medio de menor resistencia para la corriente de agua, permitiendo así, disipar la presión hidráulica existente.

En proyectos de caminos esto es análogo a proveer un conducto de drenaje horizontal en la cama de la carretera. La ventaja de esta función está en proveer un camino lateral pro exceso de presión de agua. Si el contenido de agua es reducido, y extendido el período de tiempo, comparado con el sistema sin la tela, la resistencia de la sub-base es incrementada.

Tanto los geotextiles tejidos como los no tejidos dan buen resultado cuando se desea drenar suelos estables de grano grueso. Los no tejidos se usan por lo general cuando la retención de las partículas más finas de suelo es esencial para el rendimiento del sistema de drenaje. Los geotextiles tejidos permiten que las partículas de grano fino escapen a través de la tela, convirtiéndose en ideales para las aplicaciones donde se necesita gran permeabilidad y existe la posibilidad de que se obstruya el geotextil no tejido.

El geotextil tiene la función de drenar el agua a través del mismo tejido; proporcionando un camino el cual canalizará el escurrimiento que se genere hacia los costados. Evitará el desarrollo de la presión de poro a la masa del suelo, que se genere en condiciones normales de filtración, (figura 4.2).

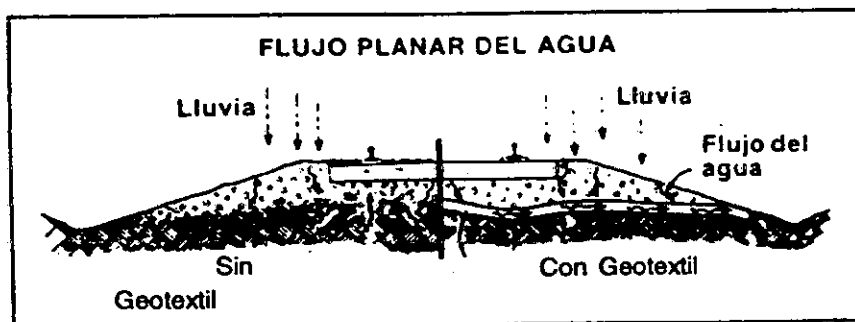


Figura 4.2 Drenaje del flujo a través del mismo tejido

2.4 Refuerzo

El geotextil imparte resistencia a la tensión a un sistema "Tierra-Geotextil", incrementando la estabilidad estructural. Algunos ejemplos son: el refuerzo de terraplenes construídos sobre suelos blandos o inestables, la construcción de muros de contención mediante encapsulado de suelo, el desplante de taludes con mayores ángulos de inclinación, y otros.

En caminos pavimentados se tienen problemas de refuerzo, un pavimento es simplemente una estructura que toma la presión de contacto (muy alta, bajo las llantas) y la reduce a una presión lo suficientemente baja para que el suelo subyacente la soporte. El suelo por si solo posee una resistencia mayor al someterse a esfuerzos de compresión y muy pequeña a la tracción, de esta manera el geotextil absorberá los esfuerzos de tensión que el suelo requiere para ser solicitado a la acción de cargas, (figura 5.2).

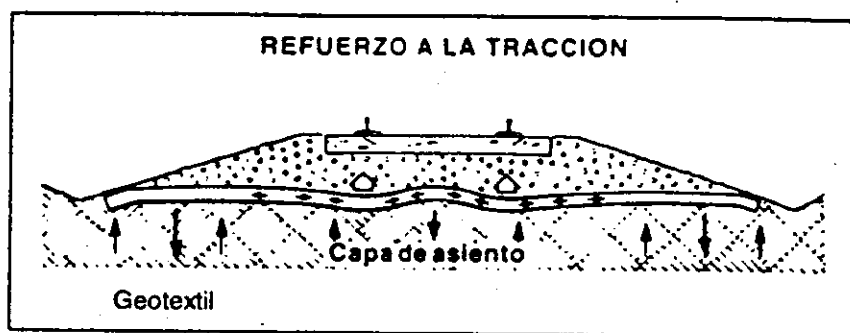


Figura 5.2 función de refuerzo a la tracción del Geotextil

Jewell (1) realiza una amplia compilación y revisión de los métodos de diseño de obras como muros de tierra, taludes, terraplenes sobre suelos blandos y caminos no revestidos, analizando los principales usos de geotextiles y georredes como refuerzo interno en la masa del suelo. Se plantean los conceptos de equilibrio de fuerzas y esfuerzos, y se señala la importancia de evaluar la compatibilidad de deformaciones de los geotextiles y de los suelos granulares (figura 5.2). Se propone el empleo de ángulos de fricción interna $\phi's$, $\phi'cs$ y $\phi'o$ (de pico, del estado crítico y de reposo), como parámetros del análisis de estabilidad (figura 6.2). Se subraya que solamente pueden generarse esfuerzos de tensión significativos en los geotextiles si el ángulo de fricción movilizado en el suelo $\phi'm$ es mayor que $\phi'cs$ (tabla 1.2). Esta consideración es importante ya que marca el límite abajo del cual el producto geosintético se incluye en el suelo sin efectos

benéficos para la estabilidad. El factor de seguridad (FS) en el suelo se define, en forma tradicional en ingeniería como:

$$FS = \frac{\tan \phi'p}{\tan \phi'm}$$

al comparar la resistencia movilizadora en el material, $\phi'm$, con la resistencia máxima de pico, $\phi'p$, o la disponible, según la compactación del suelo.

Tabla 1.2. Desarrollo de la deformación por tensión con esfuerzo cortante en suelos granulares.

si $\phi'm < \phi'o$	No existe deformación por tensión
si $\phi'm > \phi'cs$	Fuerte desarrollo de la deformación por tensión
si $\phi'cs > \phi'm > \phi'o$	Pobre desarrollo de la deformación por tensión

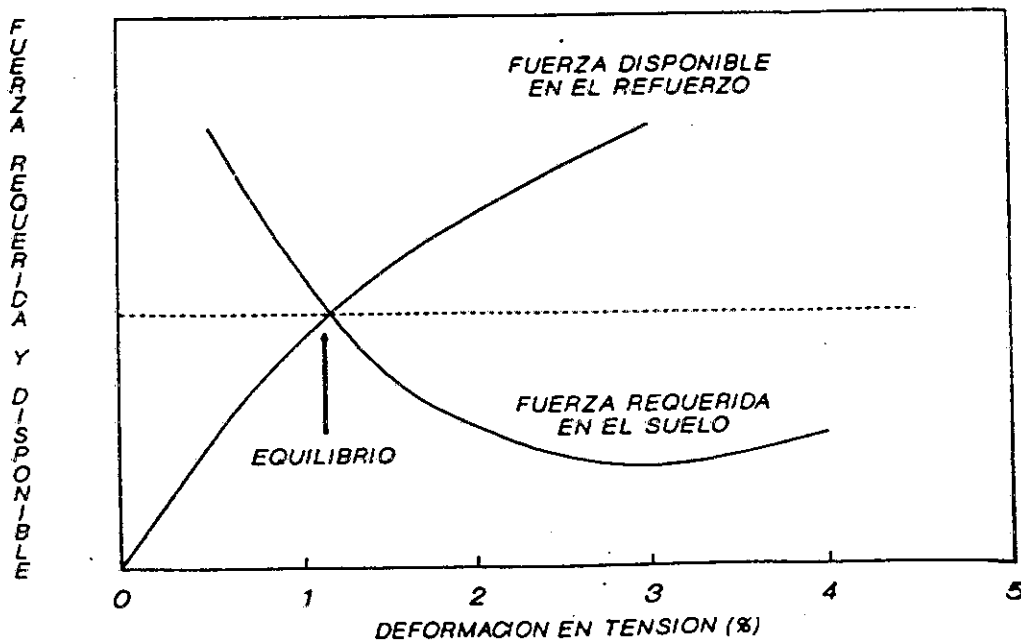


Figura 6.2 Fuerza requerida y disponible para refuerzo (jewell, 1,990)

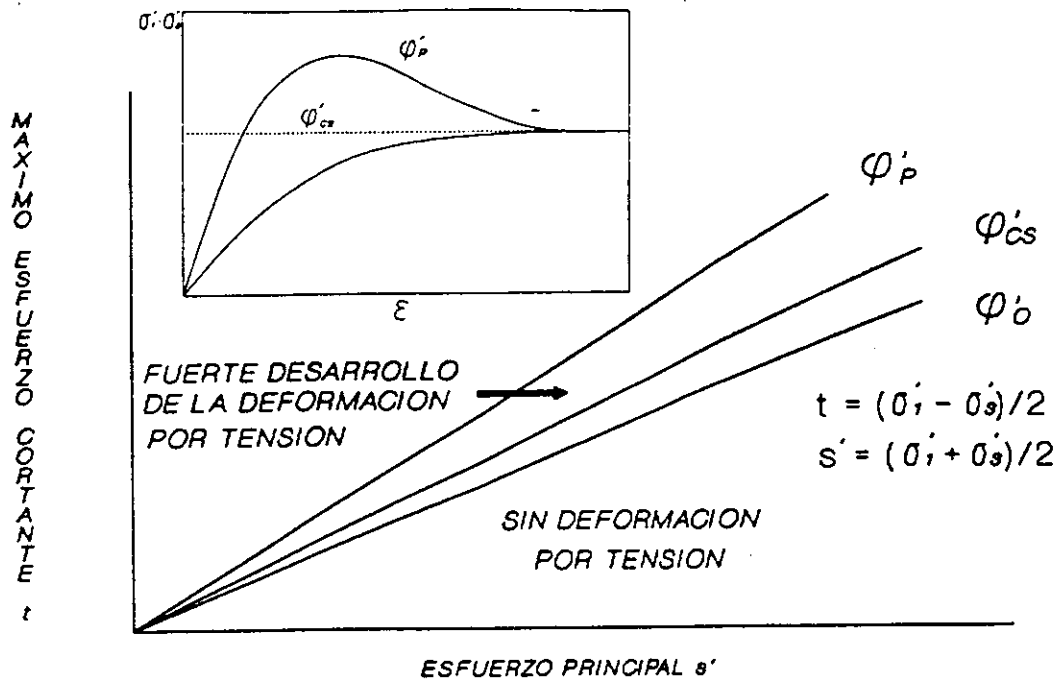


Figura 7.2 Resistencia al esfuerzo cortante movilizada y desarrollo de la deformación por tensión (jewell, 1,990)

(1) Jewell R. A. (1,990) "Strength and deformation in reinforced Soil design"

CAPITULO 3

APLICACIONES DEL GEOTEXTIL

Los materiales geosintéticos como el geotextil tienen una gran cantidad de aplicaciones en base a sus excelentes características de resistencia, deformabilidad y durabilidad. A continuación se detallan algunos de los muchos usos que se le pueden dar al geotextil.

3.1 Terraplenes en suelos blandos

El problema principal a tratar será esencialmente la baja resistencia al cortante y la gran compresibilidad del suelo que sustente la estructura, dado que el peso del terraplén puede originar deformaciones e inestabilidad, que eventualmente pueden llevar al colapso total de la estructura, como se ilustra en la figura 1.3.

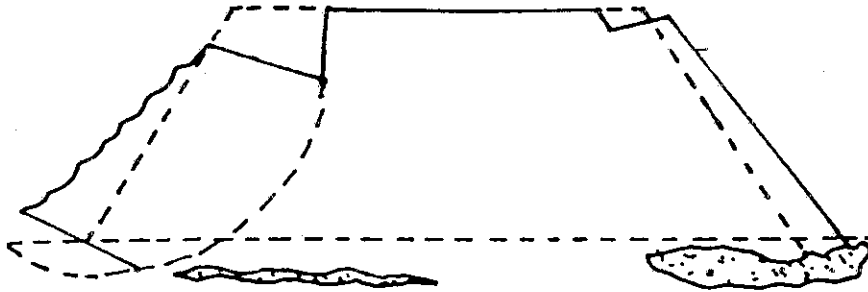


Figura 1.3 Sin el empleo del geotextil de alta tenacidad se pueden presentar fallas por deslizamiento o de capacidad de carga.

Para controlar estos problemas se propone el empleo del geotextil colocado como refuerzo y capa separadora directamente sobre el suelo suave y sobre el cual se construirá el terraplén. Al presentarse la inestabilidad del subsuelo, el geotextil evita los deslizamientos, como se ilustra en la figura 2.3.

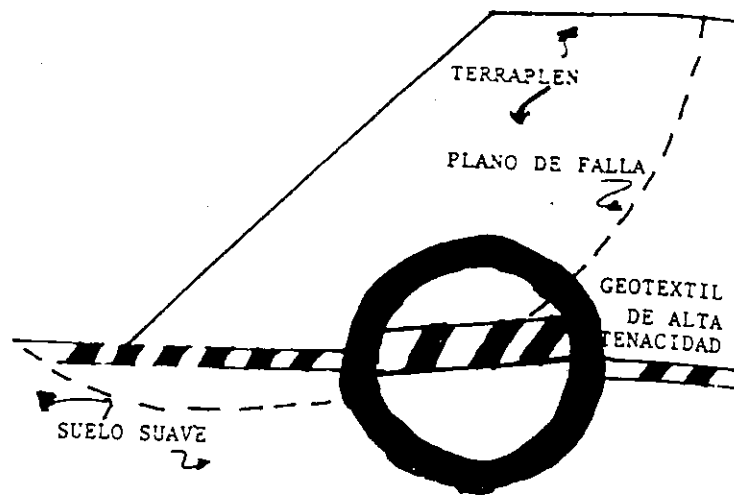


Figura 2.3 Con el uso del geotextil la estructura de terraplenes es más estable.

Dentro de los métodos tradicionales se pueden enunciar:

- a) Empleo de taludes muy tendidos (hasta 1:5) o lo que conduce a bases de terraplén muy anchas y por ende se requiere de grandes cantidades de terreno y excesivos volúmenes de materiales de construcción.
- b) Construcción por etapas, dejando pasar tiempo entre cada una de las colocaciones de las capas que conformaran el terraplén, esperando la consolidación parcial del subsuelo, lo que origina tiempos muy largos en la construcción.
- c) Remoción del suelo débil, empleando este sistema cuando no se cuenta con tiempo, y se substituye el suelo original con material de mejores características y sobre éste se construye el terraplén, controlando así los asentamientos.
- d) Refuerzo con vegetación natural, es el sistema que precede al empleo de geotextiles ya que se coloca bambú como interfase entre el subsuelo y la estructura, mejorando con esto la estabilidad; la desventaja es que no soporta grandes cargas.

Al colocar entre el suelo de cimentación y el relleno que conformará la estructura, una capa de geotextil de alta tenacidad, lo que se logra es proporcionar al suelo lo que le hace falta, es decir, resistencia al corte.

Al colocar el geotextil en la interface del terraplén y el subsuelo, se corta el plano de falla, previniendo los deslizamientos (figura 2.3). Con esto se logran obtener terraplenes con taludes más "verticales", sin peligro de deslizamientos y con tiempos de ejecución de obra considerablemente menores. El geotextil que se utilice en estos casos, según las condiciones tan difíciles en que trabaje, debe ser de un material que cuente con gran resistencia a los esfuerzos de tensión para que absorba las cargas inducidas al suelo en los puntos en que el posible plano de falla corte al geotextil.

Por ello se propone el uso de un geotextil tejido de alta tenacidad, con baja elongación y mínima fluencia, y que cuente con resistencias a la tensión de hasta 1,000 KN/m, con elongaciones inferiores al 10% y con una fluencia máxima del 2%, al ser sometidos a cargas equivalentes a la mitad de su resistencia última. Así mismo el hecho de emplear este tipo de geotextiles en suelos suaves, controlará los asentamientos del terraplén, que tenderán a ser más uniformes dado que la estructura se comportará como una unidad. También proporciona un confinamiento al material de relleno y no permite que se incruste en el suelo suave, logrando conservar las características del relleno, así como, reducir de 20 a 40 % los volúmenes de materiales de relleno.

3.2 Pavimentos

Para proporcionar a los pavimentos mejor deformabilidad y mayor resistencia al agrietamiento se están utilizando como solución óptima los geotextiles, colocándolos en contacto con las capas asfálticas y se usan también georredes entre los materiales de bases granulares de los pavimentos.

Los objetivos que se persiguen al utilizar geotextiles son:

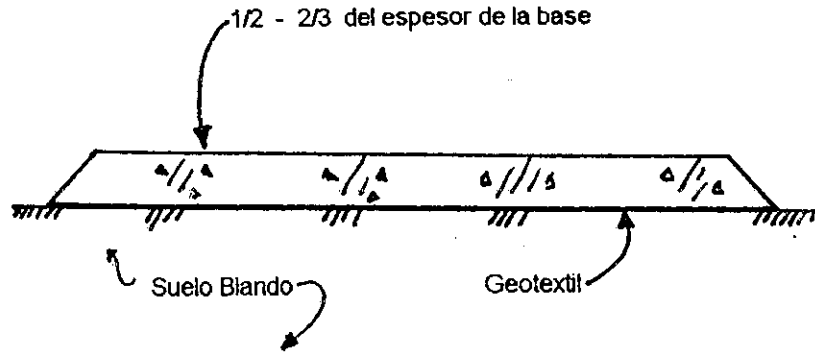
- a) Restringir o evitar la entrada del agua al pavimento y a la subrasante, constituyendo una membrana impermeable; con esta acción se impide el debilitamiento de la estructura y se evita su consecuente deterioro.
- b) Evitar el bombeo, es decir, la expulsión de agua y sólidos por las grietas del pavimento, evitando la socavación interior en el pavimento.
- c) Retardar o impedir el agrietamiento por fátiga de las capas asfálticas, al actuar como un elemento de refuerzo de alta resistencia a la tensión.
- d) Retardar o reducir el agrietamiento producido por reflexión de grietas y juntas de construcción.
- e) Reducir en algunos casos el espesor de la sobrecarpeta necesaria para reforzar el pavimento.
- f) Reducir los costos de mantenimiento y de operación del pavimento, al prolongar su vida útil.

De acuerdo a lo anterior pudiera pensarse que la aplicación de geotextiles en pavimentos es en todos los casos conveniente y exitosa. Sin embargo las experiencias o casos de estudio no siempre reportan resultados satisfactorios. En 1,984 sólo en los Estados Unidos de Norteamérica se emplearon 20 millones de metros cuadrados de geotextiles en pavimentos, en muchos de los cuáles se llevaron a cabo investigaciones y evaluaciones auspiciadas por la Federal Highway Administración (FHA), bajo su National Experimental and Evaluación Program. La conclusión general obtenida en 37 proyectos de investigación, indica que no hay una evidencia firme en el sentido de que los geotextiles retarden los agrietamientos y prolonguen la vida útil de las sobrecarpetas.

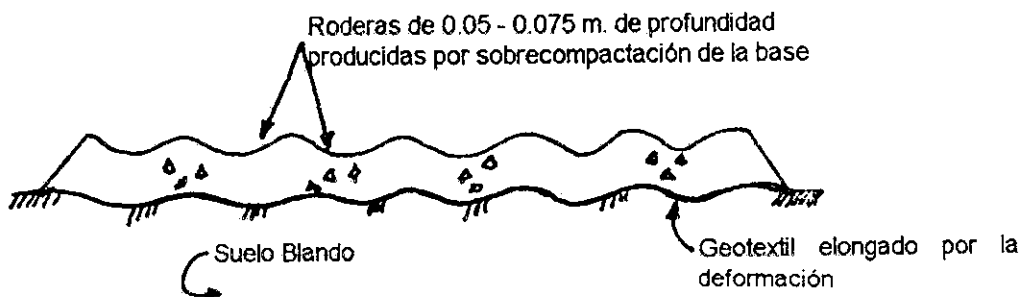
La mayoría de los reportes hace hincapié en la complejidad del problema, mencionando la importancia de la influencia que en éste tiene el tipo y grado de deterioro del pavimento, el tipo de pavimento, tránsito, clima, tipo de ligante del geotextil, tipo y propiedades del geotextil así como las características de las sobrecarpetas. La conclusión general del FHA indica que los geotextiles pueden controlar con eficiencia los agrietamientos por reflexión, cuando son colocados sobre pavimentos que presentan agrietamientos del tipo piel de cocodrilo, con aberturas iguales o menores que 3 mm y en climas moderados.

La necesidad de que el geotextil se deforme para funcionar como refuerzo "vía Efecto Membrana", condujo a la elaboración de procedimientos constructivos donde el textil se somete a deformación durante la construcción, para poder ser utilizado en una carretera pavimentada. La figura 3.3 muestra el desarrollo de dicho procedimiento. Diversos investigadores han establecido que son necesarios métodos que permitan tomar en consideración el efecto de "Restricción lateral" en el incremento del módulo de deformación de los agregados, pues ello conducirá a la predicción de la distribución de esfuerzos con la profundidad, para pavimentos reforzados con geotextiles, mediante procedimientos de "Elemento Finito" o de la teoría de multicapas elásticas.

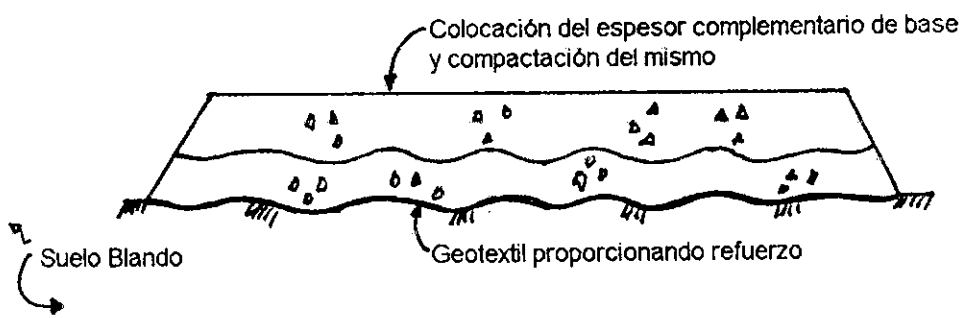
- a) Al tomar en cuenta los factores mencionados, el agregado trabaja como una losa, por lo que la resistencia y rigidez del sistema se incrementan notablemente .
- b) Se incorpora el concepto de "fricción movilizada" lo cual permite el control de los desplazamientos verticales, de acuerdo a la rigidez del geotextil en consideración.
- c) Su modelo, desarrollado para el caso de suelos con comportamiento plástico, puede adaptarse a comportamientos elásticos también.



A. Inicialmente, el Geotextil se coloca sobre el suelo blando y se cubre con 1/2 - 1/3 del espesor total de base.



B. El Geotextil se deforma para desarrollar efecto membrana por sobrecompactación



C. Colocación del espesor complementario de la base y compactación normal, hasta terminar el proyecto.

Figura 3.3 Procedimiento para desarrollar el efecto membrana al construir

3.2.1 Pavimentos flexibles

Uno de los principales factores que causan deterioro de los caminos es el agua que se encuentra debajo del pavimento, la cual reduce su capacidad estructural. Un incremento del contenido de humedad en la subrasante de sólo un 10% puede reducir la vida útil del pavimento en un 50%. Gran parte de esta agua entra por las grietas y poros de la superficie del pavimento.

Con relación a la corrección y prevención de los agrietamientos las técnicas más usuales son las siguientes:

- a) Empleo de asfaltos ahulados en la elaboración de carpetas.
- b) Reciclado de la carpeta existente y colocación de una carpeta nueva, a la cual se le ha agregado un agente rejuvenecedor del cemento asfáltico.
- c) Construcción de sobrecarpetas de espesores importantes, mayores de 76 mm, corrigiendo previamente los deterioros de la carpeta antigua.
- d) Construcción de carpetas asfálticas con diseños adecuados para resistir fenómenos de fatiga o de contracción por temperatura.
- e) Colocación de capas asfálticas de textura abierta y tamaño máximo de 50 a 76 mm y 89 mm de espesor, entre el pavimento dañado y una sobrecarpeta asfáltica.
- f) Colocación de geotextiles sobre la superficie dañada, previamente tratada, antes de la construcción de una sobrecarpeta asfáltica.
- g) Instalación de georredes en las capas de base y sub-base.

La figura 4.3 muestra las diferentes capas de la estructura de una carretera después de haber sido reconstruida con geotextil.

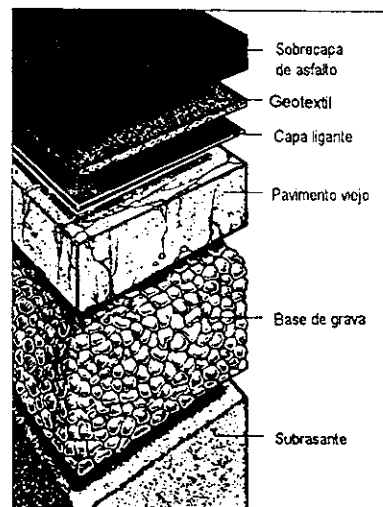


Figura 4.3 Pavimento asfáltico reconstruido y rehabilitado con geotextil

3.2.2 Pavimentos rígidos

Para el caso de su aplicación en pavimentos rígidos, se ha encontrado que es más efectivo colocar los geotextiles en forma de bandas de 300 a 450 mm de ancho sobre las grietas y juntas de construcción. De igual manera se recomienda utilizar geotextiles sobre juntas de construcción en el caso de ampliación de pavimentos.

De igual manera para la corrección y prevención de agrietamientos las técnicas más usuales son las siguientes:

- a) Uso de sobrecarpetas asfálticas de espesores importantes, mayores que 150 mm.
- b) Colocación de una capa de base con o sin asfalto, con tamaño máximo de 75 mm y espesores mayores que 100 mm, entre el pavimento dañado y una sobrecarpeta asfáltica.
- c) Construcción de una sobrecarpeta asfáltica de espesor adecuado, sobre las losas del pavimento dañado, que previamente han sido enteramente fracturadas a tamaños de 300 por 600 mm y compactadas con un rodillo vibratorio de 50 KN de peso.
- d) Uso de bandas de geotextil de 300 a 450 mm de ancho sobre juntas o grietas, antes de la colocación de una sobrecarpeta. Este procedimiento puede ser usado en el caso de bases tratadas con cemento o capas de concreto rodillado, para evitar la reflexión de juntas de construcción.
- e) Empleo de capas de asfalto ahulado, entre dos capas de carpeta asfáltica sobre la superficie dañada.
- f) Construcción de una sobre losa de concreto hidráulico, aserrada o ranurada según el patrón de grietas o juntas del pavimento antiguo.
- g) Colocación de geotextiles sobre la superficie dañada, previamente tratada, antes de la construcción de una sobrecarpeta asfáltica.

Evidentemente que la elección del tipo de técnica por aplicar depende de varios factores entre ellos el económico, siendo algunas de ellas motivo de controversia por la falta de claridad en los resultados obtenidos y la eficiencia con que pueden resolver el problema del control de grietas en los pavimentos.

3.3 Obras hidráulicas

El comportamiento hidráulico del geotextil presenta una pequeña oposición al paso del agua, asociado a un aumento de resistencia al paso de las partículas sólidas. En realidad no existe diferencia en el comportamiento hidráulico entre el geotextil colocado y la malla original, lo cual lo lleva a ser utilizado con mucha solvencia como filtro o como dren, evitando la socavación de ciertos proyectos.

3.3.1 Materiales graduados para filtros

Muchos tipos de daños se deben a que el agua arrastra partículas de suelo en las márgenes de los ríos, lagos, etc., al erosionarlos. Para proteger el suelo de la tubificación y de la socavación es de sobra conocido el funcionamiento de los filtros de materiales graduados, los cuales se han usado de manera tradicional. Al cabo de los años, los geotextiles han dado muestras que pueden sustituir a este tipo de filtros, en este tipo de aplicaciones, ya que la función de los geotextiles debe ser el permitir la disipación de las presiones de poros, al pasar el agua a través de ella, sin reducir la permeabilidad existente, y al mismo tiempo, evitar que el suelo sea socavado por el agua. Para que los geotextiles funcionen como filtros deberá siempre establecerse un sistema interactuante geotextil - agua - suelo.

Las aberturas de los poros entre las partículas de un agregado para filtro deben ser suficientemente pequeñas para evitar el paso de la mayoría de las partículas del suelo protegido, pero esta capa deberá ser al mismo tiempo suficientemente permeable para permitir el paso del flujo a su vez, sin reducir la permeabilidad del suelo protegido y al mismo tiempo sin llegar a taponarse. Un filtro es, en cierta forma, un obstáculo en el camino de la tubificación de un suelo, ya que las partículas de éste lo deberán rebasar para poder ser arrastrados.

3.3.2 Los Geotextiles como filtros

Los geotextiles que se usen para filtro deben ser seleccionados con un criterio similar al utilizado para el de los filtros de materiales graduados. Debe cuidarse de que la fibra no obstruya el flujo del agua y que al mismo tiempo, evite la erosión y tubificación del material que protege. En ocasiones los geotextiles, al cabo del tiempo pueden llegar taponarse; esto debe evitarse. En realidad, para cada obra específica deberían hacerse pruebas con el suelo particular que se tendrá que proteger.

Existen diversas firmas productoras de geotextiles, las cuales, a su vez, tienen distintos tipos de fibras, con diferentes propiedades físicas. Para seleccionar adecuadamente uno de estos geotextiles, éste deberá ser estudiado como sistema, con el suelo con el cual va a interactuar. Algunas de las principales propiedades que se necesitan son:

- * Características estructurales
- * Facilidad para eliminar el agua, evitando el aumento de presiones de poro
- * Suficiente resistencia y durabilidad, para mantener la obra conformada a lo largo de su vida útil
- * Resistencia al medio donde se encontrará actuando: sales, agentes químicos y biológicos, etc.

Cuando se tiene un suelo mal graduado, grandes cantidades de finos serán arrastrados por el agua hacia o por los vacíos y ningún sistema de mallas o aberturas colocado a su paso podrá hacerse funcionar como filtro, ya que estos sistemas pueden llegar a taponarse. En general, la probabilidad de que se presente este taponamiento es más alta cuando se trabaja con suelos finos, principalmente arcillosos. Los geotextiles no tejidos se comportan mejor en la protección de suelos finos, aunque son más compresibles que los tejidos.

3.4 Drenajes

El geotextil permite, de acuerdo con las propiedades filtrantes y su función como separación, la aplicación en obras de drenaje, aplicables a carreteras, campos deportivos, estacionamientos, playas, riveras y costas, el cual se utilizará como un elemento permeable permitiendo el paso del flujo de agua infiltrada y reteniendo los finos que pudieran dar origen a socavaciones debido a la erosión.

3.4.1 Cajas, colectores y alcantarillados

Las carreteras, vías férreas, pistas de aterrizaje, estructuras de edificios, estabilización de taludes y declives, y muchos otros proyectos, muy a menudo, presentan averías debido a causas que son atribuibles a la presencia de agua subterránea. La remoción de dicha agua se facilita con el uso de drenajes subterráneos con la ayuda de geotextiles.

Por sus cuatro características principales de separación, filtración, drenaje y refuerzo, el geotextil es el elemento adecuado para este tipo de proyectos de ingeniería.

Por ejemplo, los drenajes de sub-base son necesarios en instalaciones nuevas o en rehabilitación de vías existentes para prolongar aún más la vida útil del sistema. Los drenajes de sub-base serán instalados perpendicularmente a la vía en áreas bajas, en cortes/rellenos y en áreas donde las aguas superficiales causen problemas, drenando hacia las cunetas laterales. Las figuras 5.3 a 7.3 ilustran la explicación.

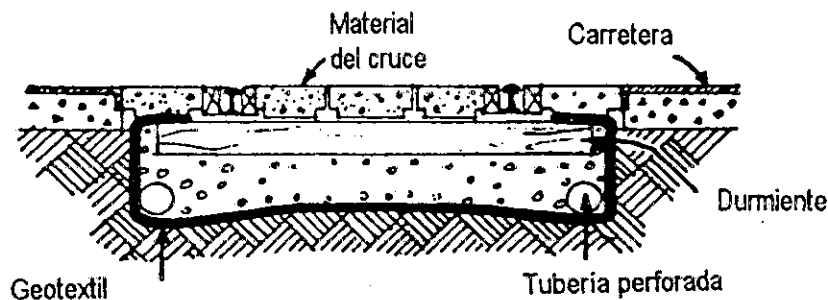


Figura 5.3

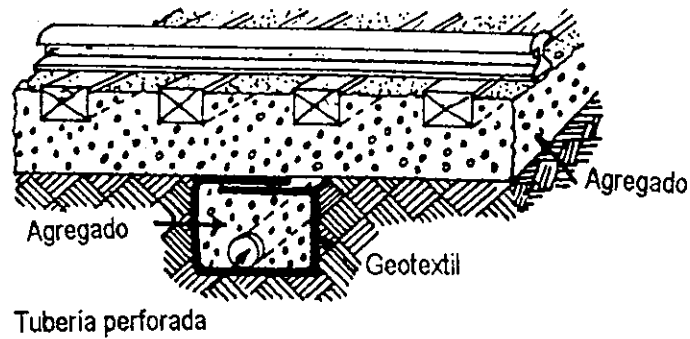


Figura 6.3

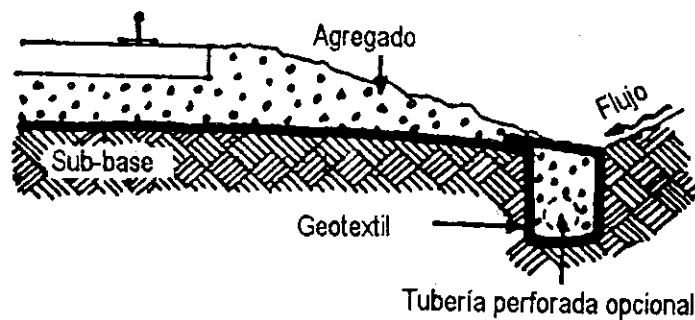


Figura 7.3

3.4.2 Drenajes subterráneos

En un sistema de drenajes subterráneos se trata que éste dé buenos resultados y que el costo sea mínimo. Para ello se deben de analizar y estudiar las condiciones del sitio de trabajo y los métodos constructivos a utilizar. Algunos aspectos para tomar en consideración son:

- La permabilidad del suelo y su distribución granular
- La capacidad de flujo hacia afuera que es por lo menos igual al flujo hacia adentro, proveniente de todas las fuentes de humedad.
- La capacidad de flujo hacia afuera que debe aumentarse a medida que se incrementa la cantidad de agua a desalojar.
- El tiempo que tarda el agua en fluir por el sistema.

Este tipo de drenajes se define tradicionalmente como aquellos que permiten el flujo de agua del suelo, y al mismo tiempo restringen el movimiento de los sólidos. En las figuras 8.3, 9.3 y 10.3, se ilustra el uso de geotextiles, para mejorar diseños de pavimentos en lo que a drenajes subterráneos respecta.

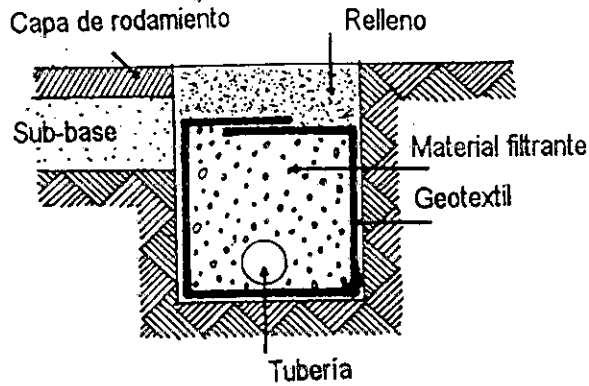


Figura 8.3 Drenaje adyacente al pavimento (vista en elevación)

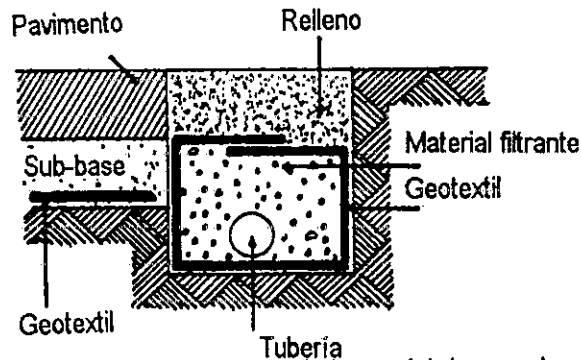


Figura 9.3 Drenaje de Sub-base (vista en elevación)

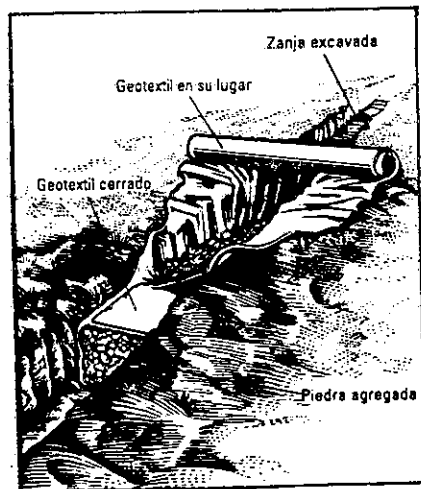


Figura 10.3 Drenaje adyacente al pavimento (vista isométrica)

CAPITULO 4

DISEÑO

Los criterios de diseño para refuerzo de suelos inestables con geotextiles se han desarrollado primordialmente para caminos revestidos, en los que cierta deflexión de la rasante es permitida. En tales casos, se han incorporado a los diseños los conceptos de "Efecto Membrana" (figura 1.4), junto con los principios postulados por Barenberg, y confirmados posteriormente por Steward et al (2) y Giroud y Noiray (3), de que la presencia del geotextil incrementa el rango de respuesta elástica del suelo. En modelos de laboratorio, Barenberg encontró:

Que el esfuerzo máximo permisible al cual se puede someter un suelo cohesivo, sin generación de roderas profundas (>2 plgs) está relacionado con su capacidad de carga última, determinada de acuerdo a la ecuación general de Terzaghi para suelos arcillosos saturados, donde:

para $\phi = 0^\circ$

$$q = C_{Nc} \text{ ----- Ec. (1)}$$

donde

q es la presión de contacto en la superficie del suelo

C es la resistencia no drenada del suelo

Nc es el factor de capacidad de carga de Terzaghi

y Nc = 3.8 para el caso de relativamente grandes deformaciones elásticas previas a la falla plástica del suelo (falla local) y Nc = 5.14 para falla general (relativamente pequeñas deformaciones "elásticas" del suelo previas a la falla plástica): entonces, los valores encontrados en su estudio de Nc = 3.3 como los niveles de esfuerzo en el suelo a los cuales se presentaban grandes deformaciones (>2 plgs) del mismo, sin refuerzo de geotextil y Nc = 6.0 para el caso de suelo reforzado, bajo un mínimo número de aplicaciones de carga, lo anterior indicaba que la presencia del geotextil utilizado inhibía la formación de fallas locales, inhibiendo la deformación del suelo. Este trabajo fue posteriormente ampliado por Steward (4) para el Servicio Forestal de los Estados Unidos de Norteamérica, encontrándose que:

Nc = 2.8 para suelos sin refuerzo de geotextil y deflexiones menores a 2"

Nc = 5.0 para suelos con refuerzo de geotextil y deflexiones menores a 2"

lo cual confirmó la teoría de que la inclusión de un geotextil es un camino construido sobre suelos cohesivos saturados, sujetos a carga rápida, significa prolongar el rango de respuesta elástica del suelo a mayores niveles de esfuerzos.

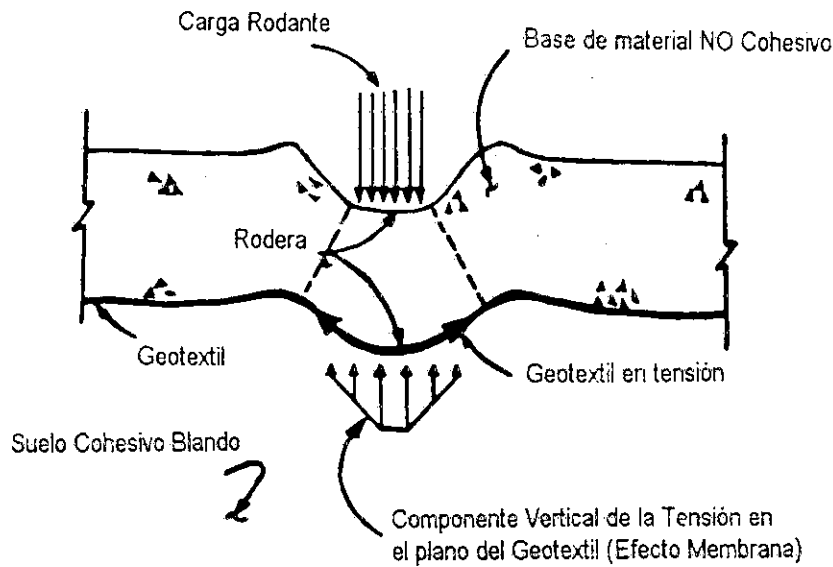


Figura 1.4 Efecto Membrana

4.1 Métodos de cálculo y diseño en terraplenes

A continuación se presentarán los métodos generales de cálculo, empleados en el diseño de estructuras estabilizadas o reforzadas por medio de geotextiles (geosintéticos) de alta tenacidad, baja elongación y mínima fluencia. Estos métodos han sido generados de los principales fundamentos de la mecánica de suelos y han sido adaptados en base a diferentes tramos de prueba. En base a estas secciones de prueba, han demostrado su validez en diferentes proyectos.

Por lo general se deben prever cuatro posibles tipos de falla, a saber:

- a) Inestabilidad interna
- b) Inestabilidad de cimentación
- c) Inestabilidad externa
- d) Falla de capacidad de soporte

- a) Inestabilidad interna (figura 2.4)

En este caso se supone que la resistencia al cortante (C_u) en la capa superior del subsuelo no es suficiente para resistir la presión activa del relleno, por lo que el terraplén tiende a deformarse horizontalmente. (figura 3.4)

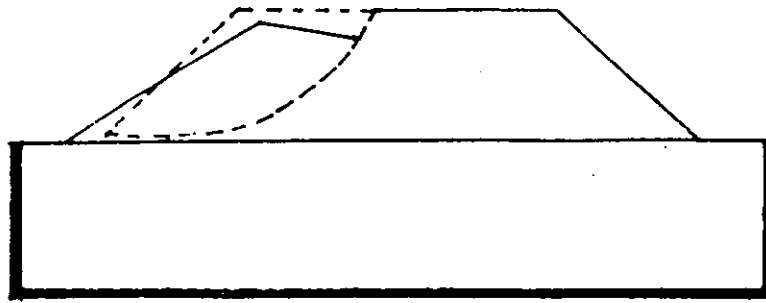


Figura 2.4 Inestabilidad interna

para el cálculo de la estabilidad S_1 se tiene:

$$P_{a1} = \frac{1}{2} \lambda a \gamma H^2$$

$$\lambda = \tan^2 (45^\circ - \phi/2)$$

$$S_1 = P_{a1}$$

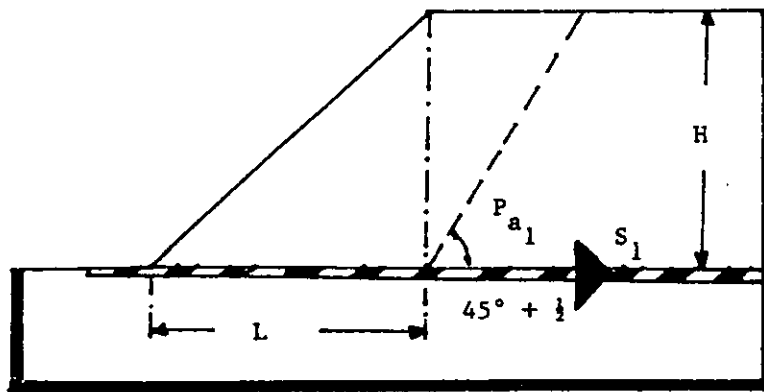


Figura 3.4 Cálculo de Estabilidad Interna

b) Inestabilidad de cimentación (figura 4.4)

Sobre todo en el caso de que se presenten estratos con resistencia al cortante (C_u) relativamente baja, comparada con las capas superiores, se puede presentar este tipo de falla. El factor de seguridad de las superficies de falla potenciales deberá ser calculado a diferentes profundidades, identificando el crítico.

En el caso de estructuras sobre suelos cohesivos no drenados, no consolidados, su resistencia al cortante C_u , podrá ser usada para el cálculo del equilibrio horizontal. Si el subsuelo está totalmente saturado y las presiones de poro son máximas, entonces $\phi = 0$, por lo que las ecuaciones generales.

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma_w h^2 + \frac{1}{2} \gamma_b h^2 \lambda_a - 2ch \quad \lambda_a + q_{s1} \lambda_a h$$

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma_w h^2 + \frac{1}{2} \gamma_b h^2 \lambda_p + 2ch \quad \lambda_p + q_{s2} \lambda_p h$$

Pueden ser simplificadas a:

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma_t h^2 - 2C_u h + q_{s1} h$$

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma_t h^2 + 2C_u h + q_{s2} h$$

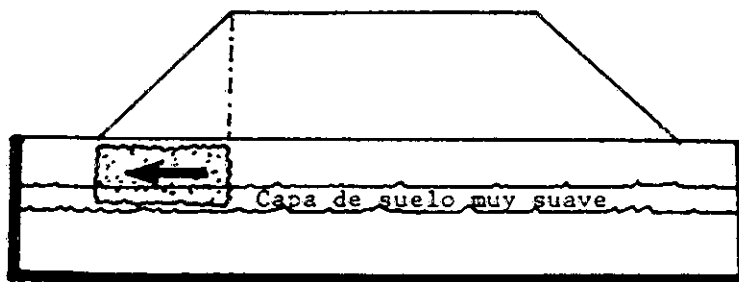


Figura 4.4 Falla de cimentación

Para confirmar que existe equilibrio se deberá cumplir que:

$$P_p + 2C_u L > P_a \quad (\text{Figura 3.4})$$

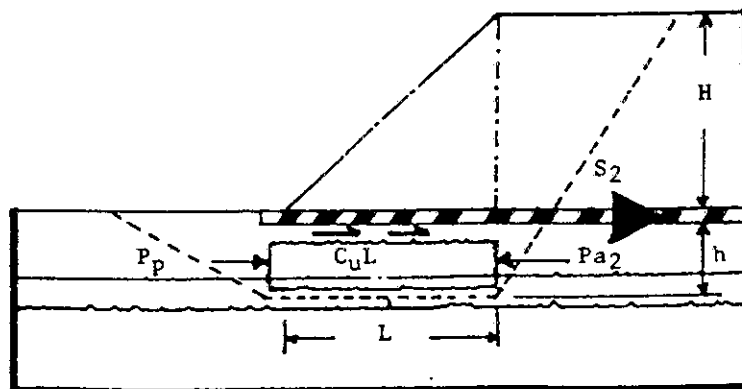


Figura 5.4 Cálculo de estabilidad de cimentación

Siendo la fuerza en el geotextil (geosintético): $S_2 = C_u L$

Si no se presentan estratos continuos de suelo muy suave, este tipo de falla sólo se aplica para profundidades pequeñas, y para estratos más profundos, la falla tiende a presentarse rotacional, como lo muestra la figura 6.4.

c) Inestabilidad externa (figura 6.4)

El cálculo de la estabilidad contra el deslizamiento a lo largo de un plano circular, se basa en el método de Bishop (figura 7.4), modificado al introducir un momento opositor, debido al geosintético de la base.

El factor de seguridad de acuerdo a este método será:

$$F = \frac{\text{Mopositor} + S_3 \cos \alpha R}{\text{Mactuante}}$$

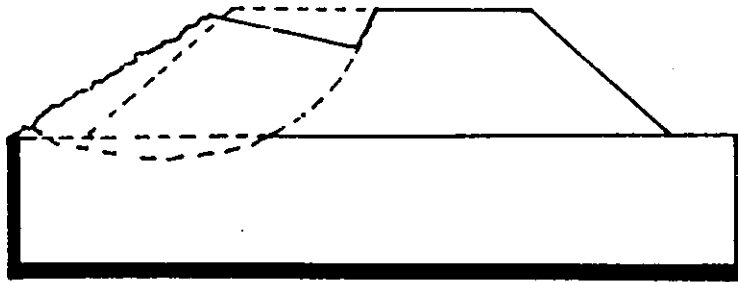


Figura 6.4 Falla Externa

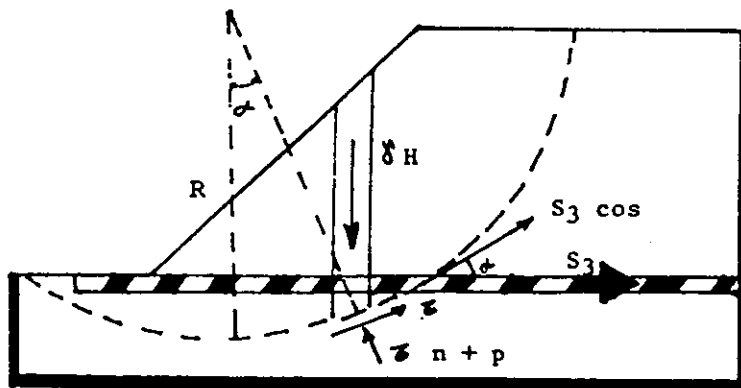


Figura 7.4 Cálculo de Estabilidad Externa

d) Falla de capacidad de soporte (figura 8.4)

Definitivamente la capacidad de soporte del suelo debe ser suficiente para recibir el terraplén. Prandtl desarrolló un método para determinar la capacidad de soporte del suelo. Pilot creó una tabla para determinar varios parámetros de este método y se muestra en la figura 9.4.

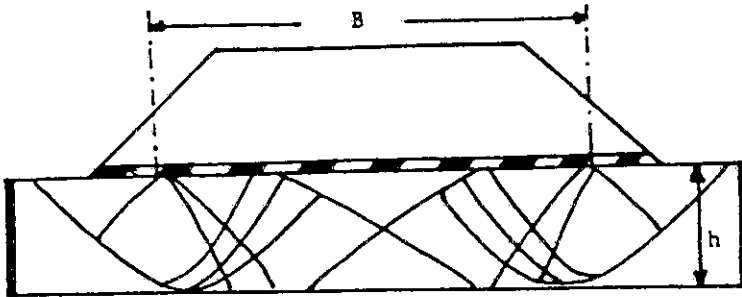


Figura 8.4 Modo de falla por capacidad portante

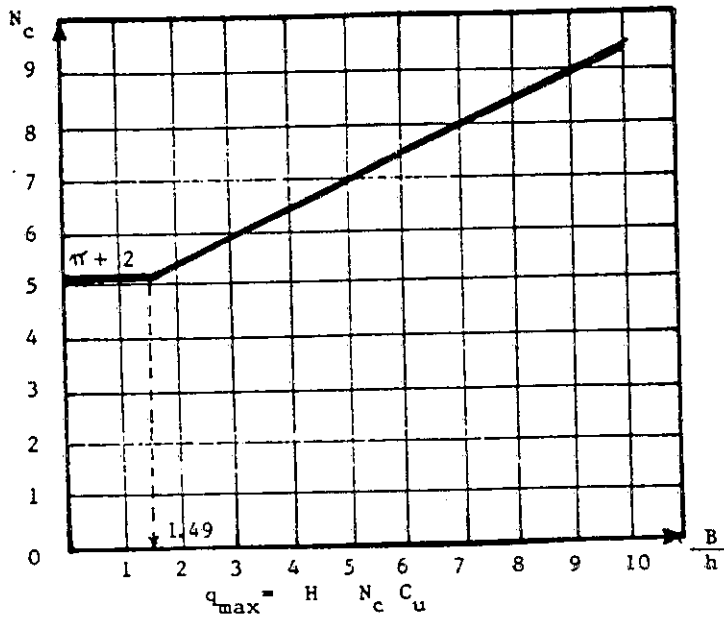


Figura 9.4

Una vez que se han analizado las posibles combinaciones de fuerzas que se pueden presentar, en los diferentes puntos en los que actuarían, se determinarán los requerimientos de resistencia que debe tener el geosintético, teniendo en cuenta los factores de seguridad adecuados. Si la resistencia del geotextil es superior a estos requerimientos, su funcionamiento será el adecuado.

En el caso que la estructura a la que se colocará el refuerzo a base de geosintéticos de alta tenacidad, se comporte como un muro de contención, deberá analizarse su estabilidad tanto externa (interrelación con el suelo natural), como interna (interrelación del suelo de relleno con el geotextil).

En cuanto a la estabilidad externa, deberán considerarse posibles modos de falla relativas a falla por deslizamiento, falla por volteo, falta de capacidad de carga, de los cuales se deberá determinar un factor de seguridad y en base a esto establecer si la resistencia del geotextil es suficiente (figura 11.4).

El factor de seguridad contra el deslizamiento se define como la fuerza resistente entre la fuerza deslizante, esto es:

$$F.S.D. = \frac{\mu (\gamma_w H L + W_s L)}{(K_{ab} \gamma_b \frac{1}{2} H^2) + K_{ab} W_s H}$$

$$F.S.D. = \frac{2\mu (\gamma_w H + W_s)}{K_{ab} (\gamma_b H + 2W_s) (H/L)} \geq 2$$

El factor de seguridad contra el volteo se puede definir como el resultado de dividir el momento opositor entre el momento de volteo, con lo cual se obtiene:

$$F.S.V. = \frac{3(\gamma_w H + W_s)}{K_{ab} (\gamma_b H + 3W_s) (H/L)^2} \geq 2$$

En el caso de la falla por capacidad de soporte del suelo se deberán analizar los esfuerzos que se presenten, para esto se pueden emplear las siguientes expresiones y comparar estos esfuerzos con la resistencia del suelo.

$$\sigma_{max} = (\gamma_w H + W_s) + K_{ab} (\gamma_b H + 3W_s) (H/L)^2$$

$$\sigma_{min} = (\gamma_w H + W_s) - K_{ab} (\gamma_b H + 3W_s) (H/L)^2$$

En cuanto la estabilidad interna se podrían presentar mecanismos de falla principalmente en cuanto a deficiencias en la capacidad de carga del geotextil, falla por tensión, o por medio de falta de adherencia entre el material de relleno y el geosintético.

Al analizar el funcionamiento de las diversas capas de refuerzo se deberá verificar que las tensiones no excedan la capacidad de carga del geotextil; para ello se emplean las siguientes expresiones en base a si se trata de suelo friccionante o suelo cohesivo friccionante:

$$T_i = K_{aw} [\gamma_w h_i + W_s + K_{ab} (\gamma_b h_i + 3W_s) (h_i/L)^2] V_i \quad \text{ó}$$

$$T_i = K_{aw} [\gamma_w h_i + W_s - (2c_w / K_{aw}) + K_{ab} (\gamma_b h_i + 3W_s) (h_i/L)^2] V_i$$

El otro tipo de falla que debe cuidarse en cuanto a la estabilidad interna, es la probabilidad de que no exista suficiente adherencia entre el geotextil y el suelo de relleno. Para estudiar esta posibilidad se debe considerar que la tensión en cada capa de geotextil estará dada por la expresión:

$$T = \frac{h \tan \beta (\gamma_w h + 2W_s)}{2 \tan (\phi_w + \beta)}$$

Considerando que el máximo valor de T ocurrirá cuando:

$$\beta = 45^\circ - \phi_w/2$$

Una vez que se ha comprobado que las tensiones no son superiores a la capacidad de carga del geotextil de alta tenacidad, debe asegurarse que exista suficiente longitud de anclaje para evitar que por los esfuerzos inducidos el geotextil sea sacado (halado) de su sitio. Para calcular la longitud de anclaje se emplearán las siguientes expresiones para los casos de que exista sobrecarga sobre el muro o no:

$$L_{ip} = \frac{T_i * F.S.}{2 \alpha \tan \phi_w' \gamma_w h} \quad (\text{sin sobrecarga})$$

$$L_{ip} = \frac{T_i * F.S.}{2 \alpha \tan \phi_w' (\gamma_w h + W_s)} \quad (\text{con sobrecarga})$$

Por lo general se emplea un F.S. = 2, siendo un coeficiente de interacción entre el geotextil y el suelo, el cual se expresa generalmente como una proporción de $\tan \phi$.

4.2 Diseño con Geotextiles en pavimentos

Para el diseño con geotextiles en pavimentos se proponen dos métodos, uno de ellos desde el punto de vista de refuerzo y el otro desde el punto de vista de la función del geotextil como una barrera impermeable. El primer método está basado en ensayos realizados para determinar la efectividad del geotextil para impedir la reflexión de grietas, en los cuales se construye un espécimen con una porción de carpeta agrietada a la cual se le coloca una capa de geotextil y en seguida 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 tabla 1.4 se muestran los resultados típicos de un ensayo de este tipo, siendo lo más importante la última columna en la que aparece el denominado factor de efectividad del geotextil, FEG, definido como:

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

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

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

Según ensayos efectuados se ha encontrado que el FEG varía desde 2.1 hasta 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:

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

donde $\sum L_r$ = tránsito de diseño para pavimento con refuerzo, en ejes equivalentes de 80 kN

$\sum L_n$ = tránsito de diseño para pavimento sin refuerzo, en ejes equivalentes de 80 kN

FEG = factor de efectividad del geotextil

A continuación se calculará el espesor de pavimento requerido para ambos casos, T_r y T_n , es decir espesor con refuerzo y sin refuerzo, respectivamente.

Tabla 1.4 Ciclos de carga a la falla en diferentes tipos de geotextil

GEOTEXTIL	PESO g / m ²	MODULO SECANTE (Kg) (1)	CICLOS A FALLA	FACTOR DE EFECTIVIDAD FEG
- Sin Geotextil	--		480	1.0
A No tejido, polipropileno	150	60	1000	2.1
B No tejido, poliéster	205	55	2300	4.8
C No tejido, polipropileno	205	95	3260	6.8
D Tejido, polipropileno y poliéster	170	165	2760	5.8
E No tejido, poliéster termosoldado	110	199	7650	15.9
(1) PARA UNA DEFORMACION UNITARIA DE 5%				

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

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

proporcionará el espesor de sobrecarpeta equivalente a la presencia del geotextil, y que deja de colocarse por este motivo.

El segundo método está basado en la medición de deflexiones con Viga Benkelman (5), en el cual 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:

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

donde DRR deflexión de rebote representativa, en mm

x media aritmética de las deflexiones medidas, en mm

s desviación estándar, en mm

f_i factor de ajuste por temperatura

c factor de ajuste por período crítico

El factor de ajuste por período crítico es 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 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 será necesario comparar los efectos de diferentes geotextiles para elegir el más adecuado.

Un tercer método utiliza un procedimiento de diseño mecanicista, en el cual se toman en cuenta aspectos de agrietamiento por fatiga y de deformaciones permanentes.

4.2.1 Principios de diseño

La metodología para estabilizar subrasantes de suelos blandos usando una combinación de geotextiles y agregados está muy bien establecida. El geotextil se coloca entre el material granular de base y la subrasante (separación) para evitar la contaminación y al mismo tiempo mantener la integridad de la base estructural del pavimento. Por consiguiente, el geotextil debe retener las partículas de suelos muy finos, manteniendo una alta permeabilidad y permitiendo el drenaje de las aguas acumuladas en la base o en la subrasante del pavimento. Con el tiempo, un drenaje adecuado del pavimento mantiene o aumenta la capacidad estructural de la subrasante.

Por otro lado, todas las carreteras permanentes o temporales, caminos vecinales o forestales, derivan su soporte estructural de la base/sub-base construída sobre la subrasante. Por lo tanto, las funciones del geotextil son similares para cualquier tipo de caminos. Sin embargo, debido a que los requerimientos para el funcionamiento son diferentes, existe una diferencia esencial en la filosofía de diseño a utilizar. La diferencia principal se refiere a la aceptación de roderas a través de la vida útil del pavimento en carreteras temporales o caminos vecinales sin impedir su funcionamiento. Por supuesto, en el diseño de carreteras permanentes o de primera categoría, las roderas no son permitidas por ser peligrosas para el tránsito a mayores velocidades.

En carreteras permanentes o principales, el diseño de la estructura del pavimento consiste en los pasos siguientes:

- a) Evaluar la necesidad del geotextil, basándose en la capacidad de carga de los suelos de la subrasante ($CBR < 3$) y usando las experiencias en el funcionamiento de otras carreteras con suelos similares.
- b) Determinar los requerimientos estructurales del pavimento usando la "Guía de Diseño Estructural de Pavimentos de la AASHTO, 1,972" sin darle ningún valor estructural al geotextil o usar el método de diseño aplicable en el país.
- c) Después de determinar el espesor de las distintas capas estructurales del pavimento, evaluar si el método de diseño usado incluye una cantidad adicional de agregados para estabilizar la subrasante debido a la posibilidad de contaminación o pérdida del valor estructural de la base por la mezcla de suelos finos procedente de la subrasante. Si una cantidad adicional ha sido añadida, reducir un 50% esta cantidad adicional e incluir un geotextil en la línea de separación de la base o sub-base y la subrasante.
- d) Determinar la cantidad adicional de agregados requerida en la base o sub-base para estabilizar la subrasante y para permitir las actividades de construcción. El espesor adicional es determinado usando el procedimiento desarrollado por Steward para el diseño de caminos forestales temporales. Un criterio de profundidad de roderas de 7.5 cm es usado en sus análisis. Comparar el espesor de la capa geotextil/agregado requerido con la cantidad reducida del agregado necesario para la estabilización de la subrasante, literal c, y seleccionar el espesor más grande, el cual se suma al espesor requerido por el diseño estructural del pavimento.

- e) Basado en las actividades de construcción previstas, las propiedades mecánicas del geotextil son determinadas. Estas deben cumplir con los criterios de resistencias al funcionamiento desarrollado por AASHTO M288-90, Tablas 2.4 y 3.4.
- f) Basado en los conocimientos de los suelos de la subrasante, CBR, granulometría y clasificación, permeabilidad, etc., los requerimientos hidráulicos del geotextil son determinados de acuerdo con el método presentado en el manual de diseño con geotextiles del FHWA.

Tabla 2.4 Clase de severidad en la construcción

TASA DE SOBREVIVENCIA EN LA CONSTRUCCION (Task Force 25, 1,989)						
CBR en el sitio de instalación	< 1		1 - 2		> 3	
Presión de contacto desarrollada por el equipo	> 50 < 50		> 50 < 50		> 50 < 50	
Espesor de la cubierta en plg. (1) (compactada)						
4(2,3)	NR	NR	H	H	M	M
6	NR	NR	H	H	M	M
12	NR	H	M	M	M	M
18	H	M	M	M	M	M

H = ALTO M = BAJO NR = NO RECOMENDADO

- (1) El tamaño máximo del agregado no debe exceder de la mitad de la capa compactada
 (2) Para bajo volumen de tránsito en caminos sin pavimentar (tránsito diario < 200 vehículos)
 (3) Como mínimo 4 plg. del espesor de la base existente no se usa en una nueva construcción.

Tabla 3.4 Requerimientos mecánicos del geotextil

SOBREVIVENCIA EN LA CONSTRUCCION				
SEPARACION/ESTABILIZACION				
	SOBREVIVENCIA NIVEL ALTO		SOBREVIVENCIA NIVEL MEDIO	
	Con tejido	Sin tejido	Con tejido	Sin tejido
Resistencia de agarre ASTM D-4632	> 270 Lbs.	> 180 Lbs.	> 180 Lbs.	115 Lbs.
Alargamiento ASTM D-4632	< 50 %	> 50 % (*)	< 50 %	> 50 % (*)
Resistencia a la perforación ASTM D-4833	> 100 PSI	> 75 PSI	> 70 PSI	> 40 PSI
Resistencia a la humedad ASTM D-4533	> 100 Lbs.	> 75 Lbs.	> 70 Lbs.	> 40 Lbs.

(*) Los valores de elongación (alargamiento) del geotextil no incluyen las propiedades de consolidación aceptables de la subrasante, éstos deben ser determinados por una investigación aparte, pero se intenta mostrar que con tejidos con elongación < 50% se requiere un mayor esfuerzo.

4.2.2 Espesor de las capas del pavimento

La estructura del pavimento flexible es un sistema de capas de distintos espesores y por lo tanto debe diseñarse de esta manera. Los espesores de las capas del pavimento son calculados en función del valor estructural (SN) (figura 11.4), "Método de Diseño AASHTO, 1,972", y el coeficiente del material de cada capa (a_1).

$$SN \leq \sum a_1 D_1$$

Para un pavimento de dos capas:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2$$

donde

- SN = valor estructural del pavimento
- a_1, a_2 = coeficientes de los materiales usados en la capa de rodadura y de la base o sub-base.
- D_1, D_2 = Espesores de las capas de rodadura y de base o sub-base, respectivamente.

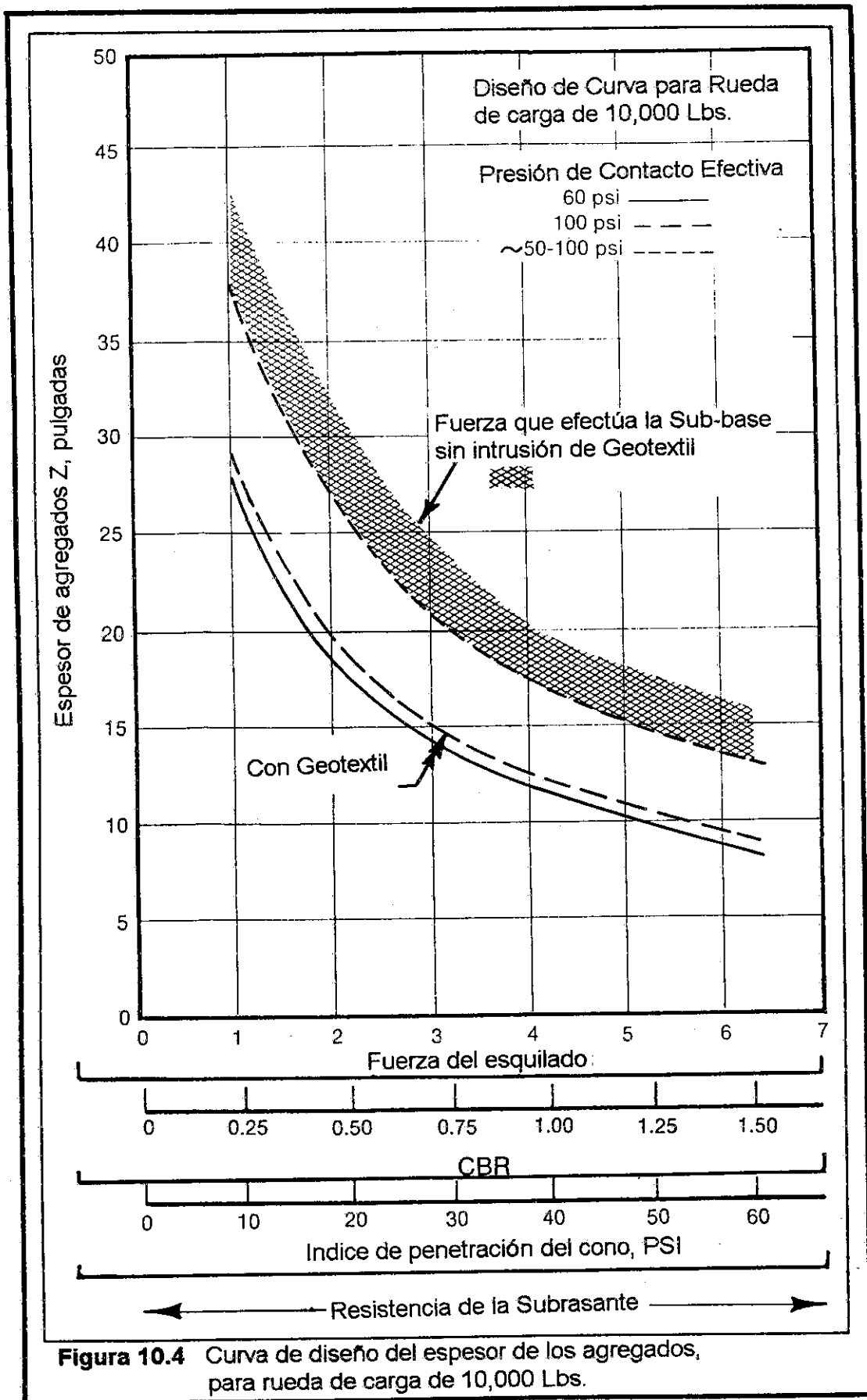
Para determinar el Valor Estructural (SN) usando el método AASHTO, los siguientes valores son requeridos:

- El valor de soporte del suelo (S) o el CBR.
- El factor regional (R)
- El Índice de servicio del tipo de camino (P1)
- El número total de repeticiones de las cargas vehiculares equivalente a un eje de un camión sencillo de 80 kN. (EAL).

La figura 10.4 muestra la curva de diseño del espesor de los agregados para carga de rueda de 10,000 Lbs., usando geotextil y sin geotextil.

4.2.3 Caminos vecinales o temporales

El método presentado es para el diseño y construcción de caminos vecinales o temporales y/o para la determinación del espesor mínimo sobre la capa de la subrasante. Este método de diseño fue desarrollado por Steward. El espesor sobre la capa subrasante/geotextil es determinado en función de las cargas vehiculares y la cohesión del suelo (c). El factor de capacidad de carga del suelo (N_c) para diferentes roderas del pavimento y condiciones del tráfico es:



	Rodenas (cm.)	Tráfico (EAL)	Factor (Nc)
No Geotextil	< 5	> 1000	2.8
	> 10	< 100	3.3
Con Geotextil	< 5	> 1000	5.0
	> 10	< 100	6.0

El valor "c" es la cohesión del suelo.

Las figuras 12.4 y 13.4 presentan curvas de diseño para eje sencillo y combinados.

Este método de diseño es también usado para determinar el espesor mínimo que permite el tráfico de equipos de construcción sin daño al geotextil. Este valor es comparado con el determinado usando el número estructural requerido y anteriormente computado. El mayor espesor se tomará como el espesor de diseño.

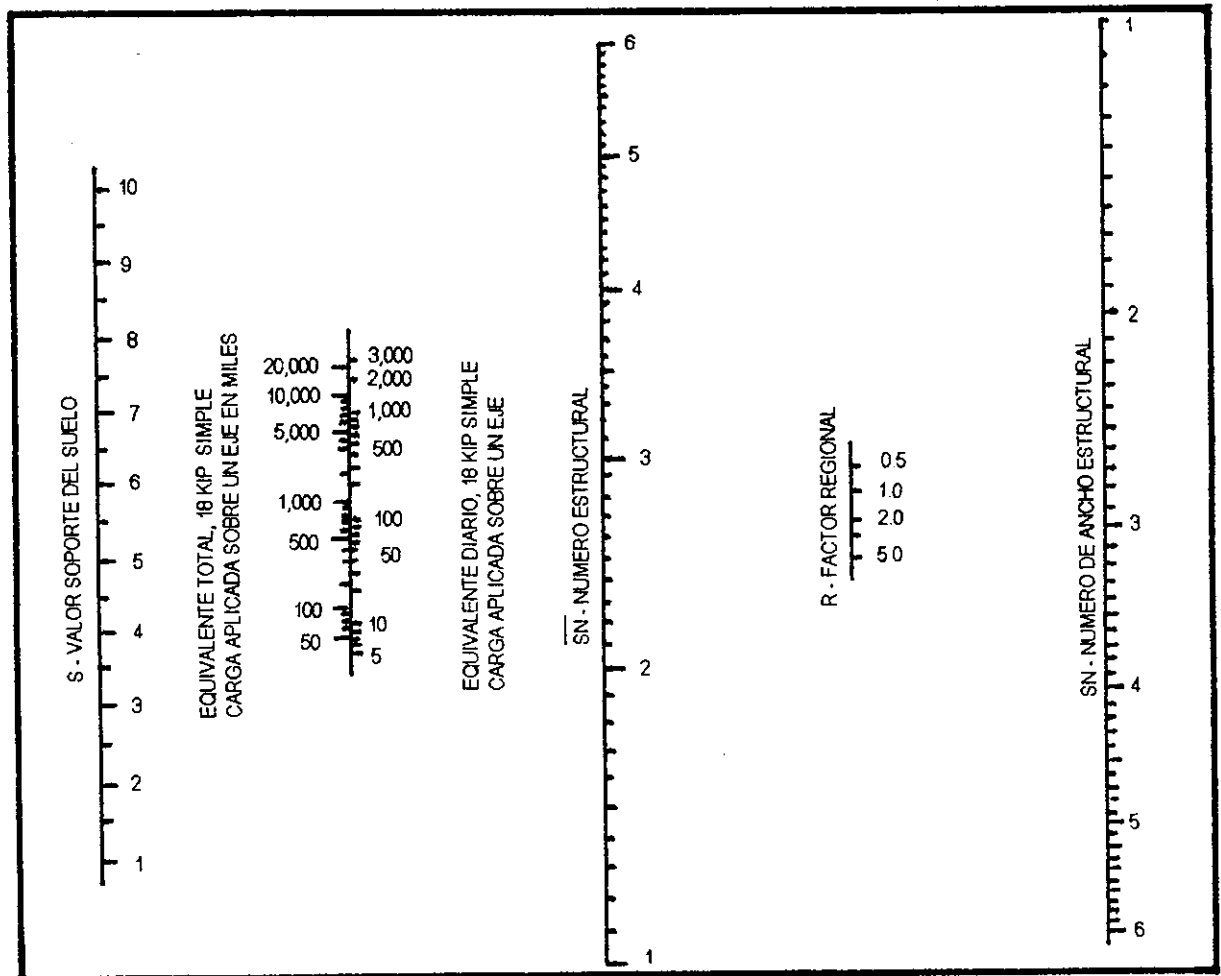


Figura 11.4 Valor o Número Estructural (SN) para carreteras de Primera Categoría, $P_1 = 2.5$

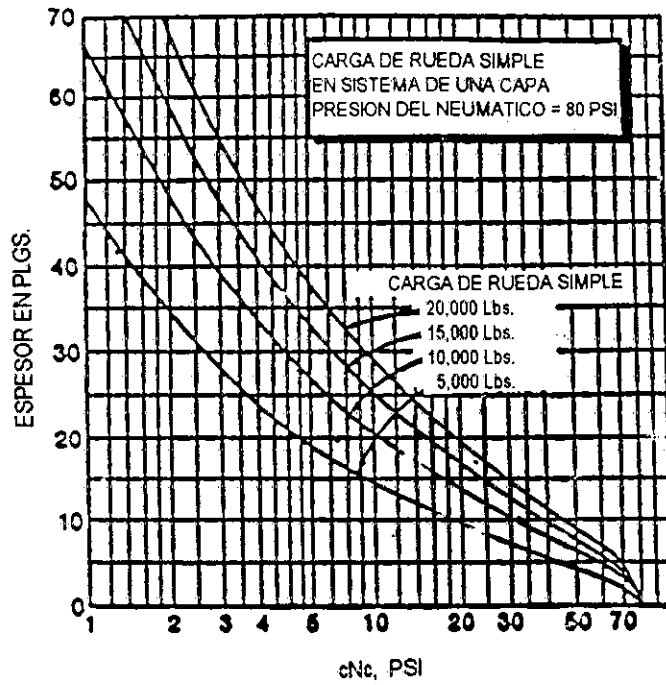


Figura 12.4 Curvas de diseño del espesor, camiones de "Rueda simple"

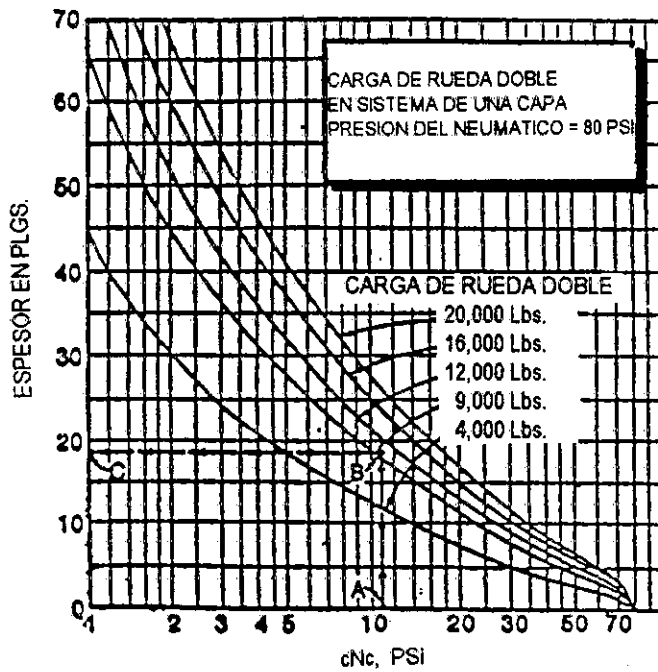


Figura 13.4 Curvas de diseño del espesor, camiones de "Rueda doble"

4.3 Diseño con Geotextiles en drenajes

Debido a la diversidad de aplicaciones que se le pueden dar a los geotextiles en el sistema de drenajes, a continuación se muestran diversos tipos de diseños. El ingeniero-diseñador debe hacer los análisis y estudios previos al diseño, desde todo punto de vista.

4.3.1 Cajas, colectores y alcantarillados

En este tipo de artefactos para alcantarillados sanitarios y pluviales, el uso del geotextil tiene una función de filtración. Hay diversidad de proyectos de los cuales se mencionan los siguientes:

a) Drenajes interceptores y colectores

Estos se definen como elementos especialmente diseñados para interceptar y coleccionar aguas que se mueven en una pendiente hidráulica hacia una estructura, pavimento, presa, dique, terraplén, tierra cultivable, vía férrea, edificios, casas, etc. La siguiente ilustración (figura 14.4) muestra el uso del geotextil en un terraplén de una carretera, que intercepta y colecciona el agua infiltrada y la conduce al exterior.

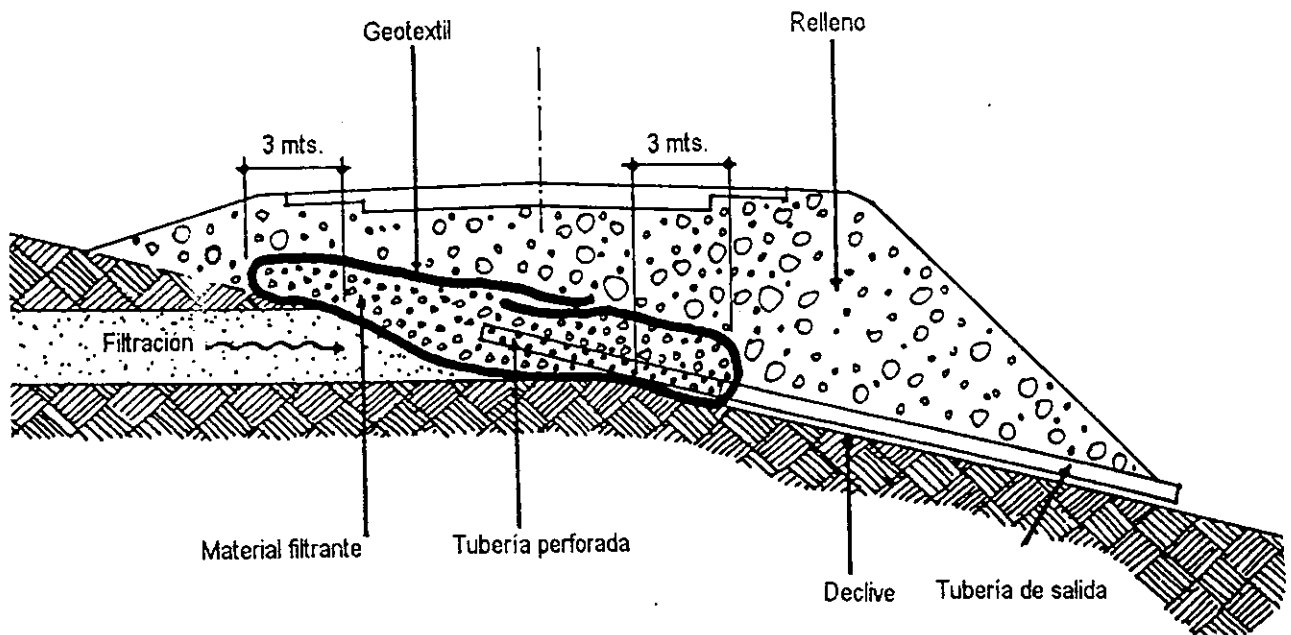


Figura 14.4 Drenaje interceptor y colector para encauzar el agua de infiltración

b) Pozos auxiliares o de recarga con geotextil

Para tales pozos, los geotextiles son una herramienta para reducir presiones hidráulicas perjudiciales. Los pozos de recarga o de distribución permiten el repartimiento de aguas no deseables, de lluvias o de desbordes, así como el reemplazo de agua a un depósito que está bajo nivel.

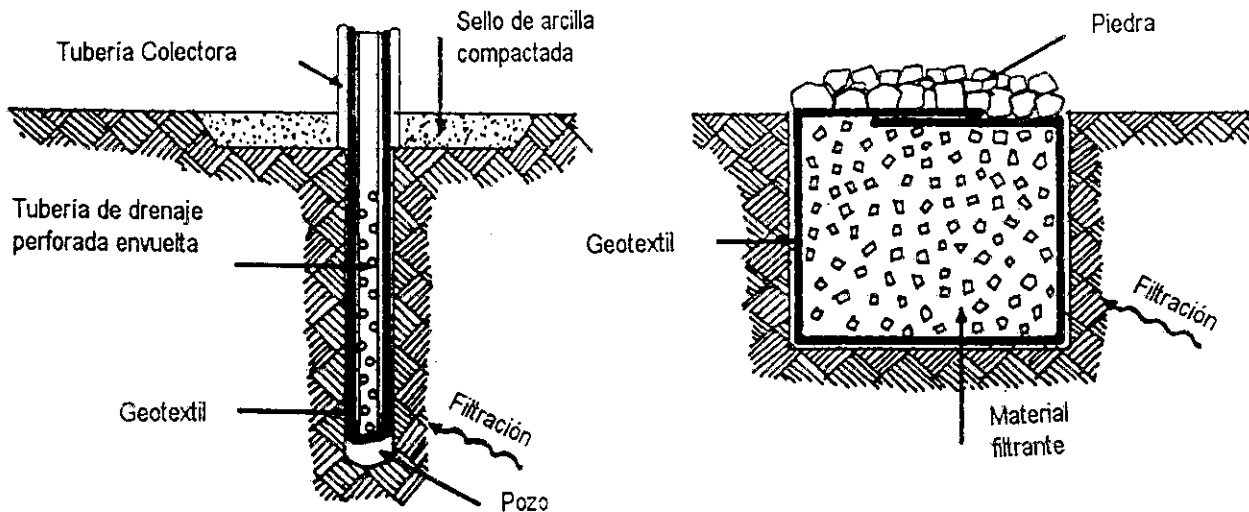


Figura 15.4 Pozos auxiliares o de recarga con geotextil

4.3.2 Drenaje subterráneo

En el capítulo 3 (3.4.2), se menciona la aplicación del geotextil en drenaje subterráneo. Luego de conocer esta aplicación se procede a realizar el diseño requerido de conformidad con las especificaciones para drenajes, que se mencionan más adelante (capítulo 7), y a las consideraciones físicas y climáticas de la región para realizar un buen diseño. Entre las consideraciones físicas que se pueden tomar en cuenta son:

- permeabilidad del suelo
- capacidad de flujo hacia afuera
- tiempo que tarda el agua en fluir por el sistema

Entre las consideraciones climáticas se tienen:

- precipitación de la región
- temperaturas máximas y mínimas

4.4 Diseño por función con Geotextiles

Este concepto es uno de los más modernos para realizar diseños de sistemas geotécnicos que incluyen geotextiles. Se basa en criterios usuales de ingeniería, que establecen relaciones numéricas entre valores permitidos para determinada propiedad del geosintético y los valores requeridos de esa propiedad, de acuerdo a cierto método de cálculo. Con la relación de dichos valores se obtienen factores de seguridad (FS) que se comparan con el factor de seguridad deseado. Lo anterior se detalla en la siguiente ecuación:

$$F.S. = \frac{\text{Valor de la propiedad permisible}}{\text{Valor de la propiedad requerida}} \quad \text{Ec. (1)}$$

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

De estos ensayos, existen algunos que sólo representan un índice del comportamiento del material, pero que a cambio son relativamente económicos y de fácil realización, con equipo convencional. También existen otros que sí reproducen en forma adecuada el funcionamiento del geotextil, pero que requieren equipos más complicados, de mayor costo o que requieren de lapsos de observación prolongados.

Los "valores requeridos" se obtienen mediante cálculos usuales para sistemas tradicionales que han sido modificados para incorporar la contribución del geotextil. En ocasiones, debido a contribuciones de diferentes investigadores, existen varios métodos para su cálculo.

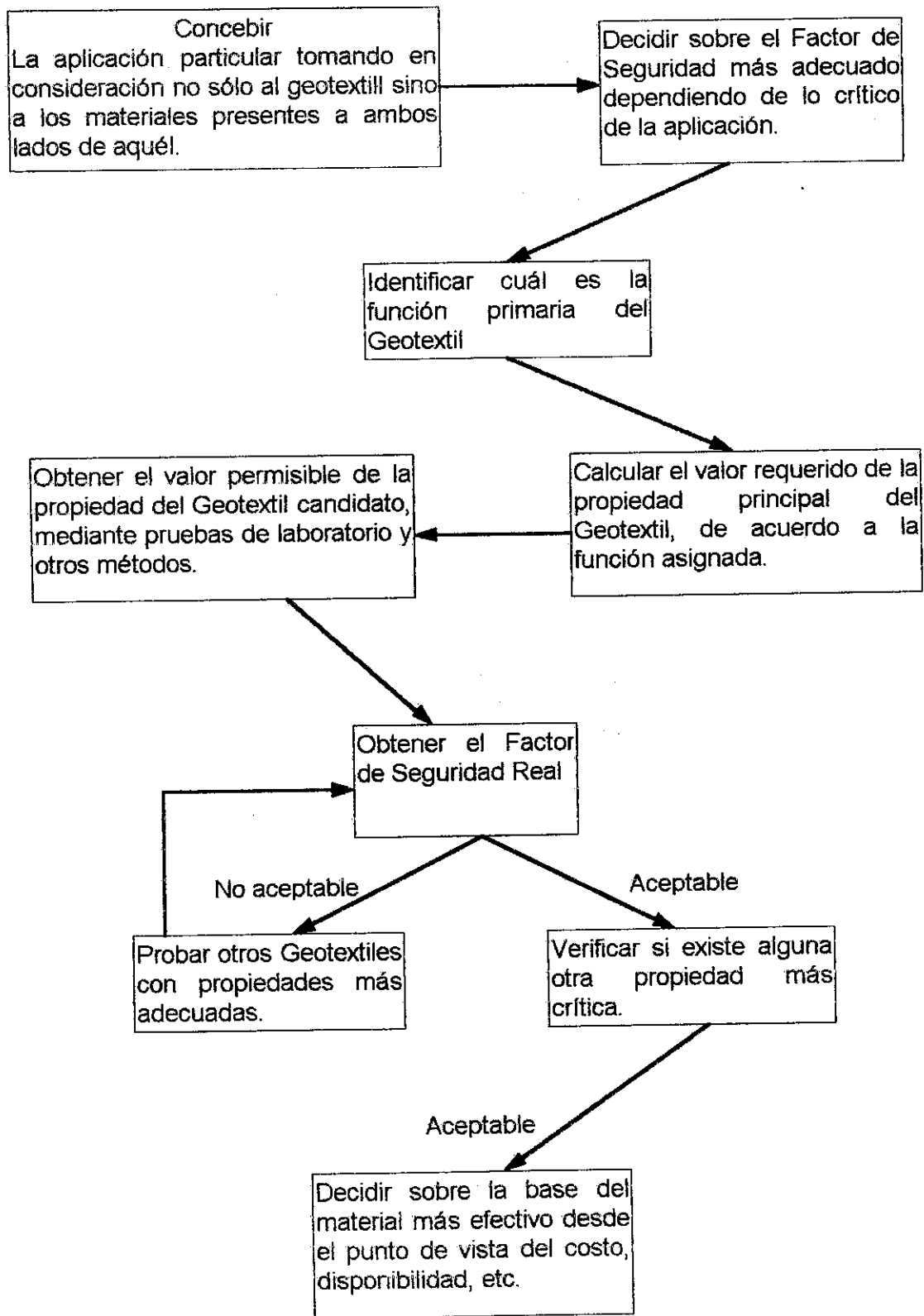


Figura 16.4 Diseño por función

Uno de los problemas del "Diseño por Función" es que se requiere contar con información de las propiedades de los materiales y los geotextiles son productos que dada su relativamente corta existencia en la industria, aún se encuentran en etapa de desarrollo y normalización, existiendo pocas pruebas, generalmente aceptadas, que proporcionen información real de su comportamiento; en cambio, el número de métodos para determinar valores índice es mucho mayor. Otra limitante es que, aún existen algunas funciones de dichos materiales, para las cuales se han postulado teorías del funcionamiento, no existiendo consenso de cuál es la más correcta. Este puede ser el caso de la aplicación de filtración

Como consecuencia de lo anterior, a menudo se publican factores de seguridad deliberadamente altos (Koerner, 1,990) (6). A continuación se muestran ejemplos de lo anterior.

Tabla 4.4 Factores de seguridad, en función del uso de geotextiles, (Koerner, 1,990)

Aplicación	Daños por instalación	Elongación a largo plazo	Deterioro químico	Deterioro biológico
Separación	1.1 a 2.5	1.0 a 1.2	1.0 a 1.5	1.0 a 1.2
Caminos Revestidos	1.1 a 2.0	1.5 a 2.5	1.0 a 1.5	1.0 a 1.2
Muros de contención	1.1 a 2.0	2.0 a 4.0	1.0 a 1.5	1.0 a 1.3
Ferrocarriles	1.5 a 3.0	1.0 a 1.5	1.5 a 2.0	1.0 a 1.2
Terraplénés	1.1 a 2.0	2.0 a 3.0	1.0 a 1.5	1.0 a 1.3

Se reconoce que debido a lo particular de cada aplicación, el ingeniero debe emplear el criterio para determinar el factor de seguridad más adecuado. Para el uso de la tabla anterior, se pueden determinar factores de seguridad compuestos, de la forma siguiente:

Para el caso de determinar la "Resistencia a la Tracción" de un geotextil, modificada para compensar la falta de representatividad de las condiciones de campo de la prueba mediante dicha prueba, se modifica, para obtener la resistencia a la tracción permisible, de la siguiente manera:

$$T_{perm} = T / (FS_{di} \cdot FS_e \cdot FS_{dq} \cdot FS_{db}) \quad \text{Ec. (2)}$$

donde: * T_{perm} es el valor que se utilizaría en la Ec. (1), en el numerador

* T es el resultado obtenido mediante la prueba y que se desea corregir

* FS_{di} , FS_e , FS_{dq} , FS_{db} son los factores de seguridad parciales, por daños de instalación, elongación a largo plazo, daño químico y deterioro biológico.

El ejemplo es aplicable a otras propiedades mecánicas relacionadas con las áreas de aplicación mencionadas en la tabla 5.4 y otras semejantes. Como es obvio, este tipo de corrección es arbitrario, pero se utiliza a falta de datos adecuados. Por lo anterior, se sugiere precaución al emplear el método. Otro elemento necesario para poder asignar los factores de seguridad mencionados, es un conocimiento adecuado de los diferentes métodos de prueba más comunes utilizados para el ensayo de geotextiles.

Tabla 5.4 Propiedades generales de los geotextiles y su relación con la función

Propiedad / Métodos usados	Relación con la función
<p style="text-align: center;"><u>Masa por unidad de área</u></p> <p>Los métodos normalizados más comunes son: -ASTM D-3776 -ASTM D-1910</p>	<p>Muy utilizada para comparar geotextiles entre sí, pues el costo es directamente proporcional a la masa/unidad de área, al igual que el costo de instalación. Su homogeneidad indica la homogeneidad de las propiedades mecánicas.</p>
<p style="text-align: center;"><u>Espesor</u></p> <p style="text-align: center;">-ASTM D-1777</p> <p>Este método no es específico para los geotextiles pero es ampliamente usado. Dentro de la terminología para geotextiles de ASTM se menciona la propiedad "Espesor Comprimido", que es el espesor de un geotextil bajo un esfuerzo normal específico.</p>	<p>Se determina a diferentes presiones. 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.</p>
<p style="text-align: center;"><u>Gravedad Específica</u></p> <p>Propiedad definida por el polímero que constituye la tela. El polietileno y polipropileno tienen una gravedad específica menor a 1, lo que indica que el peso de un volumen unitario de dichos polímeros es menor que el correspondiente al agua destilada a 4°C. Método ASTM D - 792</p>	<p>Indica si el geotextil flota o no en agua; tiene relación con la facilidad y costo de colocar al textil en zonas inundadas o en el mar. Se relaciona con el costo de instalación.</p>

4.4.1 Ejemplo de diseño por función

Ejemplo único (Koerner)

Para el subdren de una carretera, construido con grava mal graduada que rodea a un tubo perforado, determinar si un Geotextil fabricado por método de entrelazado mecánico, con $K = 0.381$ cm/seg, espesor $t = 0.114$ cm, y AOS equivalente a la malla 100 U.S. standard, es adecuado para manejar el flujo esperado, que será de 147 cm³/seg. El textil deberá también evitar que partículas del suelo, que es un limo arenoso, con $d_{10} = 0.006$ mm, $CU = 5.5$, $K = 1.31E-3$ cm/seg y se encuentra en un estado de compacidad intermedia, de 85%, penetre los espacios abiertos de la grava y reduzca su permeabilidad.

SOLUCION

a) Condición de suficiente permeabilidad

Primero, es necesario calcular la permitividad requerida ψ_{req} en el sistema:

$$q = K \cdot I \cdot A = K \cdot \Delta H / t \cdot A$$

de donde: $K/t = q / \Delta H \cdot A = 0.000147 / ((0.5) \cdot 0.3 \cdot 1)$

$$\psi_{req} = 0.00098/\text{seg}$$

Ahora se debe calcular la permitividad que posee el Geotextil:

$$\psi_g = K_{\text{geotextil}} / t_{\text{geotextil}}$$

$$\psi_g = (0.381 \text{ cm/seg}) / (0.114 \text{ cm})$$

$$\psi_g = 3.34/\text{seg}$$

Este factor se debe corregir por daños de instalación, elongación a largo plazo, deterioro químico y deterioro biológico, de acuerdo a la Ec. (2), así:

$$\psi_{perm} = 3.34 [1 / (2 \cdot 1.5 \cdot 2.5 \cdot 1.1)]$$

$$\psi_{perm} = 3.34 / 8.25$$

$$\psi_{perm} = 0.40/\text{seg}$$

Con lo anterior, es posible calcular el Factor de Seguridad:

$$F.S. = \psi_{perm} / \psi_{req}$$

$$F.S. = 0.40 / 0.00098$$

$$F.S. = 40.8$$

Por lo que se concluye que el geotextil propuesto es adecuado para el caso de suficiente permeabilidad.

- b) La contaminación puede llevarse a cabo con el limo arenoso que compone el suelo. Se aplicará el criterio siguiente, propuesto por Giroud (7):

$$O_{95} < 18 d_{50}/c_u \quad y \quad c_u = d_{60}/d_{10}$$

$$\text{Por lo tanto: } d_{60} = (5.5)(0.006) = 0.033 \text{ mm}$$

y por aproximación, se establece que $d_{50} = 0.030$ mm y aplicando el criterio seleccionado se tiene que:

$$O_{95} < (18)(0.03)/(5.5)$$

$$O_{95} < 0.098 \text{ mm}$$

El número de malla con abertura más próxima a la obtenida, corresponde al No. 140, equivalente a 0.016 mm; así, AOS del geotextil debe ser el No. 140 o un número mayor. Como AOS de dicho material es el No. 100 ($O_{95} = 0.15$ mm), se concluye que es necesario optar por otro geotextil que cumpla con la condición de retención indicada.

4.5 Selección del Geotextil

Para que el geotextil funcione apropiadamente en todos los usos que anteriormente se han detallado, se deben considerar cuidadosamente las propiedades requeridas del mismo. El geotextil seleccionado para estos usos debe exceder las propiedades mecánicas, hidráulicas, y de envejecimiento, requeridas por el diseño. La selección inapropiada del geotextil puede resultar en fallos del mismo durante la construcción o en el período inicial de la vida útil del pavimento, en el caso de la construcción y/o reconstrucción de carreteras, sobre todo cuando se utilizan agregados angulosos y de tamaños excesivos. Esto regularmente arruina las funciones de separación y filtración del geotextil. Por consiguiente, el geotextil debe tener suficiente resistencia a los esfuerzos permanentes a través de la vida útil del pavimento.

La administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos de América (FHWA) ha desarrollado guías para determinar los requerimientos mínimos del geotextil. Estos requerimientos mínimos están incorporados en las especificaciones para geotextiles de AASHTO, M288-90.

- (2) Steward, J. Trial use Results and Experience using Geotextiles for low-volume Roads.
- (3) Giroud, J. P. y Noiray, L. Geotextile-Reinforced Unpaved Road Design.
- (4) Steward, J., R. Williamson and J. Mohny. Guidelines for Use of Fabrics in construction and maintenance of Low-volume Roads. U.S.A.
- (5) Dirección General de Caminos. Especificaciones Generales para construcción de carreteras y puentes.
- (6) Koerner, R. M. Designing with Geosynthetics. U.S.A.
- (7) Giroud, J. P. Filter Criteria for Geotextiles.

CAPITULO 5

COLOCACION DEL GEOTEXTIL

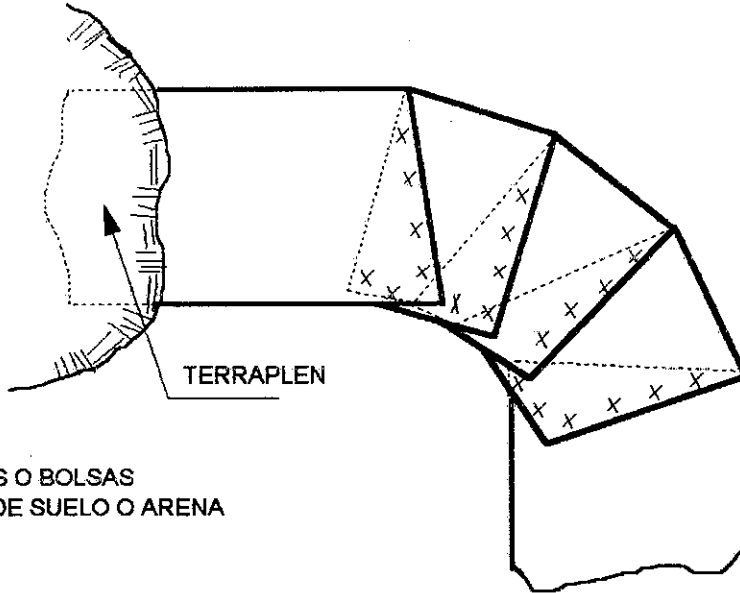
En general para todo tipo de usos del geotextil se requieren de ciertas técnicas de colocación y la herramienta adecuada. En el caso de los pavimentos debe procederse antes que el asfalto pierda sus propiedades adhesivas, el geotextil debe ser colocado sobre la subrasante, en la dirección del tráfico de construcción, lo más uniformemente como sea posible, para lograr una adherencia total de la tela, evitando pliegues y dobleces (con excepción de las curvas y esquinas). En las curvas y esquinas, los dobleces y pliegues deben cortarse y tratarse como un traslape en la dirección del giro, (figuras 1.5 y 2.5). Si en lugar de traslapes se dejan dobleces, éstos deben graparse o asegurarse con pasadores cada 12.5 cm de centro a centro, agregando asfalto si es necesario, el exceso de asfalto puede corregirse con riegos de arena. Paneles continuos deben ser traslapados en la dirección de colocación del material. El traslape mínimo es de 30 cm, según presentado en los planos y especificaciones. Paneles continuos del geotextil pueden ser conectados usando máquinas de coser o calentar, siempre y cuando la unión cumpla con los requisitos mínimos de resistencia a la tensión.

Para la colocación del material, el agregado debe ser depositado retrocediendo el camión hacia el geotextil cerca de la orilla o sobre agregados ya depositados. La primera capa de agregados debe ser distribuida y nivelada hasta que su espesor sea de 30 cm o el espesor de diseño, si es menos de 30 cm. Un espesor compactado mínimo de 15 cm debe mantenerse en todos los casos.

La compactación de la primera capa debe ser realizada con pasadas del tractor distribuidor y nivelador y seguido por rodillos compactadores hasta alcanzar la compactación especificada. Los vehículos de construcción que crean roderas en la superficie del pavimento mayores de 7.5 cm no deben ser permitidos. Todas las roderas que ocurren durante la etapa de construcción deben ser llenadas con más agregados y compactados hasta alcanzar la densidad especificada. La construcción de la capa inicial debe ser conducida de una forma paralela a la alineación de la carretera sin permitir maniobra de giro. Paradas abruptas y arrancadas deben ser evitadas donde sea posible.

Hoyos, desgarres, u otros daños en el geotextil, deben ser reparados inmediatamente. El material de relleno debe ser removido del área dañada una distancia razonable para permitir el traslape con nuevo geotextil y debe extenderse un metro en toda la dirección del perímetro del área deteriorada. El espesor de agregado removido debe ser reemplazado y compactado a la densidad especificada.

DIRECCION DE COLOCACION DEL TERRAPLEN Y TRASLAPES



X = ESTACAS O BOLSAS
RELLENAS DE SUELO O ARENA

FIGURA 1.5 Formación de una curva con cortes al Geotextil

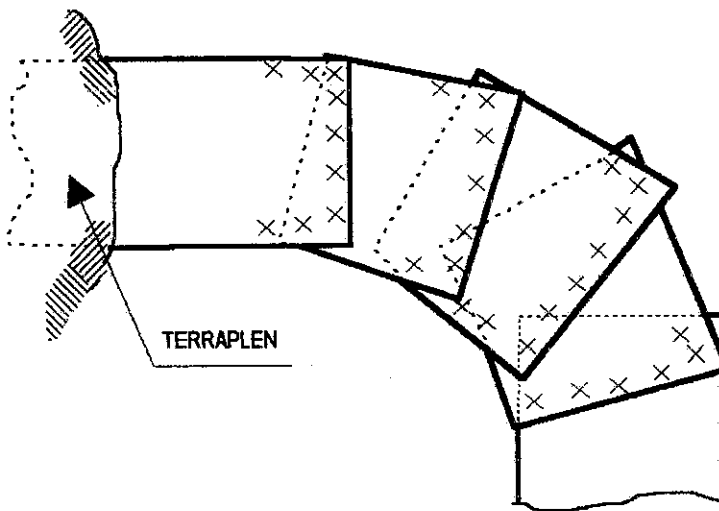


FIGURA 2.5 Formación de una curva usando piezas cortadas

5.1 Procedimiento constructivo en pavimentos

Como bien es sabido la finalidad del producto asfáltico es la de impregnar el geotextil adhiriéndolo firmemente a la superficie por proteger. Normalmente se utilizan, el riego de liga, cementos asfálticos convencionales para pavimentación, especificación AASHTO M-20, seleccionado de acuerdo con las características locales. Pueden utilizarse también emulsiones asfálticas aniónicas, ASTM D977, o catiónicas, ASTM 2397, con la recomendación de que se curen adecuadamente antes de la colocación del geotextil, lo que puede tomar de 30 minutos a 4 horas. Los asfaltos rebajados no son recomendables porque los solventes que contienen pueden reaccionar con los polímeros a altas temperaturas. Esta precaución debe tenerse en cuenta para emulsiones que contienen solventes.

5.1.1 Almacenamiento en obra

Los geotextiles deben almacenarse de tal manera que la humedad no les afecte, mucho menos la luz solar, pues son susceptibles al efecto de los rayos ultravioleta; materiales que puedan dañar su aspecto físico alterando sus propiedades y características.

5.1.2 Condiciones ambientales

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.

5.1.3 Preparación de la superficie

Desde el punto de vista de reconstrucción del pavimento, la preparación de la superficie es un aspecto extraordinariamente importante para el buen funcionamiento del geotextil.

Debe realizarse previamente una evaluación del pavimento para detectar y corregir problemas de insuficiencia estructural y de drenaje. Las grietas existentes mayores de 3 mm de abertura deben ser previamente selladas con asfalto y mayores de 6 mm con mortero asfáltico. Es recomendable colocar una carpeta de asfalto sobre el pavimento viejo severamente dañado, usando el espesor mínimo que la esparcidora de asfalto (finisher) pueda colocar, con el objeto de eliminar distorsiones y deformaciones para que la tela geotextil quede homogéneamente impregnada sobre dicha capa asfáltica.

La aplicación de la capa ligante debe hacerse uniformemente a la proporción especificada con un camión distribuidor calibrado. La temperatura de aplicación debe ser lo suficientemente alta para asegurar la distribución uniforme (es decir, 145°C mínimo para cementos asfálticos, hasta 70°C para emulsiones más pesadas). La medida de aplicación debe ser 15 cm mayor que el ancho de la tela en ambos lados. La cantidad óptima de capa ligante saturará totalmente la tela, pero no dejará una capa ligante excesiva que pudiera mezclarse con la sobrecapa de asfalto. La cantidad óptima

depende de la porosidad del pavimento viejo, la temperatura ambiente, el peso de la tela, el material de la capa ligante y otras variables. Típicamente se aplica una capa ligante de 0.9 a 1.35 L/m². Si se utilizan emulsiones asfálticas, se debe permitir que el agua en la emulsión se evapore totalmente antes de aplicar la tela, de lo contrario, la unión será inadecuada pues quedará humedad retenida entre las capas de pavimento. El tiempo de curado varía con el tipo de emulsión, la humedad, la temperatura ambiente y otros factores.

Por otro lado cuando se inicia la construcción de la carretera, es decir desde limpia chapeo y destronque, el terreno debe ser limpiado y nivelado, como lo indican los planos y especificaciones. Debe retirarse todo tipo de objeto que pueda perjudicar la libre preparación de la superficie.

5.1.4 Aplicación del Asfalto

Debe ser uniforme y su dosificación depende de la porosidad de la superficie y de la retención del geotextil, y puede calcularse con la siguiente expresión:

$$Q_d = 0.3 + Q_s + Q_c$$

en donde Q_d cantidad de asfalto aplicada, L/m²
 Q_s asfalto retenido por el geotextil, L/m²
 Q_c corrección por porosidad de la superficie, L/m²

Condición de la superficie	Q_c (L/m ²)
Llorada y excedida de asfalto	-0.10 a 0.10
Lisa, no porosa	0.10 a 0.20
Ligeramente porosa	0.20 a 0.35
Ligeramente porosa, oxidada	0.35 a 0.50
Agrietada, porosa y oxidada	0.50 a 0.60

El asfalto debe aplicarse en el ancho del geotextil más 15 cm adicionales a ambos lados. La dosificación generalmente varía entre 0.90 y 1.35 L/m².

5.1.5 Control del tránsito

De preferencia debe permitirse solamente el paso del equipo de construcción, a baja velocidad y evitando giros que dañen el geotextil. El tráfico de vehículos livianos no dañará la tela descubierta. Sin embargo, como medida de precaución, no debe permitirse el tránsito directamente sobre la tela. Si las condiciones locales requieren transitar sobre la tela, y el ingeniero encargado lo aprueba, habrá que poner personal de tránsito y rótulos de advertencia para avisar a los conductores que la superficie puede

estar resbaladiza. También se deben colocar rótulos indicando una velocidad máxima. Los geotextiles húmedos no pueden ser abiertos al tránsito.

5.1.6 Colocación de la sobrecarpeta

Las operaciones normales de pavimentación deben efectuarse inmediatamente después de colocada la tela, evitando que la temperatura de la mezcla exceda de 160°C y vigilando que el equipo de construcción no dañe el geotextil, circulando a baja velocidad y evitando giros. Todas las áreas en las cuales se colocó la tela de pavimentación deben pavimentarse el mismo día. Si la tela se llegase a mojar, habrá que dejarla secar totalmente antes de pavimentar. Se requiere un espesor mínimo de asfalto compactado de 2.5 cm a 4 cm, dependiendo del volumen de tráfico y de conformidad con especificaciones.

5.2 Colocación del Geotextil en terraplenes

Es importante analizar cada estructura que se basa en su cimentación, estudiar los problemas que pueden ocasionar los suelos con características deficientes, como en el caso de suelos blandos con baja capacidad de carga, poca resistencia al cortante, alta compresibilidad o grandes contenidos de agua.

La colocación del geotextil en la construcción de un terraplén consiste en colocar capas horizontales de geotextil o geosintético de alta tenacidad, originando que se incremente la resistencia al cortante en contraposición con las fuerzas de deslizamiento, cada capa de material que conformará el terraplén depende de las características del material y de conformidad con las especificaciones. Por lo general se colocan capas de material de relleno que van desde 20 a 40 cm ya compactado. El geotextil debe quedar totalmente adherido al material de relleno sin ningún tipo de arruga o doblés, para que su función sea la requerida.

En el capítulo 3 (3.1) se muestra una explicación previa, en el cual se hace mención que además de proporcionar un refuerzo al cortante y la función como separador, los terraplenes a construir pueden ser diseñados con taludes casi "verticales" y el riesgo de deslizamiento se reduce de gran manera.

5.3 Colocación del Geotextil en drenajes

Generalmente la colocación de geotextiles en drenajes, se dá principalmente en los drenajes subterráneos y los drenajes tipo francés. Para la colocación del geotextil en un sub-drenaje tipo francés, se cortan tiras de geotextil para emplearse a manera de forro en las paredes de la zanja. Para las uniones se utiliza costura en lugar de traslapes, con el fin de disminuir la cantidad de geotextil a usar. Al finalizar en el nivel de grava, se cierra el fieltro para que el material (grava) quede totalmente envuelto y aislado, y así evitar la contaminación. Finalmente, en la parte superior de la cortina de grava, se deja una

pendiente, con el mismo material del lugar a manera de sello natural, para evitar los estancamientos y las infiltraciones derivadas de los mismos (figura 10.3, capítulo 3).

CAPITULO 6

RESULTADOS

La observación en el transcurso del tiempo demuestra que el geotextil seleccionado, puede prever un comportamiento filtrante según sean las características del geotextil. Además, se deben considerar conjuntamente con el geotextil los tipos de suelos en los cuales se emplea, la clase de carga efectuada sobre el geotextil (estática o dinámica) y las condiciones de flujo de agua a manera de prever fenómenos de "colmatación".

6.1 Comportamiento observado en pavimentos

El funcionamiento de la nueva carpeta asfáltica debido a la presencia de un geotextil entre esta carpeta y la antigua puede ser demostrado debido a la combinación de los siguientes mecanismos:

- a) reducción de esfuerzo
- b) reforzamiento
- c) impermeabilización

Una capa de reducción de esfuerzo es una capa blanda. Esta capa es usualmente muy fina la cual se coloca cerca del fondo de la nueva capa asfáltica. El propósito de esta capa blanda es para reducir los esfuerzos por tensión en la nueva carpeta cerca de la superficie de la grieta en el pavimento viejo. Teóricamente se puede mostrar que una reducción en los esfuerzos inmediatamente arriba de las grietas y bajo las condiciones apropiadas puede reducir el desarrollo de la grietas por reflexión hacia la nueva carpeta asfáltica.

El reforzamiento de falla en pavimentos asfálticos ha sido estudiado usando muestras de vigas de concreto asfáltico y ha sido observado solamente si el geotextil tiene una rigidez más alta que el material de alrededor, y si el material usado para reforzar es suficientemente grueso. Si el geotextil no es muy rígido, solamente la reducción de los esfuerzos puede ocurrir.

La rigidez de un material de refuerzo, es igual al módulo de elasticidad del material multiplicado por su espesor. Teniendo un material de alto módulo de elasticidad no es suficiente para asegurar que el material funcione como un elemento de refuerzo. Para que el geotextil funcione como un elemento reforzador, su rigidez debe ser por lo menos más alta de 20,600 - 27500 kPa. Geotextiles usados en repavimentado no tienen suficiente resistencia para que funcionen como un elemento reforzador.

El funcionamiento de la nueva capa asfáltica con una capa de geotextil está influenciada fuertemente por los siguientes factores:

- 1.- El tipo y cantidad del deterioro existente en el pavimento viejo, incluyendo el ancho y el movimiento de las grietas.

- 2.- La cantidad y el tipo de mantenimiento realizado en el pavimento viejo como relleno de grietas, reparación de baches, y reemplazo de base o subrasante deteriorada.
- 3.- El espesor de la nueva capa asfáltica con referencia al espesor requerido para efectivamente retardar las grietas por flexión.
- 4.- La variedad estructural de la resistencia del pavimento desde una sección de ensayo a la otra.
- 5.- Las condiciones ambientales.

La formación de grietas de reflexión en la nueva capa de rodadura reforzada con geotextil puede reducirse o retardarse considerablemente, sin embargo este tipo de grietas no puede ser eliminada totalmente. La distribución de las grietas en capas de rodaduras bituminosas reforzadas con geotextil varía considerablemente comparadas con aquellas capas no reforzadas en el sentido de que no se producen concentraciones de grietas sino que se distribuyen en la totalidad de la superficie.

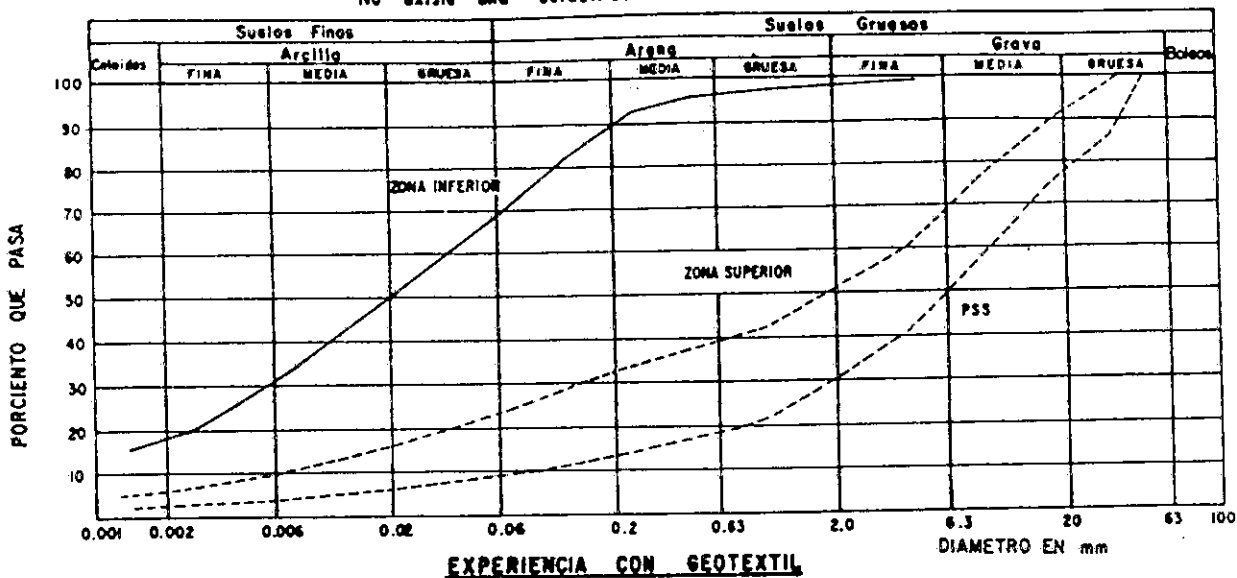
Después de realizar algunas investigaciones en pavimentos que contienen geotextil producido por diferentes fabricantes (primera columna de la tabla 1.6), se llegó a determinar los resultados que se detallan en la tabla 1.6. De igual manera se hace un análisis comparativo de la granulometría del material con geotextil y sin geotextil, que conforma un pavimento. (Figura 1.6).

TABLA 1.6 RESULTADOS DE INVESTIGACIONES. BRUCHSAL - BRETTEN LINE

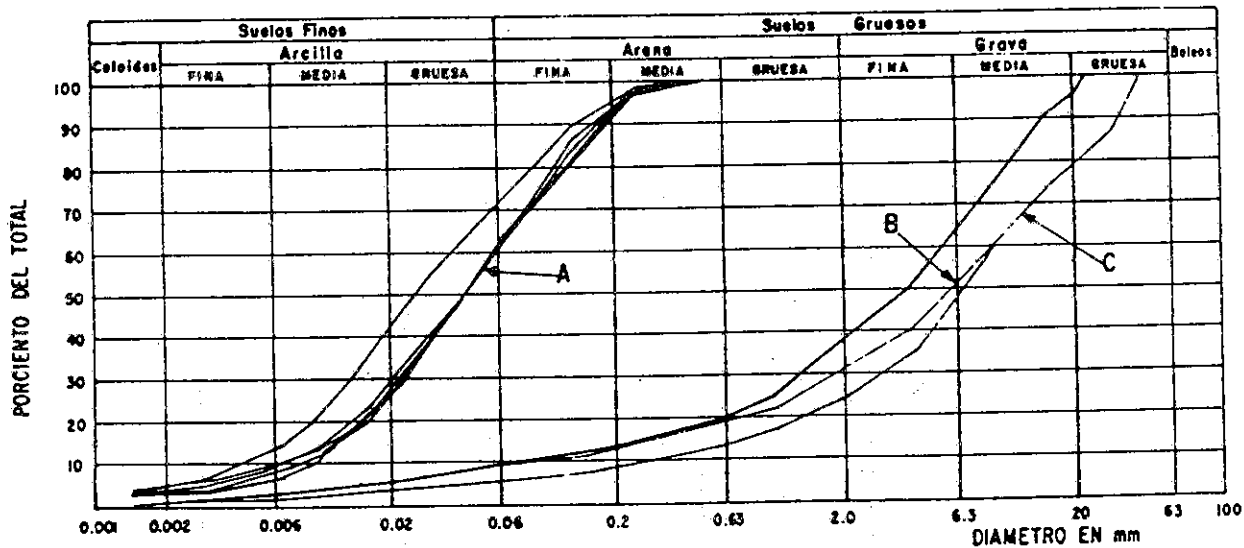
TIPO DE GEOTEXTIL (según fabricante)	CONDICION	DAÑO ENCONTRADO IN SITU	MASA / UNIDAD SUP. (g/m ²)		RESISTENCIA ULTIMA EN TENSION				PERMEABILIDAD DEL AGUA DESPUES DE 8 AÑOS (m/s)				
			VALOR INICIAL	8 AÑOS DESPUES	CONTENIDO DEL SUELO	VALOR INICIAL (N)	4 AÑOS DESPUES (N)	8 AÑOS DESPUES (N)	RESISTENCIA RESIDUAL DESPUES DE 8 AÑOS (%)	MUESTRA		MUESTRA CON RESIDUOS DE SUELO	
										Kv	Kh	Kv	Kh
LUTRADUR H 7225	Ascension de finos 100 mm arriba del Geotextil, muy rígido y difícil de aflojar	Agujeros menores de 40 mm, perforaciones a través de dos capas	250	1192	492	890	572	665	74.7	5.90E-04 a	3.00E-03 a	3.00E-05 a	2.90E-04 a
TERRAM 260	Los finos penetraron solo en menor grado	Agujeros menores de 20 mm, fibras sueltas en la superficie	260	1406	1126	1130	633	414	36.6	5.30E-04 a	2.50E-03 a	1.80E-05 a	4.50E-04 a
BIDIM U.44	Ascension de finos hasta 300 mm	Agujeros menores de 25 mm	340	5760	5420	1450	-	918	63.3	2.90E-03 a	6.50E-03 a	2.30E-04 a	4.30E-03 a
POLYFELT TS 400	Solo una pequeña cantidad de suelo cohesivo penetró	ninguno	350	3058	2706	1200	500	990	82.5	1.80E-03 a	3.20E-03 a	1.70E-04 a	2.00E-03 a
TREVIRA SPUNBOND 500	Ascension de finos 100 mm. Aprox. consistencia rígida	Fuerte daño bajo la vía, agujeros mayores de 50 mm	500	6665	6065	1935	-	1268	66.6	2.40E-04 a	4.50E-04 a	3.50E-05 a	2.80E-04 a
TERRAFX 300 N	Ascension de finos 50 mm. Aprox. consistencia de pulpa	agujeros menores de 30 mm.	500	3680	3190	630	-	235	40.2	2.80E-03 a	5.20E-03 a	1.00E-04 a	1.40E-03 a
										5.80E-04 a	9.80E-04 a	1.20E-05 a	1.30E-04 a
										1.10E-03 a	3.10E-03 a	1.40E-05 a	1.10E-04 a
										9.60E-05 a	1.60E-04 a	1.20E-06 a	1.50E-06 a

EXPERIENCIA SIN GEOTEXTIL

No existe una estabilidad filtrante suficiente.

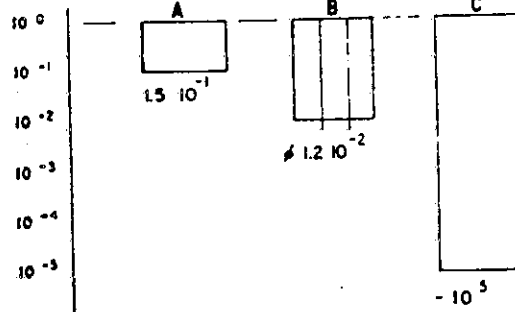


Comparación de la curva de suelo tomada: A) En el plano de geotextil, B) En la vecindad del geotextil y C) Distanciada.



Variación de la permeabilidad.

- A: Geotextil original.
- B: Geotextil con suelo penetrado luego de 9 años de servicio.
- C: Permeabilidad del suelo



Volumen de vacíos del geotextil de 0 a 9 años:

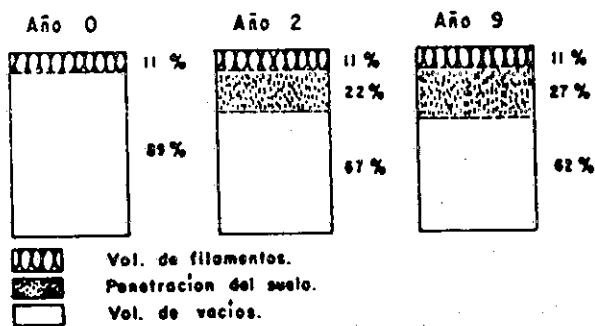


Figura 1.6

6.2 Comportamiento observado en obras hidráulicas

En el proceso de filtración pasan las partículas muy finas a través del geotextil bajo la acción del agua (figuras 2.6 a 5.6). Las partículas restantes se ordenan en el plano del geotextil en orden ascendente de pequeñas a grandes, creando el fenómeno de "micro filtro mineral" y permitiendo el paso del agua (figura 6.6). Dado que las partículas penetran en el plano del geotextil, habrá una ligera pérdida de permeabilidad ocasionada por el desplazamiento de vacíos en el plano del geotextil que ahora son ocupados por partículas de suelo. Este proceso puede eventualmente llamársele "colmatación relativa". Sin embargo, nunca llega a colmatarse en el caso del geotextil analizado, ya que el agua encuentra siempre su camino a través de los vacíos que existen entre los filamentos y las partículas de suelo.

6.3 Comportamiento observado en terraplenes

Tradicionalmente se emplean muros de mampostería o de concreto con el fin de crear la contención y absorber así los esfuerzos del suelo. Al incluir el geotextil de alta tenacidad, se crean una serie de capas que absorban los esfuerzos y se obliga al suelo a trabajar en conjunto como un muro de contención.

Al insertar capas horizontales de geotextil de alta tenacidad, ya se ha mencionado anteriormente que incrementa la resistencia al cortante en contraposición con las fuerzas de deslizamiento y por ende los taludes del terraplén tendrán un comportamiento casi vertical, como se ha analizado anteriormente.

Ahora que ya se puede asegurar la estabilidad del terraplén o muro de contención, para retener el material en la cara del talud, se puede emplear el mismo geotextil doblado o asegurado por la capa superior, o se pueden confeccionar "bolsas" a base de geotextil y con ella conformar la cara del talud; o se pueden colocar planchas (4 a 5 cm de espesor) prefabricadas de concreto, ya que los empujes las absorberán las capas del geotextil.

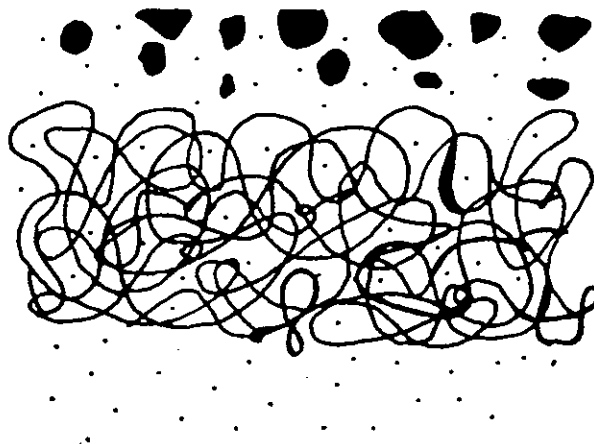
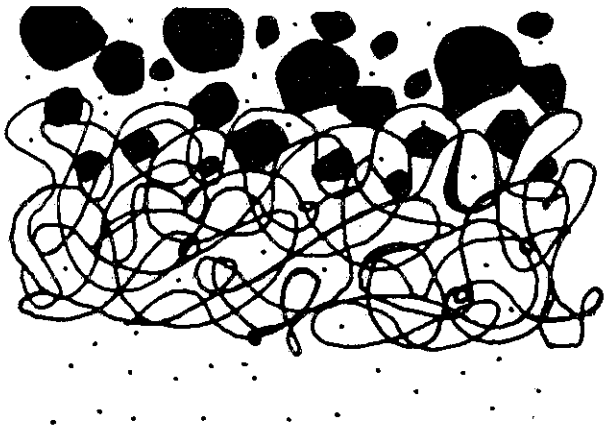
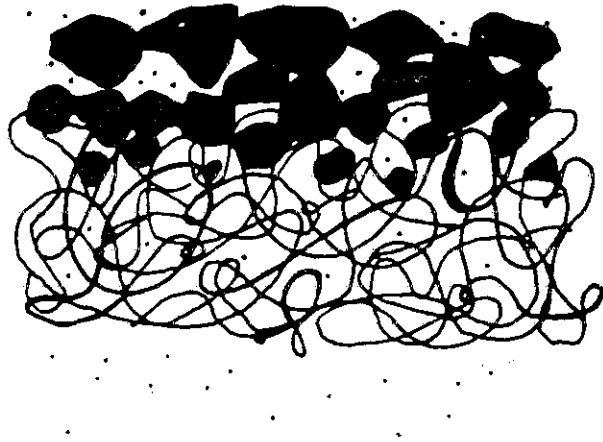


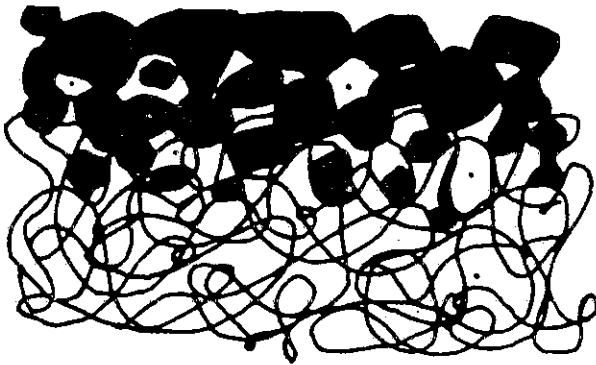
Figura 2.6 Proceso de filtración (paso 1)



Proceso de filtración (paso 2)
Figura 3.6



Proceso de filtración (paso 3)
Figura 4.6



Proceso de filtración (paso 4)
Figura 5.6



Micro filtro mineral
Figura 6.6

CAPITULO 7

ESPECIFICACIONES

7.1 GENERALIDADES

En muchos países existen grupos de trabajo multidisciplinarios cuyo fin es publicar las especificaciones para aceptación de geotextiles; en la mayoría de los casos dichos grupos están constituidos por representantes de organismos gubernamentales, que a fin de cuentas son los principales usuarios de los geotextiles (consultores, constructores, universidades, fabricantes, etc.).

Muchos criterios de aceptación están basados en correlaciones empíricas de resultados obtenidos en aplicaciones reales, con las propiedades de los materiales empleados. La especificación debe relacionarse adecuadamente con la aplicación que se tiene prevista, y de manera que los métodos de prueba indicados puedan realizarse con el equipo disponible.

7.1.1 Normas Generales

Los filamentos utilizados para la fabricación y los filamentos utilizados en la unión por costura, deberán consistir en largas cadenas de polímeros sintéticos compuestos por lo menos 85% en peso de poliolefinos, poliéster o poliámidos; deberá resistir el ataque químico, el moho y la humedad. Estos materiales deberán satisfacer los requisitos físicos de la tabla siguiente:

Tabla 1.7 Requisitos físicos para geotextiles en pavimentos

PROPIEDAD	REQUISITO	ENSAYO
Resistencia a la tensión, Kg	36.3 mínimo	ASTM 4632
Elongación a la ruptura	50 mínimo	ASTM 4632
Retención de asfalto, Lt/m ²	0.9 mínimo	Texas D.O.T. Spec. # 3099
Punto de fusión, °C	149° o mayor	ASTM D 276

OBSERVACIONES:

- 1.- La aceptación del geotextil deberá basarse en la norma ASTM D 4759
- 2.- El contratante requerirá una carta certificado del proveedor del geotextil para conocer los requerimientos especificados.

- 3.- Los valores indicados son mínimos y deben utilizarse en la dirección principal. Todos los valores numéricos representarán el valor promedio mínimo por rollo (por ejemplo, los resultados de una prueba de cualquier muestra de un rollo de un lote deberán exceder los valores mínimos indicados en las tablas 1.7, 2.7 y 3.7, y los valores fijos son para condiciones no-críticas, no severas). Los lotes serán muestreados conforme a la Norma ASTM D 4354 que estipule el número de rollos o muestrear para cada lote. Las Normas ASTM D 4652 y Texas D.O.T. Spec. # 3099 determinan cuántas pruebas individuales (especímenes) deberán tomarse por rollo para representar un valor de ensayo.

7.1.1.1 Empaque y almacenamiento

Cada rollo deberá ser empacado adecuadamente para prevenir roturas y/o contaminación, y etiquetado claramente para su identificación con fines de inventario y control de calidad. Los rollos deberán ser almacenados de manera que estén protegidos de los elementos naturales y daños de cualquier naturaleza.

7.1.1.2 Exposición durante su colocación

La exposición de los geotextiles a los elementos naturales al colocarse para después ser recubiertos será como máximo de 14 días para minimizar el deterioro potencial.

7.1.1.3 Costura o pegado de juntas

Tanto las costuras como las juntas pegadas realizadas en la fábrica o en el campo deberán cumplir con los requisitos de resistencia indicados en la tabla 4.7. Todas las juntas pegadas deberán cumplir con los requerimientos de aprobación correspondientes.

7.2 Especificaciones para pavimentos

Estas especificaciones son aplicables a geotextiles utilizados para cubrir totalmente el pavimento, o en franjas sobre juntas transversales y longitudinales del pavimento. No se incluye la descripción del diseño específico de sistemas con geotextiles para juntas de pavimento y reparaciones locales (baches).

7.2.1 Materiales

- a) **RIEGO DE LIGA:** El material usado para impregnar y pegar el geotextil, como para la adherencia entre la base y la sobre-carpeta del pavimento, deberá ser un producto asfáltico recomendado por el fabricante y aprobado por el ingeniero. Los cementos asfálticos son preferidos como riego de liga; sin embargo las emulsiones catiónicas y aniónicas pueden ser utilizadas con precaución, de acuerdo con las recomendaciones del inciso c) numeral 7.1.3. Los productos rebajados y emulsiones que contengan solventes no deberán utilizarse.

- b) **AGREGADO:** Debe utilizarse arena limpia, para concreto, colocada sobre el geotextil saturado de asfalto para facilitar el movimiento del equipo durante la construcción o para prevenir el desgarramiento o levantamiento del geotextil. El exceso de arena sobre el geotextil será removido previamente al tendido de la capa de rodamiento.

7.2.2 Equipo

- a) **PETROLIZADORA:** La petrolizadora deberá contar con sistemas para aplicación del riego asfáltico de acuerdo al proporcionamiento y de manera uniforme. No serán permitidas interrupciones, saltos, goteos o franjas del riego de liga. La petrolizadora deberá estar equipada con una salida individual para aplicación manual teniendo una esprea simple y válvula de cierre.
- b) **EQUIPO DE TENDER EL GEOTEXTIL:** Se deberá contar con equipo para la colocación mecánica o podrá realizarse manualmente y se deberá tender formando una superficie lisa (sin arrugas).
- c) **EQUIPO COMPLEMENTARIO:** Escobas de paja, cepillos para uniformizar el geotextil, navajas o tijeras para cortar el geotextil, y cepillos para aplicar el riego de liga en los traslapes. Un equipo de compactación sobre neumáticos para uniformizar el geotextil sobre el riego de liga requerido en ciertos trabajos.

7.2.3 Procedimiento constructivo

- a) **LIMITACIONES DEL CLIMA:** Ni el riego asfáltico, ni el geotextil deberán ser colocados cuando las condiciones climáticas sean desfavorables. El viento y la temperatura del pavimento deberán ser adecuados para permitir la aplicación del riego de liga asfáltico y la colocación del geotextil.
- b) **PREPARACION DE LA SUPERFICIE:** La superficie donde se colocará el geotextil deberá estar libre de polvo, agua, vegetación y otras impurezas. Las grietas que excedan anchos de 3 mm deberán rellenarse con un producto especial y los baches deberán ser reparados apropiadamente. El tratamiento de relleno de las grietas será previo a la colocación del geotextil.
- c) **APLICACION DEL RIEGO DE LIGA:** El riego de liga deberá ser aplicado uniformemente sobre la superficie seca del pavimento, a una razón de 0.90 a 1.40 lt/m² o como recomiende el fabricante y con la aprobación del ingeniero. La aplicación del riego de liga deberá efectuarse mediante una barra con salidas y un control manual adecuado. La temperatura del material de liga asfáltico deberá ser suficientemente alta para permitir una colocación uniforme.

Para cemento asfáltico, la temperatura mínima deberá ser de 143 °C para no dañar el geotextil, sin embargo, la temperatura del tanque distribuidor no deberá exceder los 163°C. Los patrones de colocación para emulsiones asfálticas son controlados por el calor y temperaturas en el rango de 54 a 71 °C son deseables. La temperatura de 71°C no deberá ser sobrepasada ya que con altas temperaturas puede romperse la emulsión.

El ancho de la aplicación del riego de liga deberá ser el ancho del geotextil más 15 cm a ambos lados. El riego asfáltico no deberá ser aplicado si no se ha colocado el geotextil en una distancia la cual el contratista pueda mantener fuera el tránsito. El exceso de material asfáltico de liga deberá ser limpiado de la superficie de rodamiento para evitar charcos y movimiento del geotextil. Cuando se utiliza con emulsiones, la emulsión deberá romper (sin mezclarla) antes de colocar el geotextil y cuando la superficie esté terminada.

- d) COLOCACION DEL GEOTEXTIL: El geotextil deberá ser colocado sobre el riego de liga con el mínimo de arrugas, antes de que el asfalto se enfríe y pierda adherencia. Las arrugas y dobleces en exceso deben ser cortados para colocar el geotextil de forma plana. Se utilizarán escobas y/o equipo sobre neumáticos para incrementar el contacto del geotextil con la superficie del pavimento.

Los traslapes del geotextil en las juntas deberán ser suficientes para permitir el cierre completo de la junta, pero no excederán de 15 cm; las juntas transversales deberán ser traslapadas en la dirección de la pavimentación para prevenir que se levante cuando pase el equipo. Una segunda aplicación del riego de liga sobre los traslapes del geotextil será requerida para ligar las dos capas de geotextil en los traslapes. Debe retirarse y reemplazarse todo el geotextil que se ha dañado.

7.3 Especificaciones para drenajes

Estas especificaciones son aplicadas a geotextiles utilizados para drenes longitudinales, drenes interceptores, trincheras drenantes y pozos de absorción. El geotextil deberá ser diseñado para permitir el paso de agua mientras se retienen las partículas de suelo. Las cantidades de geotextil para drenaje puede aumentar o disminuir de acuerdo a los procedimientos constructivos y a las condiciones del sitio que se presente durante la construcción. Las variaciones en cantidad no son consideradas como modificaciones en los detalles constructivos o un cambio en las características del trabajo.

7.3.1 Materiales

La tabla siguiente muestra los requisitos de los geotextiles para drenajes.

Tabla 2.7 Requisitos físicos de los geotextiles para drenaje

PROPIEDAD	REQUISITOS		ENSAYO
	CLASE "A"	CLASE "B"	
Resistencia a la tensión, kg/cm ²	81.65	36.29	ASTM D 4632
Elongación, %	N/A	N/A	ASTM D 4632
Resistencia de las uniones cosidas, kg/cm ²	72.58	31.75	ASTM D 4632
Resistencia a la penetración, kg/cm ²	36.29	11.34	ASTM D 4833
Resistencia al estallamiento, Kg/cm ²	20.39	9.14	ASTM D 3786
Desgarre Trapecial, kg/cm ²	22.68	11.34	ASTM D 4533
Tamaño aparente de abertura	a) Suelo con partículas en peso menor o igual al 50% pasando la malla 200 AOS menor a 0.6 mm. (> la malla No. 30). b) Suelo con partículas en peso mayor al 50% pasando la malla 200. AOS menor que 0.297 mm. (> la malla No. 50)		ASTM D 4751
Permeabilidad, cm/seg	K geotextil > K del suelo para todos los caso		ASTM D 4491
Degradación por exposición a los rayos ultravioleta en 150 horas, %	70 de la resistencia para todos los casos		ASTM D 4355

OBSERVACIONES:

- 1.- La aplicación del geotextil clase A, será cuando los esfuerzos durante la instalación sean más severos; por ejemplo, utilización de gran cantidad de agregado anguloso, especificación de alto grado de compactación (95% AASHTO T99), o que la profundidad de la trinchera sea mayor a 3 m.
- 2.- La aplicación del geotextil clase B, será cuando se utilicen materiales graduados no angulosos y los requisitos de compactación sean ligeros (<95% AASHTO T99), y la profundidad de las trincheras sea menor a 3 m.
- 3.- Los valores se aplican a las juntas de campo y de fábrica.

- 4.- Un coeficiente de permeabilidad nominal debe ser determinado multiplicando el valor de permitividad por el espesor nominal, el valor K del geotextil deberá ser mayor que el valor K del suelo.

7.4 Especificaciones para separación

Estas especificaciones son aplicables para geotextiles utilizados como separador permeable para prevenir la mezcla de diferentes materiales, por ejemplo: entre la subrasante y las capas de la estructura de un pavimento, en zonas de rellenos (terraplenes), materiales seleccionados para cimentaciones, etc. El geotextil deberá ser diseñado para permitir el paso del agua, mientras retiene las partículas finas del suelo.

7.4.1 Materiales

Los geotextiles para separación deben satisfacer las especificaciones de la tabla 4.7, según las condiciones de construcción indicados en la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Geotextil para separación (M²)

CONDICIONES DE CONSTRUCCION

CBR del suelo del sitio en la instalación.	< 1	1-2	> 2
Equipo de movimiento de tierras.			
Presión de contacto, lb/pulg ²	> 50 < 50	> 50 < 50	> 50 < 50
Espesor de la capa (cm)(1) (compactada).			
10(2, 3)	NR NR	H H	M M
15	NR NR	H H	M M
30	NR H	M M	M M
45	H M	M M	M M

(H = alta, M = media, NR = no recomendada)

(1) El tamaño máximo de agregado no debe exceder la mitad de la capa del espesor compactado.

(2) Los caminos de bajo volumen de tránsito se considera menor a 200 vehículos.

(3) La capa mínima de 10 cm es limitada para bases de caminos existentes y no para el uso de nuevos caminos en construcción.

Tabla 4.7 Propiedades físicas requeridas (1)

Elongación del geotextil < 50% / elongación del geotextil > 50% (2,3)

NIVEL DE CONSTRUCCION	RESISTENCIA A LA TENSION POR AGARRE	RESISTENCIA A LA PERFORACION	RESISTENCIA AL DESGARRE TRAPEZIAL
	ASTM D 4632	ASTM D 4833	ASTM D 4533
	(LBS)	(LBS)	(LBS)
Alto	270/180	100/75	100/75
Medio	180/115	70/40	70/40
REQUISITOS ADICIONALES		METODO DE PRUEBA	
<u>Tamaño aparente de apertura</u>		ASTM D 4751	
1.- < 50% el suelo que pasa la malla # 200, AOS < 0.6 mm.			
2.- > 50% el suelo que pasa la malla # 200, AOS < 0.3 mm.			
<u>Permeabilidad</u>		ASTM D 4491	
1.- K del geotextil > K del suelo			
<u>Degradación por los rayos ultravioleta</u>		ASTM D 4355	
1.- En 150 horas de exposición, la resistencia se reduce al 70%, para todos los casos.			
<u>Aceptación del Geotextil</u>		ASTM D 4759	

(1) Los valores indicados, son el promedio de los valores mínimos por rollo. Los valores de resistencia están en la dirección principal más débil.

(2) La elongación es determinada por la norma ASTM D 4632

(3) Los valores de elongación del geotextil no implican a las propiedades de consolidación del suelo. Estas deben ser determinadas por una investigación particular.

Tabla 5.7 Traslapes recomendados

RESISTENCIA DEL SUELO (CBR)	TRASLAP E	
	NO TEJIDO (cm)	TEJIDO (cm)
0 - 1	—	22
1 - 2	96	20
2 - 3	76	8
3 - ó más	60	---

7.4.2 Requerimientos de construcción

- a) **PREPARACION DEL SITIO:** El sitio de instalación deberá ser preparado mediante limpieza y conformación del terreno requerido. Se deben retirar todos los objetos cortantes, piedras grandes y restos de árboles y arbustos que existan en la subrasante. La remoción del suelo superficial y la vegetación puede no ser necesario.
- b) **INSTALACION:** El geotextil debe ser desenrollado suavemente sobre la subrasante previamente preparada y en la dirección del tránsito de la construcción. Los rollos de geotextil adyacentes deberán ser colocados con un traslape de acuerdo con las indicaciones de la tabla 5.7. Se recomienda realizar la costura de los traslapes cuando el CBR de la subrasante sea inferior a 1. El geotextil puede ser fijado a la capa superior por medio de anclas, o grapas, o roca amontonada. En curvas, el geotextil puede ser traslapado o cortado conforme a las curvas, como se ilustra en las figuras 1.5 y 2.5 (capítulo 5). La elaboración de los traslapes debe ser en la dirección de la construcción como se ha descrito anteriormente.
- c) **COLOCACION DEL RELLENO O CAPAS SUPERIORES:** El relleno y/o capas superiores deben ser colocadas mediante descarga del material por camiones de volteo sobre el geotextil o sobre una capa de agregados colocada previamente. Cuando la subrasante tenga un CBR inferior a 1, los agregados de la sub-base deberán ser tendidos simultáneamente a la descarga para minimizar la falla potencial de la capa subyacente. Debe evitarse el tránsito de vehículos directamente sobre el geotextil, así como paradas súbitas, o arrancones, o desacomodo del material de relleno, manejo inadecuado del equipo de construcción. Utilizando un equipo nivelador o bulldozer, se tiende el material de relleno que se encuentra acamellonado. Excepto en el caso de caminos de bajo volumen de tránsito como los definidos en la tabla 3.7, mantener un espesor mínimo de seis pulgadas. Utilizar un rodillo liso para realizar la compactación. Cualquier surco que ocurra durante la construcción deberá ser rellenado con material adicional, compactado al peso volumétrico seco máximo especificado.

- d) **REPARACION DE DAÑOS:** El geotextil dañado, debe ser reparado inmediatamente limpiando la zona donde está el daño, más un área perimetral de 90 cm. Se debe cubrir el área dañada con un parche de geotextil que se extenderá 90 cm alrededor de la zona dañada, reemplazando el material de relleno retirado y compactado hasta lograr el peso volumétrico seco máximo especificado.

7.5 Especificaciones para geotextiles para filtro

- a) **Alcance.** Esta especificación cubre los requisitos de geotextiles para filtro hechos de materiales sintéticos.
- b) **Referencias.** Estas especificaciones se refieren a las normas o publicaciones siguientes:
- CGSB Standards
- 4-GP-2 9.2 (62) Método de prueba por resistencia a la Ruptura de Tejidos. Método del gancho.
- 4-GP-2 11.2 (55) Método de prueba por resistencia al estallido. Método del estallido del balón.
- ASTM Standards
- D 1175 (71) Resistencia a la abrasión de geotextiles, pruebas por G23 (69) exposición a la luz, al agua y materiales No metálicos; práctica recomendada para su aplicación.
- c) **Definiciones:** El propósito de esta especificación es aplicar las definiciones siguientes:

D30: la partícula de máximo tamaño se clasifica desde el 30 por ciento del tamaño más pequeño que se encuentra en el suelo.

Tela para filtro: Tela tejida de fibra sintética para filtro

Membrana para filtro: Una membrana sintética que puede ser tejida fabricada por centrifugación perforada con agujas u otro proceso.

Tela No tejida para filtro: Tela de fibra sintética orientada al azar.

7.5.1 Material

7.5.1.1 Requisitos Generales

Los geotextiles deben componerse de materiales resistentes, como polimeros a prueba de pudrición o fibras orientadas en una red estable que retenga su estructura durante el manejo, colocación y ya colocada. Debe tener resistencia satisfactoria al deterioro por la luz ultravioleta, exposición al calor, ácidos y alcalis e indestructible por micro-organismos e insectos.

Los geotextiles para filtro deben retener el suelo que se debe proteger, permitir el drenaje y prevenir azolvamientos.

7.5.1.2 Aplicación

Se usan geotextiles para filtro para las aplicaciones siguientes:

- 1) Para recubrir el perímetro de tuberías perforadas de drenaje.
- 2) Como cubierta para envolver el perímetro de drenaje francés.
- 3) Entre la subrasante y una capa de material degradado cubierta de estructuras del pavimento para prevenir la infiltración de partículas finas.
- 4) A lo largo de la cara de contacto del subsuelo y un terraplén para impedir la contaminación y ayudar a obtener una distribución más uniforme de la carga sobre el suelo blando.
- 5) Controlar la erosión bajo revestimientos piedras o bloques, gabiones, a lo largo de los taludes en la carretera, etc.
- 6) Para barreras para contención de pendientes y en el lecho de lagunas de sedimentación.
- 7) Como una medida para prevenir la tubificación en excavaciones.
- 8) En drenajes verticales y horizontales para acelerar el proceso de consolidación.
- 9) Como membrana de refuerzo en terraplenes de tierra armada.

7.5.1.3 Requisitos de resistencia

En la tabla 6.7 se indican los requisitos de resistencia físicos que deben satisfacer los geotextiles para filtro.

Tabla 6.7 Requisitos físicos de la resistencia

Propiedades de la resistencia	Ensayo	Requisitos	
		Aplicaciones 3, 4,5, 7,9	Aplicaciones 1,2,6,8
Resistencia a la tensión (En cualquier dirección principal, lbs.)	CGSB Standard 4-GP-2 9.2	150	75
Resistencia a la tensión Después de la prueba con el intemperometro, lbs. (En cualquier dirección principal)	ASTM Standard G23	110	55
Resistencia al estallido, psi.	CGSB Standard 4-GP-2 11.2	250	125
Resistencia a la perforación, psi.	Método MTC	60	30
Resistencia a la abrasión (En cualquier dirección principal, lbs.)	ASTM Standard D1175	55	30

7.5.1.4 Costuras

La resistencia en las costuras no debe ser menor del 90 por ciento de la resistencia de tensión del geotextil en cualquier dirección principal. El hilo para las costuras debe reunir los mismos requisitos físicos y químicos del geotextil, los mismos podran hacerse también por soldadura térmica.

7.6 Requisitos hidráulicos

El geotextil para filtro debe tener la abertura equivalente clasificada según su tamaño de poro y requisitos de permeabilidad.

- a) Tamaño de poro: Los geotextiles para filtro deben tener una abertura equivalente clasificada según tamaños entre D_{30} y D_{85} del suelo filtrado.
- b) Permeabilidad: El coeficiente de permeabilidad (K) del geotextil para filtro deberá ser por lo menos dos veces el coeficiente de permeabilidad del suelo que se filtra, es decir $K_{\text{geotextil}} \geq 2 K_{\text{suelo}}$, siempre que el suelo tenga un coeficiente de uniformidad $D_{60}/D_{10} \geq 5$, o sea tener una graduación uniforme.

El coeficiente de permeabilidad del geotextil para filtro estará por lo menos cinco veces el coeficiente de permeabilidad del suelo que se filtra, siempre que el suelo tenga un coeficiente de uniformidad $D_{60}/D_{10} \geq 5$, esto es, que tenga una buena graduación.

CAPITULO 8

PRUEBAS DE LABORATORIO

Según informe de pruebas de fátiga en laboratorio realizadas con carpetas de concreto asfáltico que contenían un geotextil, para estandarizar normas para las características numéricas según los diversos tipos de aplicación, se utilizaron siete diferentes tipos de geotextiles que provenían de Inglaterra y Estados Unidos. En todas las pruebas se utilizaron probetas sin contener geotextil como material de control. Se procuró que todos los procedimientos de prueba que se utilizaron fueran lo más razonablemente cercanos al comportamiento que hubieran tenido las carpetas asfálticas en condiciones críticas en el campo. La tabla siguiente muestra ciertas propiedades que deben cumplirse.

Tabla 1.8 Propiedades del geotextil

Muestra	Espesor en mm	Peso g/m ²	Resistencia a la Tensión Kgf/cm	Tipo de Geotextil
A	0.58	113	7.8	Termoligado
B	0.37	57	6.1	Termoligado
C	0.74	213	7.2	Termoligado
D	0.87	129	7.9	Termoligado
E	1.28	150	7.3	Agujado
F	1.79	239	10.1	Agujado
G	2.68	192	8.6	Agujado

8.1 Estimación de requerimiento de adhesivo

Con el fin de que la carpeta final quede bien colocada es necesario que el pegamento tenga buena adherencia tanto con la carpeta anterior como con la carpeta nueva, cuando se trata de repavimentado. En lo que respecta al geotextil, el adhesivo debe ser de tal tipo que permita una buena adherencia en la carpeta 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 nueva carpeta tenga una buena adherencia al geotextil. Para que este efecto se dé es obvio que se necesitará de calor y de presión. El calor demandado será proporcionado tanto por el mismo adhesivo como el que contendrá la

nueva carpeta. La presión será proporcionada tanto por la nueva carpeta en el momento de la construcción como por la compactación final que se le desee dar a ésta. Con el fin de investigar el factor de riego recomendado para el adhesivo se usó la máquina de prueba de Marshall ($\varnothing=10$ cm). Esta prueba se realizó siguiendo los siguientes pasos:

- a) Se coloca una lámina de aluminio en la placa inferior.
- b) Se colocaron uniformemente diferentes capas de adhesivo a razón de 0.3, 0.6, 0.7, y 0.9 lt/m².
- c) Se colocó el geotextil sobre el adhesivo.
- d) Se colocó un bloque compactado de concreto asfáltico dentro del molde.
- e) Se dejó caer el pistón 75 veces sobre el bloque de concreto para cada geotextil con sus diferentes cantidades de adhesivo. (peso =4.5 kg, longitud de caída = 45 cm)

Después de las pruebas, la temperatura bajó y se procedió a remover el geotextil dividiendo la muestra en cuadros de 2.5 mm por 2.5 mm. Se contó el número de cuadritos que quedaron saturados y este número se dividió entre el número de cuadritos no saturados, con el cual se obtuvo una relación para cada prueba. De esta forma se obtuvo un porcentaje, por supuesto el 100% de saturación es el valor más bajo de relación de riego. Seguidamente se graficaron los porcentajes vs. la relación de riego, con el fin de observar el comportamiento de dicha prueba.

8.2 Prueba 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 utilizó el equipo adecuado (figura 1.8). La muestra se encapsuló entre dos capas (8*8*30 cm). La capa inferior tuvo un espesor de 5 cm, pero la capa superior se cambió desde 2 hasta 4 cm, con el fin de investigar el efecto de la capa superior sobre el crecimiento de grietas (figura 2.8). Se realizó un corte de 4 mm sobre la capa inferior con el fin de simular un agrietamiento anterior en una carpeta asfáltica repavimentada, además se realizó este 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 fueron manufacturadas de concreto asfáltico convencional y el geotextil en todos los casos fué intercalado siguiendo la tabla que indica la cantidad de asfalto requerido para cada tipo de tela.

Como puede apreciarse en la figura 2.8, 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 estuvo controlada por un pistón de aceite y la rueda se hizo girar a razón de 50 vueltas /minuto. Se midieron las longitudes de las grietas tanto en la cara superior como en la cara inferior de la muestra a intervalos regulares de 200 a 400 ciclos. Se consideró el promedio de estos dos valores para todos los análisis. Se roció un polvo blanco en

ambas caras para hacer más visibles las grietas. El experimento se dió por terminado cuando las grietas alcanzaron la parte superior en ambas caras. Las muestras de control también fueron inpregnadas con cemento asfáltico

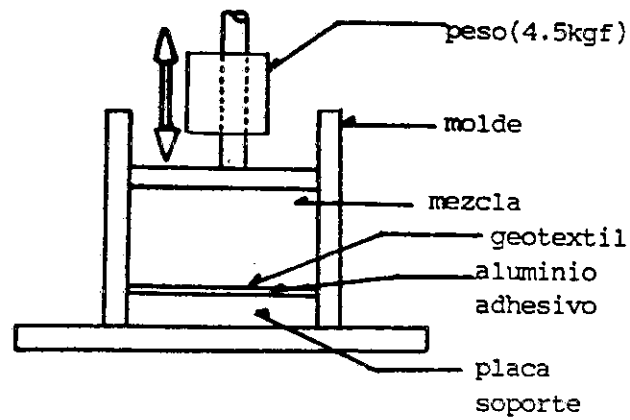


Figura 1.8 Equipo simulador de ciclos de carga

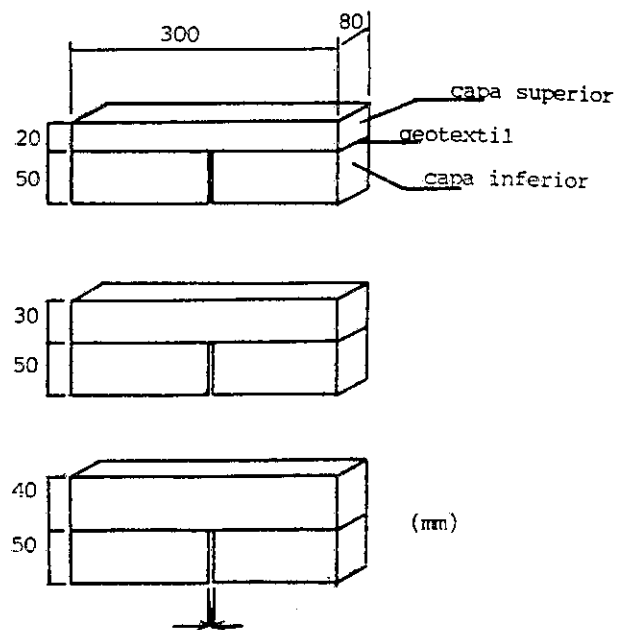


Figura 2.8 Muestras de fatiga a la flexión

8.3 Pruebas de deformación e impermeabilidad

Las muestras conteniendo una tela no tejida, curada durante 4 horas a 0°C, se sometieron a prueba para verificar su deformación e investigar la efectividad del geotextil, la aplicación de la carga se hizo en forma continua hasta que la deformación llegó a los 2 cm. (figura 3.8) y se midió la resistencia remanente después de que la muestra se rompió. Después la muestra ($\varnothing = 10$ cm) fué colocada en el aparato que mide la impermeabilidad (figura 4.8) con el fin de verificar cuál era la efectividad del geotextil una vez que la carpeta estaba agrietada en ambos lados.

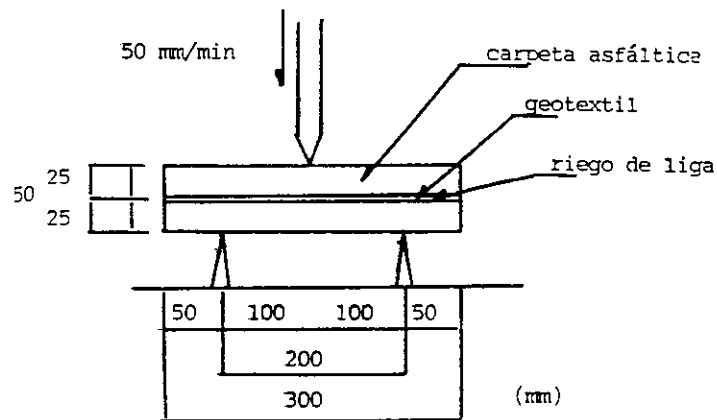


Figura 3.8 Equipo de flexión

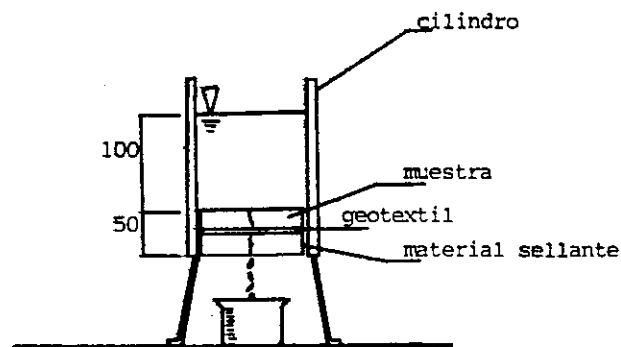


Figura 4.8 Equipo para medir permeabilidad de agua

8.3.1 Prueba de espesor

El espesor es la dimensión perpendicular bajo una presión específica. El espesor es proporcional a :

- * La habilidad del geotextil de absorber fuerza de impacto.
- * La habilidad del geotextil de transportar agua lateralmente, asumiendo una densidad constante.

Esta prueba de laboratorio se realiza bajo la norma ASTM D 1777, la tela debe colocarse sobre una superficie lisa, ejerciendo una presión sobre ella, la cual se aplica gradualmente y el espesor se indica en una escala.

8.4 Fátiga a la flexión

La prueba en sí consiste de una probeta formada por 2 capas de concreto asfáltico, el espesor de la capa inferior fue de 50 cm en todos los casos pero en la prueba de control y la de geotextil A (Tabla 1.8), varió el espesor de la carpeta superior de 2 a 4 cm, del mismo modo se varió la proporción del riego de liga de 0.5 a 0.9 L/ m² en la muestra de geotextil A para verificar en qué tanto ayudaba al aumentar o disminuir el riego de liga. Para cada probeta se graficó la longitud de la grieta vrs. el número de pasadas de carga y se contó el número de ciclos en los cuales empezaron a aparecer grietas en la capa superior. Las observaciones obtenidas fueron las siguientes: por lo que se refiere al crecimiento de grietas por fátiga en la capa superior, las muestras con geotextil con capa superior de 3 cm y el riego de liga adecuado, tuvieron la capacidad de retardar la aparición de grietas y claramente pudieron 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 pruebas realizadas al geotextil A, también demostró que el riego de liga adecuado dá 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. También se realizó una prueba con 0.31 L/m² de riego de liga pero los resultados fueron tan irregulares que la muestra se eliminó del estudio.

Cuando se varió el espesor de la carpeta superior el número de ciclos de carga aumentó considerablemente, cuando se aumentó el espesor de 2 a 4 cm e inclusive la muestra con geotextil y 3 cm de carpeta obtuvo casi el mismo valor que la muestra que no tenía geotextil y que estaba 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.

8.5 Prueba de flexión cuando la falla es severa

El concreto asfáltico se vuelve muy quebradizo a temperaturas menores de 0°C y a esta temperatura se realizaron las pruebas de flexión cuando la grieta ya había alcanzado la profundidad total o sea de lado a lado. Como se muestra la figura 5.8, la resistencia a la ruptura fue casi la misma para todas las muestras que tenían geotextil intercalado e inclusive la muestra que no tenía geotextil. Pero las muestras con geotextil siguieron mostrando un 50% de resistencia del valor original; mientras que la muestra sin control bajó su resistencia casi a cero después de la ruptura. Por lo que se refiere a la muestra de impermeabilidad después de la ruptura total de la carpeta, hubo una diferencia significativa entre las muestras que tenían geotextil y la que no lo tenía. Queda como evidencia que el geotextil con cemento asfáltico tiene la capacidad de proteger la carpeta anterior aún después de que la carpeta nueva se haya agrietado.

Una carpeta de concreto asfáltico con un espesor de 6 cm fue evaluada en Japón en la carretera No. 175, la cual estaba totalmente agrietada en su superficie. Los datos fueron los siguientes: 2 carriles, carpeta de cemento asfáltico, 8610 vehículos por día por carril, longitud del tramo evaluado 300 metros (180 metros con geotextil intercalado y 120 metros como control sin geotextil). Después del estudio para determinar la proporción adecuada para el riego de liga, se obtuvo un dato de 0.7 litros/m² pero después de muestras de corazón tomadas se cambió a 0.8 litros/m² debido a lo deteriorado y rugoso de la carpeta anterior. La evaluación efectuada antes y después de la reconstrucción fue la siguiente:

- i) Evaluación del agrietamiento en la superficie
- ii) Se midió la deflexión con muestras de Benkelman
- iii) Se determinó la capacidad portante tanto de la sub-base como de la base
- iv) Las muestras se evalúan una o dos veces por año con el fin de investigar los efectos del geotextil en los pavimentos.

Antes de la instalación de la carpeta de concreto asfáltico, la proporción de grietas tuvo un máximo de 53.30% y un mínimo de 6.70% y un promedio de 30% en 18 secciones (cada sección constaba de 10 m) con geotextil, mientras que la sección de control tuvo un máximo de 45% y un mínimo de 0% con un promedio de 14.80% para la sección de control. Después de un año de uso, las grietas fueron claramente visibles en la sección de control y no así en las que tenían geotextil.

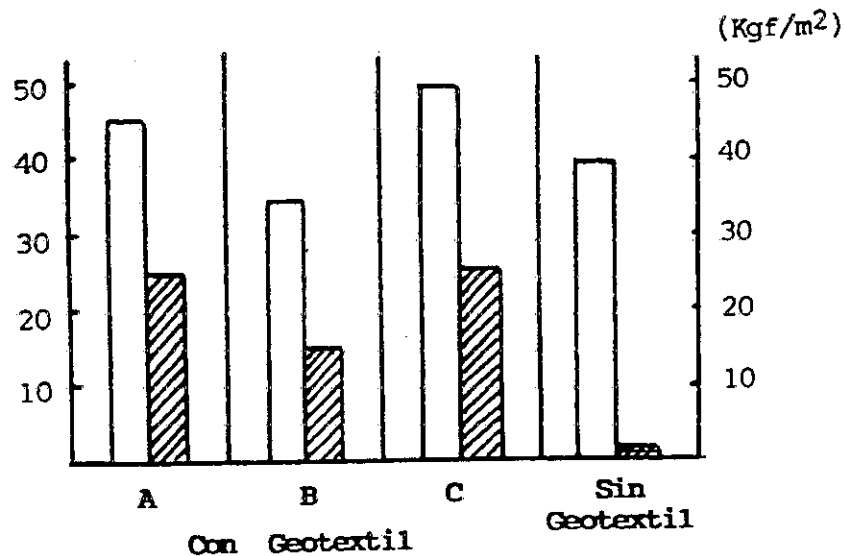


Figura 5.8 Prueba de resistencia a la flexión

8.6 Prueba de tensión

En definición es la resistencia de las fibras juntas en un ancho específico, con resistencia adicional contribuida por fibras adyacentes.

Generalmente se usa la medida de resistencia para ejercer un control de calidad y aceptación. Este ensayo puede ser razonablemente un buen pronosticador de resistencia durante la instalación, pero no es relevante para los beneficios netamente de campo en lo que a las telas de ingeniería se refiere. Debe recordarse que durante su uso actuarán fuerzas multidireccionales.

Para el ensayo de prueba de tensión (ASTM 1682) se tomará una muestra de aproximadamente 12 pulgadas cuadradas (6x2), y se colocará en la máquina de ensayos de tensión. Existirá una pulgada de ancho del centro de la tela asida por abrazaderas o grapas. La distancia inicial entre grapas deberá ser de tres pulgadas. Mientras éstas (grapadas) se mueven separadamente en una proporción constante, se registra una carga aplicada a la tela. La carga en el punto de ruptura será la carga última de tensión.

8.6.1 Prueba de tensión para drenajes

En ciertos casos el agua contiene altas concentraciones de sales, principalmente carbonato, bicarbonato de sodio y cloruro de sodio. Por esta razón se deben hacer pruebas de "intemperismo acelerado" sometiendo muestras de geotextil en aguas saladas de pozos someros, como en aguas negras, durante 10 horas a 93 °C.

Geotextiles no tejidos elaborados a base de poliéster y polipropileno, del tipo punzonado fueron sometidos a pruebas que consistían en resistencia a la tensión en tiras de 5 cm. de ancho, con velocidad de carga constante a razón de 392 N/m/min, "intemperismo acelerado" con el objeto de determinar la capacidad drenante y posibilidad de colmatación.

CAPITULO 9

VENTAJAS

a) PAVIMENTOS. Entre las ventajas más importantes que se han encontrado usando geotextiles se tienen:

- i) Rápidez y facilidad de instalación, ya sea manual o mecánicamente.
- ii) Ahorro de materiales de pavimentación y prolongación de la vida útil de los pavimentos.
- iii) Posibilidad de resolver problemas complicados (construcción de vías terrestres sobre suelos blandos saturados, por ejemplo), con materiales convencionales.
- iv) Amplio campo de aplicaciones, posibilidad de utilizar geocompuestos con nuevos materiales, formas y combinaciones.
- v) Posibilidad de usarse como refuerzo en pavimentos rígidos.
- vi) Disminuye hasta en un 30% los espesores iniciales de agregados en las capas que constituyen la estructura del pavimento.
- vii) Evita el desarrollo de baches y hundimientos, incrementando la capacidad de carga del suelo.
- ix) Reduce costos de mantenimiento.

b) DRENAJES. Algunas ventajas que se consideran son:

- i) Rápidez y facilidad de instalación.
- ii) Evitan de gran manera los asolvamientos.
- iii) Posibilidad de resolver problemas complicados de sub-drenaje.

c) SEPARACION. Algunas ventajas que se consideran son:

- i) Trabaja como filtro impidiendo la fuga de finos, o la mezcla de materiales de diferente granulometría.
- ii) Se logra un talud casi vertical cuando se hacen rellenos por capas.
- iii) Hace más resistentes los rellenos para terraplenes.

- d) REFUERZO. Algunas ventajas que se consideran son:
- i) Simultáneamente funciona como separador y refuerzo en rellenos por capas.
 - ii) En repavimentado es un refuerzo entre el pavimento viejo y el nuevo.

9.1 Económicas

Finalmente conviene señalar que los geotéticos constituyen la opción que siempre se ha buscado, y que debe tenerse muy en cuenta en proyectos de construcción y rehabilitación de pavimentos, terraplenes, drenajes y obras hidráulicas para lo cual deben realizarse investigaciones a largo plazo sobre su comportamiento, diseño y construcción, principalmente en el impacto económico. Su costo (mayo/97) en Guatemala varía entre Q.5.35 y Q.7.20/m². Al analizar cada uno de los numerales anteriores se pueden encontrar las verdaderas ventajas económicas.

- a) Como es rápido y fácil de instalar se ahorra tiempo y dinero en mano de obra.
- b) Al prolongar la vida útil de los pavimentos, se reducen considerablemente los programas de mantenimiento (ix), evitando baches, hundimientos y retardando las grietas por reflexión (vii). Se reducen los espesores de las capas del pavimento ahorrando materiales hasta en un 30% (vi).
- c) Globalmente las ventajas económicas son considerables si se toman en cuenta todos los aspectos antes mencionados, siempre y cuando se tenga alguna experiencia en el uso de geotextiles, para que el ingeniero obtenga sus propias conclusiones.

9.2 Beneficios

Actualmente no existe una forma cuantitativa de evaluar el aumento en la capacidad estructural de los pavimentos cuando se introduce un geotextil como medio separador, filtrante, y de drenaje. Sin embargo, de forma cualitativa, el uso de geotextiles para estabilizar carreteras sobre subrasantes blandas dirigen a varios beneficios en el costo y funcionamiento de las mismas, los cuales incluyen:

- a) Reducción de la intensidad de los esfuerzos y la penetración de agregados de la base o sub-base hacia la subrasante.
- b) Prevención de la migración de finos desde la subrasante hacia la base o sub-base.
- c) Prevención de la contaminación de la base o sub-base lo cual permite la utilización de materiales granulares con una densificación más abierta, y por consiguiente ayuda al drenaje del pavimento.

- d) Reducción del espesor de la excavación requerida para remover el material pobre o de baja capacidad de carga en la subrasante del pavimento.
- e) Reducción de la cantidad de materiales requeridos para estabilizar la subrasante.
- f) Reducción de daños o disturbios de la subrasante durante la etapa de construcción, lo que resulta en una mejor base de apoyo para la capa estructural del pavimento o superior subrasante.
- g) Si ocurrieren asentamientos, el geotextil ayuda a mantener la integridad y uniformidad del pavimento. El geotextil no previene los asentamientos de la subrasante, pero su uso puede resultar en asentamientos más uniformes.
- h) En áreas de transición, de corte a relleno, el uso de geotextiles asiste en la reducción de asentamientos diferenciales.
- i) Los geotextiles pueden también ser usados como capa de rompimiento del ascenso de aguas por capilaridad.

Geotextiles agujados, no tejidos son comúnmente usados para la estabilización de carreteras debido a su alto grado de permeabilidad y la capacidad de drenaje en el plano de los mismos.

CONCLUSIONES

1. El empleo de técnicas constructivas novedosas que involucran la aplicación de los denominados "Geotextiles", implica revisión de los procedimientos constructivos tradicionales, ante la posibilidad de obtener nuevas opciones a través del uso de dichos productos, en la búsqueda de un mejoramiento tanto en la técnica aplicada, como en el logro de beneficios económicos, de calidad o de simplicidad de los métodos.
2. La tecnología ingenieril ha logrado desarrollar materiales novedosos, en los cuales se debe poner atención para obtener mejores diseños, tanto por su duración, como por su costo y beneficio. Los geotextiles de alta tenacidad, baja deformación y mínima fluencia, dan la oportunidad de solucionar problemas en suelos suaves, con inversiones iniciales económicas y mantenimiento casi nulo.
3. El uso de geotextiles favorece el procedimiento de construcción de carreteras en suelos de baja capacidad de carga, ya que reduce la magnitud de los asentamientos y evita la contaminación del material agregado con los del sub-suelo, pudiendo construirse una sección transversal homogénea.
4. La aparición de grietas por fatiga puede ser retardada con el uso de geotextiles, ya que estos reducen considerablemente la intrusión del agua hacia la base o la carpeta anterior, aún después de que la carpeta de rodamiento esté totalmente agrietada. Al ocurrir una falla de hundimiento en el suelo no ocurrirán asentamientos profundos, ya que el geotextil lo impedirá al distribuir la carga en toda el área cubierta por el mismo.
5. En Guatemala está aumentando el uso de los geotextiles en pavimentos, de los cuales se pueden mencionar algunas aplicaciones en proyectos realizados:
 - a) En la ciudad capital, tramo de la 12 avenida, en las zonas 5 y 10, para repavimentación se colocaron 21,000 m². 1,997.
 - b) Tramo de carretera, Don Justo - San José Pinula, para repavimentación se colocaron 33,000 m². 1,996.
 - c) Tramo de carretera, Cuatro Caminos - Quetzaltenango, se colocaron 96,000 m². 1,996.
 - d) Tramo de carretera, Modesto Méndez - San Luis, en el departamento de El Petén, se colocaron 15,000 m² en diversas partes donde el suelo era blando y suave, características del suelo de esta región. 1,996.
 - e) Tramo de carretera, Monjas - Jalapa, se colocaron 14,000 m².

- f) Otros proyectos más antiguos son: Uso de geotextiles en sub-drenaje, entre la sub-rasante y el terraplén del Aeropuerto de Santa Elena, El Petén, en 1,978-81, siendo una de las primeras aplicaciones en Guatemala y considerado el mayor de los proyectos usando geotextiles, pues se colocaron aproximadamente 212,000 m². En el área de carga y descarga del Puerto Quetzal, en el departamento de Escuintla. En la calzada Raúl Aguilar Bártres, desde el trébol al puente del Anillo Periférico. Aproximadamente en el año 1,982.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que para la utilización de los productos denominados "geosintéticos", el ingeniero tenga conocimiento de la forma de diseñar con ellos, toda vez que continuamente se desarrollan nuevas aplicaciones, productos y experiencias de laboratorio o a escala natural que incrementan el acervo de esta nueva industria. Es necesario también conocer el comportamiento básico de los materiales geosintéticos.
2. Se recomienda mantener un buen control del tránsito durante la colocación del geotextil en pavimentos, de lo contrario, la tela podría dañarse, romperse o arrugarse. El geotextil debe colocarse de inmediato, antes que el asfalto pierda sus propiedades adhesivas, para lograr una adherencia total de la tela.
3. Se recomienda que la colocación de materiales de préstamo sobre el geotextil, se efectúe con la debida precaución y de preferencia con maquinaria ligera, pues el equipo pesado podría ocasionar daños al geotextil.
4. Se recomienda investigar la causa principal del agrietamiento, efectuando una evaluación del pavimento, incluyendo la medición de deflexiones con Viga Benkelman. Esto es fundamental porque un geotextil no soluciona problemas de tipo estructural y mucho menos relacionados con el subdrenaje, de manera que ambos problemas deben previamente solucionarse.
5. Se recomienda particularmente en Guatemala, que para el diseño, construcción y reconstrucción de carreteras, y otros tipos de proyectos, que incluyan un geotextil se tome muy en cuenta la correcta y adecuada colocación del mismo, de tal manera que la función del geotextil sea satisfactoria y que la inversión sea rentable tomando en cuenta las ventajas económicas.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- BARSVARY A. K., Eng. & P. Korgemagi, Eng. The Geotechnical use of filter fabrics in Highway Construction. 4th. edition. Ontario, Cánada. Pavement Design and Management Section Engineering Materials Office. 1,979. 94p.
- 2.- CRESPO VILLALAZ, Carlos Ing. Mecánica de suelos y cimentaciones. 4ta. edición. México D. F., editorial Limusa, S. A. de C. V. 1,994. 644p.
- 3.- Especificaciones Generales para la construcción de carreteras y puentes. Guatemala, C.A. Dirección General de Caminos (DGC), Ministerio de Comunicaciones Transporte y Obras Públicas. Ingenieros Consultores de Centro América. Mayo 1,975.
- 4.- Folleto Construcción Pan-Americana. s. l., edición Continental, junio de 1,993.
- 5.- Folleto Geotextiles que le ayudan a dese ar con confianza. Amoco Fabrics and Fibers Company. U.S.A. s.f.
- 6.- Folleto Geotextil No Tejido. Industrias COPACA, S.A. de C.V. México D. F. s.f.
- 7.- KOERNER, R. M. Designing with Geosynthetics. 2nd. edition. United States of América, edition Prentice-Hall. 1,990.
- 8.- MONTALVO, J. Roberto Ing. Usos de Geotextiles para estabilizar y construir carreteras sobre subrasante de suelos blandos. s.e. s.f.
- 9.- MURILLO F. Rodrigo. Simposio sobre Geosintéticos. Memorias del Simposio. Sociedad Mexicana de mecánica de suelos . A. C. Julio de 1,990. 190 p.
- 10.- MURILLO F. Rodrigo. Los Geotextiles como material de construcción. XV congreso Nacional de ingenieria civil, CICM, México. 1,989.
- 11.- RAMIREZ RAMILA, Carlos Enrique. Los Geotextiles como alternativa ante problemas de Ingenieria Civil. (T sis de graduación de Ingeniero Civil, Facultad de Ingenieria, Universidad de San Carlos). Guatemala, 1,986, 95 p.

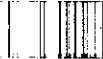
- 12.- Standard Specifications for Road and Bridge Construction. Florida Department of Transportation. 1986. 786p.
- 13.- STEWARD, J. Williamson R. et. al. Guidelines for use of Fabrics in construction and maintenance of Low - volume Roads. U.S. Department of Transportation, U.S.A. 1,978.
- 14.- Task Force No. 25, Specifications for Paving Fabrics. Federal Highway Administration, Washington, D.C., USA. 1,985.

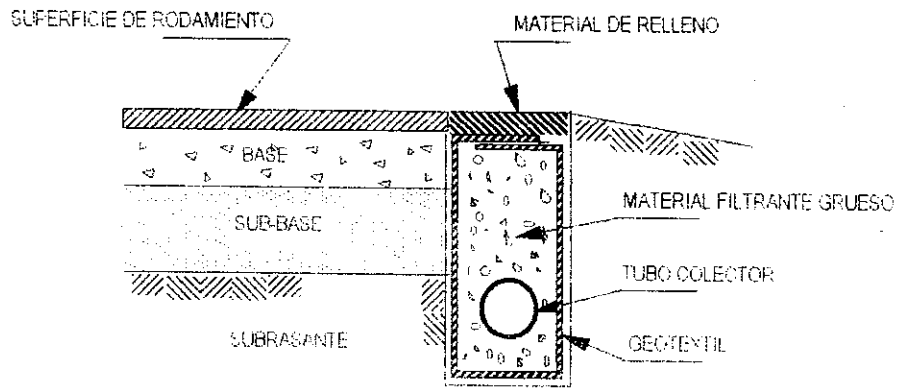
ANEXOS



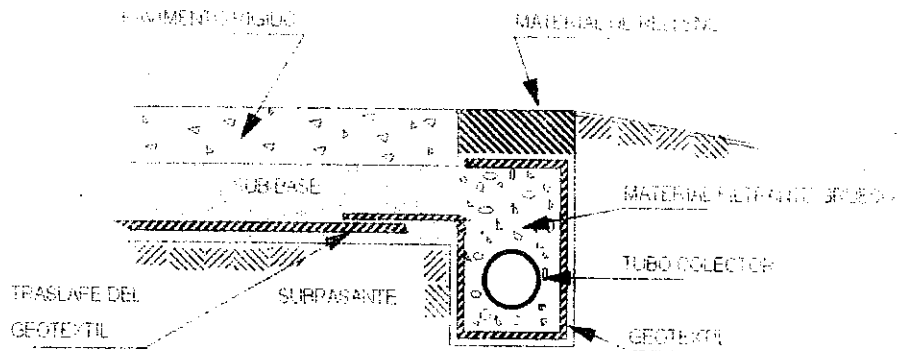
CONTENIDO DE ANEXOS

- Figura 1 Utilización de los geotextiles para mejorar el diseño de pavimentos
- Figura 2 Utilización de los geotextiles para la infiltración en pendientes cortadas
- Figura 3 Varios usos de geotextiles para mejorar el drenaje de estructuras de contención
- Figura 4 Utilización para pozos de recarga
- Figura 5 Diseño de pozo de seguridad con geotextil
- Figura 6 Método de colocación del geotextil para protección de cortes y taludes
- Figura 7 Uso de geotextil para la protección de estribos de puentes

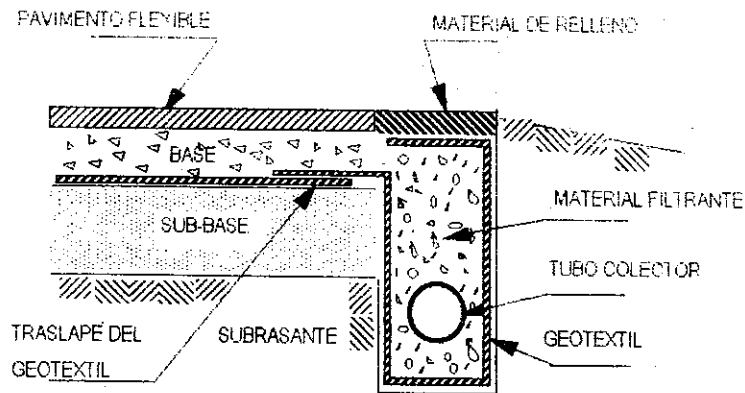




A. Drenaje continuo al pavimento

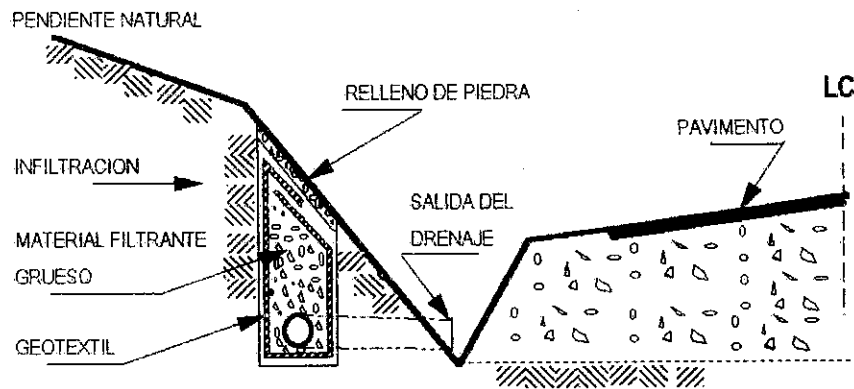


B. Drenaje de Sub-base

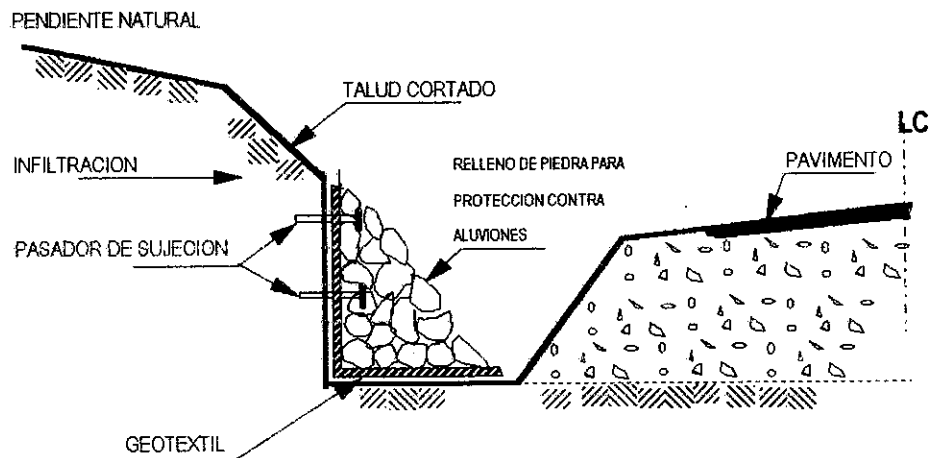


C. Drenaje de base

FIG. No. 1 UTILIZACION DE LOS GEOTEXILES PARA MEJORAR EL DISEÑO DE PAVIMENTOS

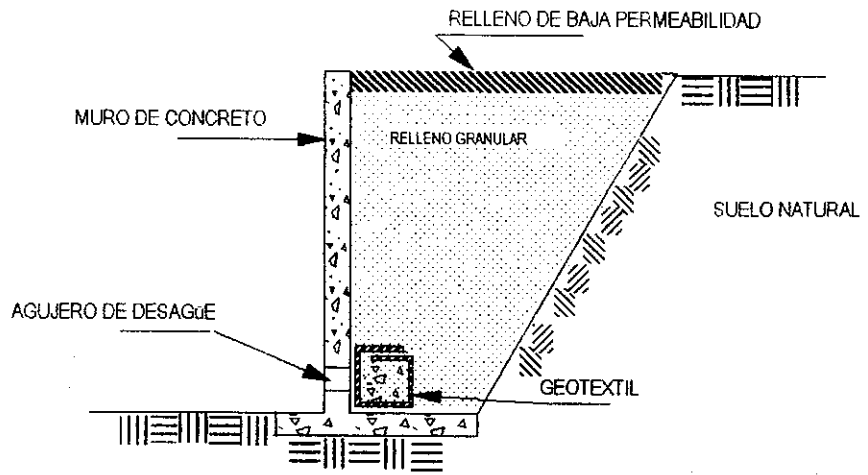


A. Drenaje de intercepción con trinchera y drenaje para controlar la infiltración en pendiente cortada

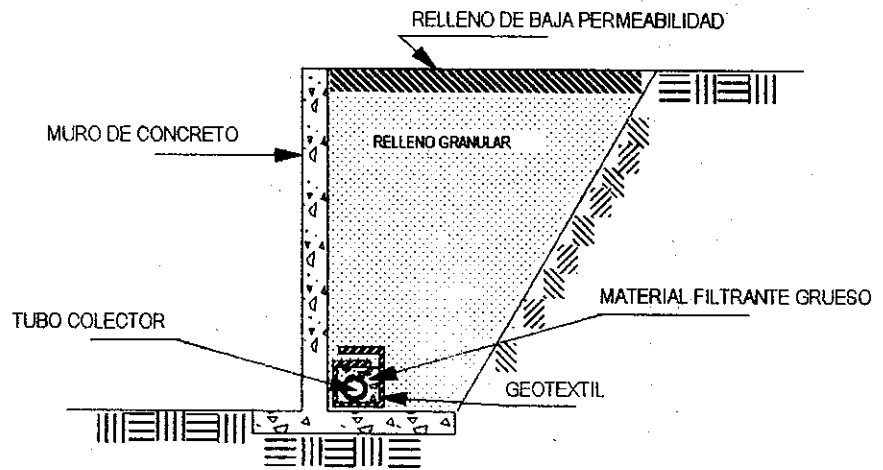


B. Drenaje de intercepción con roca al pie del talud en pendiente cortada

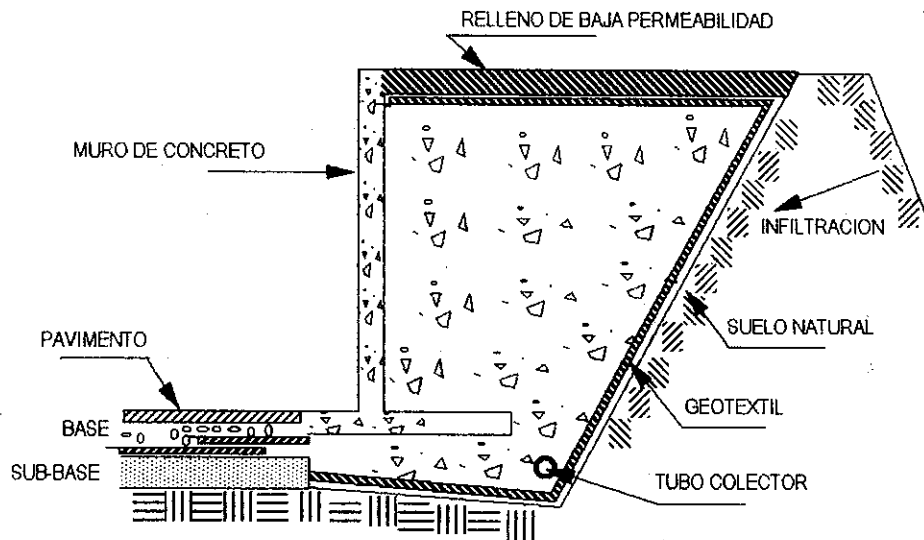
FIG. No. 2 UTILIZACION DE LOS GEOTEXILES PARA LA INFILTRACION EN PENDIENTES CORTADAS



A. Drenaje de estructura de contención con agujero de desagüe



B. Drenaje de estructura de contención con tubo colector



C. Combinación de drenaje de estructura de contención y drenaje de relleno

FIG. No. 3 VARIOS USOS DE GEOTEXILES PARA MEJORAR EL DRENAJE DE ESTRUCTURAS DE CONTENCION

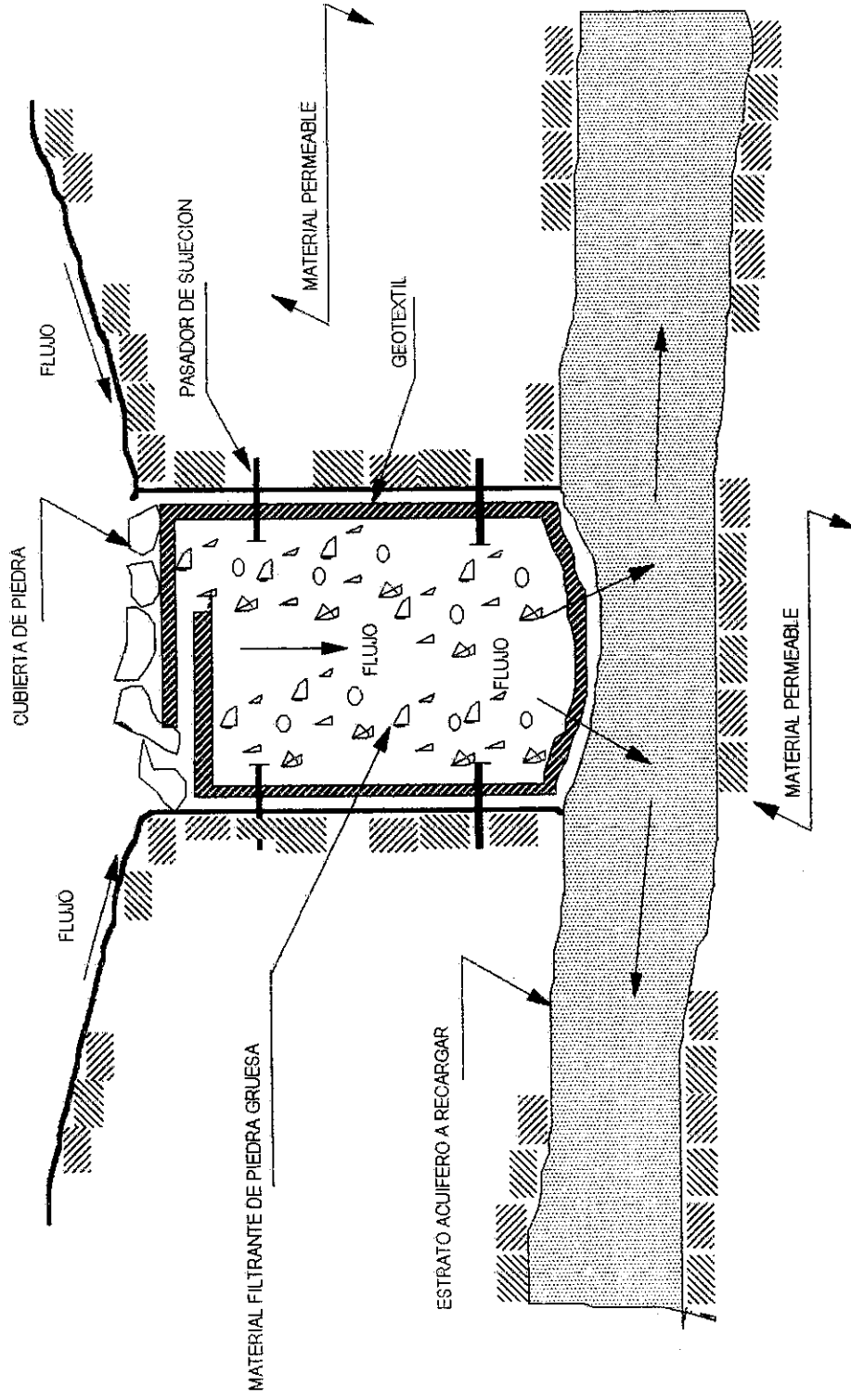


FIG. No. 4 UTILIZACION PARA POZOS DE RECARGA

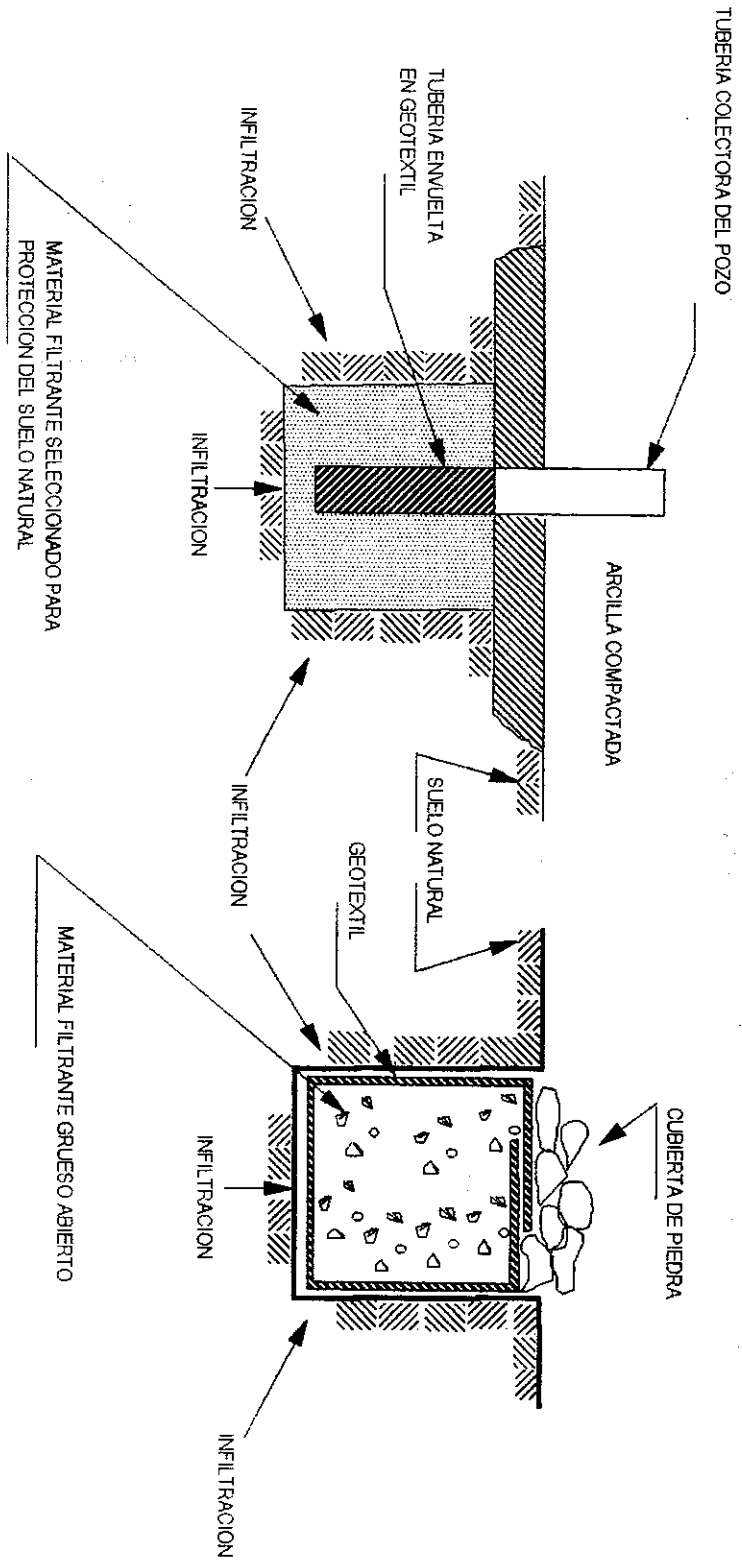


FIG. No. 5 DISEÑO DE POZO DE SEGURIDAD CON GEOTEXTIL

HOMBRO DEL TALUD

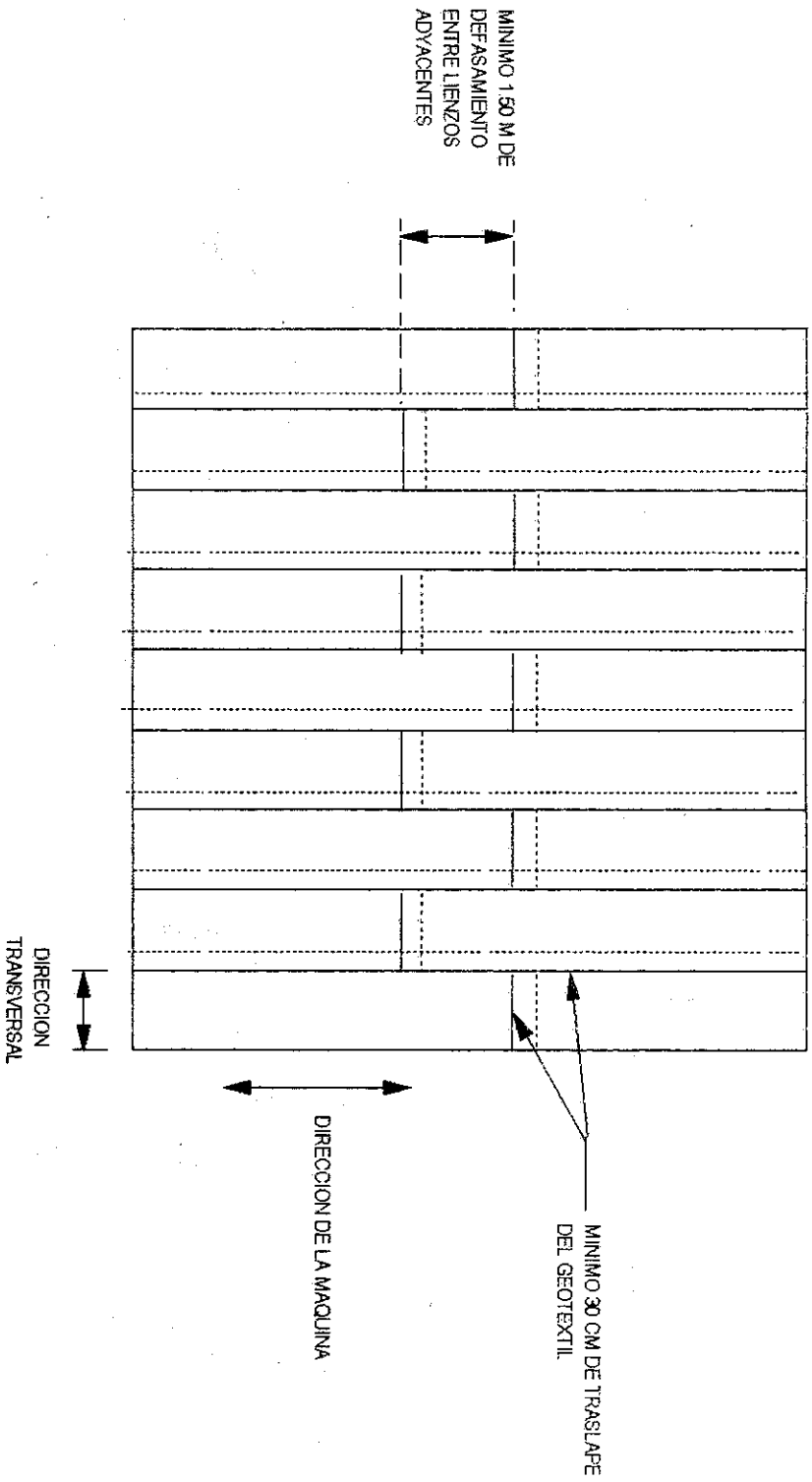


FIG. 6 METODO DE COLOCACION DEL GEOTEXTIL PARA PROTECCION DE CORTES Y TALUDES

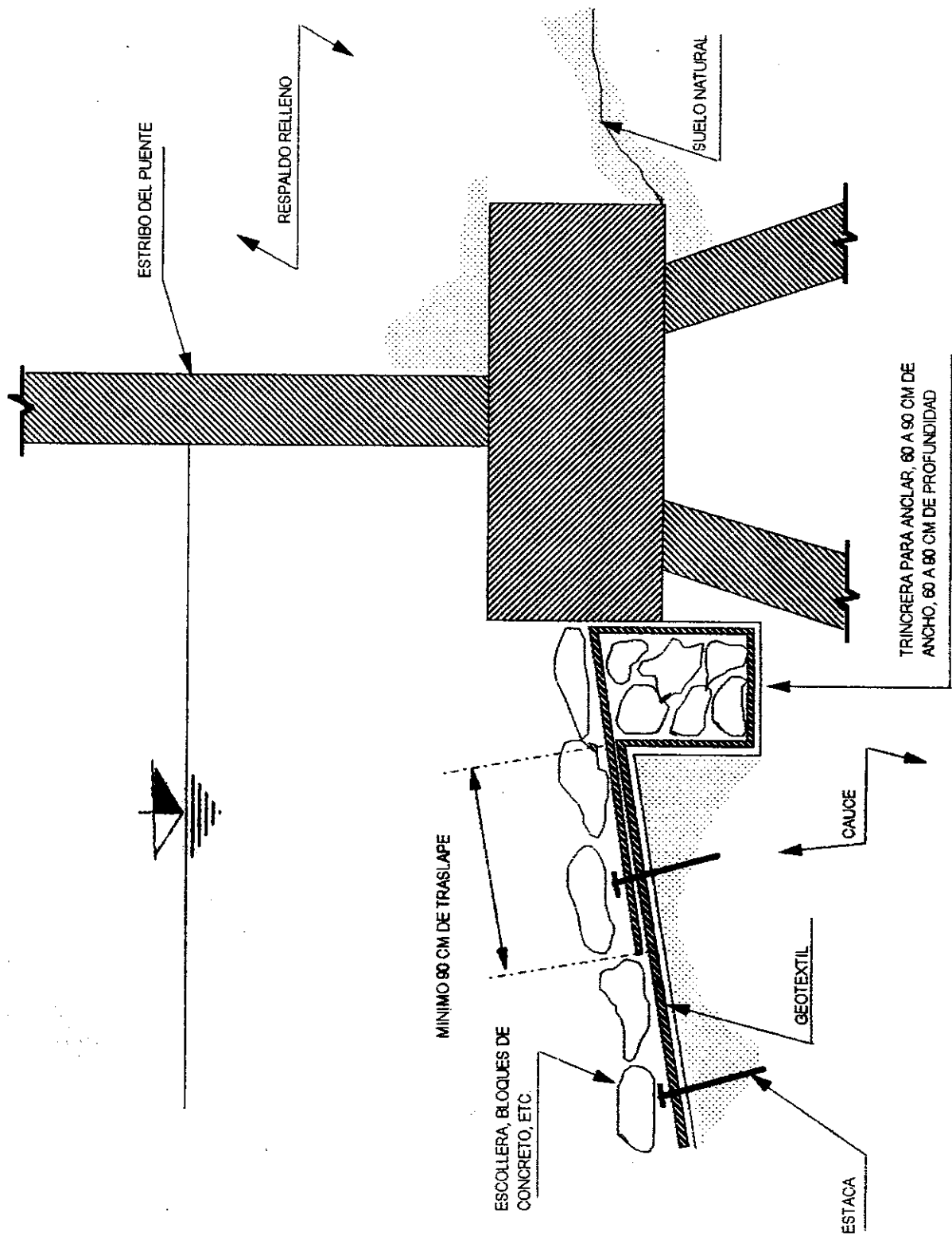


FIG. No. 7 USO DE GEOTEXILES PARA LA PROTECCION DE ESTRIBOS DE PUENTES