

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**“APLICACIÓN DE LOS GEOSINTÉTICOS EN LA
ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS Y EN OBRAS DE
DRENAJE PARA CARRETERAS”**

PRESENTADO POR:
JONY FRANCINNY DÍAZ GONZÁLEZ
OSCAR EDUARDO ESCOBAR VELÁSQUEZ
EDUARDO JAVIER OLIVO MARTÍNEZ

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 2009

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

:

MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SÁNCHEZ

SECRETARIO GENERAL :

Lic. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO

:

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIO

:

ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR

:

MSc. FREDY FABRICIO ORELLANA CALDERÓN

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título :

**“APLICACIÓN DE LOS GEOSINTÉTICOS EN LA ESTRUCTURA
DE LOS PAVIMENTOS Y EN OBRAS DE DRENAJE PARA
CARRETERAS”**

Presentado por :

**JONY FRANCINNY DÍAZ GONZÁLEZ
OSCAR EDUARDO ESCOBAR VELÁSQUEZ
EDUARDO JAVIER OLIVO MARTÍNEZ**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

**ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES
ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA**

San Salvador, Octubre de 2009.

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES

ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA

AGRADECIMIENTOS

A DIOS por darnos la vida y guardarnos en todo momento, por brindarnos la sabiduría y perseverancia para mantenernos firmes a lo largo del trayecto y permitirnos alcanzar esta meta.

A LA UNIVERSIDAD por permitir crecer intelectualmente y moldearnos como profesionales con una verdadera visión social y de bien. “Hacia la libertad por la cultura”.

A NUESTROS DOCENTES DIRECTORES Ing. Dilber Sánchez e Ing. Mauricio Valencia por el tiempo, apoyo y orientación que nos brindaron durante el desarrollo de esta investigación. Por ser tolerantes y alentarnos a dar el último paso en la conclusión de nuestra carrera.

A TODOS LOS DOCENTES DE LA FACULTAD Gracias por compartir su tiempo y conocimientos, los cuales han sido de enorme importancia en la vida como estudiantes y nos han servido de base para el desarrollo y culminación de este trabajo.

A LOS INGENIEROS María Patricia Guerra y Alex Rodríguez, por toda la colaboración que nos brindaron a través de la información proporcionada la cual fue de enorme importancia.

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES al Lic. Rydell José Díaz, por su invaluable ayuda al brindarnos una casa, que durante gran parte del tiempo que nos tomo finalizar nuestra carrera, se llevo a convertir en nuestro segundo hogar.

EL GRUPO.

DEDICATORIA

A la memoria de nuestros amigos Carlos Mauricio Beltrán Recinos y Carlos Antonio Rodríguez Acevedo, que nos fueron arrebatados antes de tiempo y siempre permanecieron junto a nosotros en esta lucha. Una parte de ustedes siempre estará en nuestros corazones.

EL GRUPO.

DEDICATORIA

A DIOS por haberme llenado de fe, esperanza y darme la capacidad para la realización de este trabajo.

A MIS PADRES María Marta y Oscar Armando, por darme su apoyo incondicional y tenerme paciencia a lo largo de toda mi carrera. Gracias, LOS QUIERO MUCHO.

A MIS HERMANOS María José y José Giovanni, por el apoyo moral y económico que me brindaron sin condición, siempre dándome fuerzas para seguir adelante.

A LA SEÑORA Margarita Ramírez Meléndez, que me dio su apoyo económico de manera incondicional, y fue como una madre para mí.

A LA MEMORIA DE MI ABUELA María Julia, la que siempre me dijo que siguiera adelante y no me detuviera ante los obstáculos de la vida.

A MIS FAMILIARES que tuvieron fe que fuese una persona de éxito y triunfaría en las metas que me propusiera.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS Jony Francinny y Eduardo Javier, que tuvieron paciencia con todos los problemas que ocurrieron durante la realización de este trabajo y siempre pusieron empeño para salir adelante.

A MIS AMIGOS que siempre estuvieron a mi lado para ayudarme en las buenas y malas, durante la trayectoria de mi carrera y la finalización de este trabajo de graduación.

OSCAR EDUARDO ESCOBAR VELÁSQUEZ

DEDICATORIA

A DIOS por darme la vida y fuerzas para lograr esta meta. Te agradezco señor por estar siempre a mi lado y nunca desampararme. Gracias señor por todo.

DE TODO CORAZÓN A MI MADRE María Cecilia, porque gracias a tu sacrificio y tu apoyo incondicional he podido culminar mi carrera, a ti madre te dedico mi esfuerzo gracias por haber confiado en mí. Te Quiero mucho.

A MI PADRE Osmín Olivo (Q.D.D.G) al que siempre recuerdo con mucho cariño, que siempre me apoyó y me dio sus conocimientos y consejos que me han forjado para ser quien soy.

A MI HERMANO Ernesto, por el apoyo y por siempre creer en mí.

A MI NOVIA Jacqueline por estar siempre a mi lado, apoyándome con todo su amor y a veces haciéndome presión para que me esforzara y lograra terminar este trabajo. Te Amo.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS Oscar Eduardo y Jony Francinny, por todas las experiencias, buenas y malas que vivimos juntos a lo largo de nuestra carrera y por lograr con gran esfuerzo culminar nuestra tesis.

A MIS AMIGOS todos los que a lo largo de mi vida me han brindado su amistad incondicional, que siempre han estado allí para darme la mano y han confiado en mí.

EDUARDO OLIVO

DEDICATORIA

A DIOS por darme la vida, sabiduría, voluntad y fuerza necesaria para alcanzar esta meta y concluir esta etapa de mi vida.

A MIS PADRES Sr. Carmen Díaz Portillo Y Sra. Ada Luz González, por la paciencia y apoyo incondicional que me brindaron desde el primer día de vida. Gracias por darme la oportunidad de devolverles un poco de toda la confianza que depositaron en mí.

A MIS HERMANOS Rydell José, Felicia de los Ángeles y Jacqueline Nathaly Díaz González, que a su manera me han apoyado y me alentaron durante el desarrollo de toda mi carrera.

A MI NOVIA Flora Andrea Poma, por motivarme a seguir adelante brindándome comprensión, amor, fuerza y soportarme en todos los buenos y malos momentos que hemos pasado a lo largo de varios años. Gracias mi amor estar a mi lado, te amo.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS Oscar Eduardo y Eduardo Javier por su amistad y dedicación en el desarrollo de este trabajo de graduación y compartir todos este difícil camino de la profesionalización.

A TODOS MIS AMIGOS que en todo momento me soportaron, apoyaron, animaron y entregaron su confianza y tiempo desde los primeros días de nuestra amistad.

A TODOS aquellos que creyeron que podía alcanzar este logro profesional y ahora están alegres por este triunfo.

Y también a **TODOS LOS QUE NO CREÍAN EN MÍ**, gracias por darme la oportunidad de demostrarles que si puedo alcanzar todas las metas que me proponga.

JONY FRANCINNY DIAZ

RESUMEN

Los geosintéticos son elaborados a partir de diferentes tipos de polímeros, que pueden ser combinados con fibras sintéticas o naturales, utilizados en contacto con el suelo, roca o con otros materiales dentro del campo de la geotecnia.

En obras viales los geosintéticos cumplen las funciones de: refuerzo, separación, filtración y drenaje, pudiendo cumplir una o varias funciones a la vez, lo que los convierte en una alternativa de solución a problemas que comúnmente se presentan en la construcción de estas obras, como suelos de baja capacidad de soporte, niveles freáticos elevados, restricciones del tamaño de la obra, elevados costo de los materiales, etc. Los geosintéticos presentan además ventajas sobre los métodos tradicionales de construcción por su facilidad de colocación, durabilidad, rentabilidad a largo plazo.

El desarrollo de esta investigación se reúne en cinco capítulos; en el primer capítulo se presentan las generalidades en las que se incluyen objetivos, alcances, limitaciones y la justificación por la cual se realiza la investigación.

El segundo capítulo trata sobre los materiales geosintéticos, se describen las materias primas utilizadas así como los diferentes procesos de fabricación, las funciones que estos cumplen y los tipos en los que se dividen.

En el tercer capítulo, se enumera y detallan los métodos de ensayo utilizados para determinar los valores de las propiedades más importantes que deben cumplir los geosintéticos para llevar a cabo un adecuado control de calidad, tanto en el proceso de fabricación como para su aceptación o rechazo en una obra. Posteriormente se hace una recopilación de algunas especificaciones de construcción, en las cuales se muestra los tipos de geosintéticos a utilizar, de acuerdo a la función que estos desempeñan en los pavimentos y además se dan guías para su correcta colocación.

Las metodologías de diseño y aplicaciones de los geosintéticos en la estructura de los pavimentos y en obras de subdrenaje, son la parte fundamental de esta investigación, por lo que en el capítulo cuatro se desarrolla detalladamente cada una de estas metodologías.

Finalmente en el capítulo cinco se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas durante el desarrollo de la investigación.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I: GENERALIDADES	1
1.1 Introducción.	1
1.2 Antecedentes.	3
1.3 Planteamiento del problema.	6
1.4 Alcances.	7
1.5 Limitaciones.	8
1.6 Objetivos.	9
1.7 Justificación.	10
CAPÍTULO II: MATERIALES GEOSINTÉTICOS	12
2.1 Definición de los geosintéticos.	12
2.2 Componentes de los geosintéticos.	13
2.2.1 Polietileno.	13
2.2.2 Polipropileno.	14
2.2.3 Poliéster.	15
2.2.4 Policloruro de Vinilo.	15
2.2.5 Poliuretano.	15
2.3 Funciones principales de los geosintéticos.	16
2.3.1 Separación.	16
2.3.2 Refuerzo.	17
2.3.3 Filtración.	18
2.3.4 Drenaje planar.	18
2.3.5 Barrera Impermeable.	19
2.4 Clasificación de los geosintéticos.	19
2.4.1 Geotextiles.	19
2.4.1.1 Geotextil no tejido.	20

2.4.1.2	Geotextil tejido.	21
2.4.2	Geomallas.	23
2.4.2.1	Propiedades de la geomallas.	25
2.4.3	Georedes.	26
2.4.4	Geomembranas.	27
2.4.4.1	Tipos de geomembranas	28
2.4.5	Geoceldas.	32
2.4.6	Geocompuestos.	35
2.4.6.1	Geocompuestos drenantes.	35
2.4.6.2	Propiedades de los geocompuestos.	36

CAPÍTULO III: CONTROL DE CALIDAD Y 38

ESPECIFICACIONES

3.1	Introducción.	38
3.2	Control de calidad.	39
3.2.1	Definiciones.	39
3.2.1.1	Control de calidad.	39
3.2.1.2	Aseguramiento de la calidad.	39
3.2.2	Control en campo.	40
3.2.2.1	Costuras en campo.	41
3.3	Especificaciones técnicas.	46
3.4	Normas de ensayo.	54
3.4.1	Método estándar de muestreo de geosintéticos para ensayos. ASTM D - 4354-89.	54
3.4.1.1	Definiciones.	55
3.4.1.2	Procedimiento A.	59
3.4.1.3	Procedimiento B.	61
3.4.2	Método estándar para medir la masa por unidad de área de geotextiles. ASTM D - 5261-92.	63

3.4.2.1	Muestreo.	63
3.4.2.2	Material y equipo.	64
3.4.2.3	Procedimiento.	64
3.4.3	Método de ensayo estándar para determinar el espesor nominal de geotextiles y geomembranas. ASTM D - 5199-92.	65
3.4.3.1	Definiciones.	66
3.4.3.2	Muestreo.	66
3.4.3.3	Material y equipo.	66
3.4.3.4	Procedimiento.	68
3.4.4	Método estándar para la determinación de la carga de rotura y la elongación de geotextiles (Método Grab). ASTM D - 4632-91.	69
3.4.4.1	Definiciones.	69
3.4.4.2	Muestreo.	70
3.4.4.3	Material y equipo.	70
3.4.4.4	Procedimiento.	71
3.4.5	Método para la determinación de la resistencia al rasgado trapecoidal de geotextiles. ASTM D - 4533-91.	74
3.4.5.1	Definiciones.	75
3.4.5.2	Muestreo.	75
3.4.5.3	Material y equipo.	75
3.4.5.4	Procedimiento.	76
3.4.6	Método para la determinación del tamaño de abertura aparente (TAA) de un geotextil. ASTM D - 4751-95.	79
3.4.6.1	Definiciones.	79
3.4.6.2	Muestreo.	80
3.4.6.3	Material y equipo.	80

3.4.6.4	Procedimiento.	82
3.4.6.5	Cálculos.	84
3.4.6.6	Gráficos.	85
3.4.7	Método estándar para la determinación del índice de resistencia al punzonamiento de geotextiles, geomembranas y productos relacionados. ASTM D - 4833-96.	86
3.4.7.1	Definiciones.	86
3.4.7.2	Muestreo.	86
3.4.7.3	Material y equipo.	87
3.4.7.4	Procedimiento.	88
3.4.7.5	Cálculos.	89
3.4.8	Método estándar para la determinación de la resistencia al estallido de geotextiles (Método del diafragma hidráulico – Mullen Burst). ASTM D - 3786-87.	90
3.4.8.1	Definiciones.	90
3.4.8.2	Muestreo.	90
3.4.8.3	Material y equipo.	91
3.4.8.4	Procedimiento.	94
3.4.8.5	Cálculos.	96
3.4.9	Método de ensayo estándar para determinar la resistencia al punzonamiento usando un pistón de prueba de 50 mm. de diámetro. ASTM D - 6241-99.	97
3.4.9.1	Muestreo.	97
3.4.9.2	Material y equipo.	97
3.4.9.3	Procedimiento.	98
3.4.10	Método estándar para la determinación de la permeabilidad al agua de los geotextiles por medio de la permitividad. ASTM D - 4491-96.	100

3.4.10.1	Definiciones.	101
3.4.10.2	Muestreo.	102
3.4.10.3	Preparación del agua de prueba.	102
3.4.10.4	Preparación de los especímenes.	103
3.4.10.5	Material y equipo.	103
3.4.10.6	Procedimiento ensayo de cabeza constante.	105
3.4.10.7	Procedimiento ensayo de cabeza variable.	108
3.4.10.8	Calculo ensayo cabeza constante.	109
3.4.10.9	Calculo ensayo cabeza variable.	111
3.4.11	Método de ensayo para determinar la tasa de flujo y la transmisividad hidráulica de un geosintético utilizando una cabeza constante. ASTM D - 4716-03.	112
3.4.11.1	Muestreo.	112
3.4.11.2	Material y equipo.	112
3.4.11.3	Procedimiento.	114
3.4.12	Método de ensayo para medir el deterioro de geotextiles a la exposición de luz ultravioleta y agua, (Aparato del tipo Arco Xenón). ASTM D - 4355-02	118
3.4.12.1	Muestreo.	119
3.4.12.2	Material y equipo.	119
3.4.12.3	Preparación de los especímenes.	120
3.4.12.4	Procedimiento.	120
3.4.12.5	Cálculos.	121
3.4.13	Método estándar para determinar la retención de asfalto de geotextiles usados en repavimentaciones asfálticas. ASTM D - 6140-00.	122
3.4.13.1	Muestreo.	123
3.4.13.2	Material y equipo.	123
3.4.13.3	Procedimiento.	124

3.5	Especificaciones de construcción.	126
3.5.1	Separación de suelos de subrasante y capas granulares empleando geotextil tejido o no tejido.	126
3.5.1.1	Descripción.	126
3.5.1.2	Materiales.	126
3.5.1.3	Equipo.	131
3.5.1.4	Procedimiento constructivo.	131
3.5.1.5	Control de calidad.	135
3.5.1.6	Medidas.	136
3.5.1.7	Forma de pago.	136
3.5.2	Refuerzo de estructuras de pavimento con geotextil tejido.	136
3.5.2.1	Descripción.	136
3.5.2.2	Materiales.	137
3.5.2.3	Procedimiento constructivo.	138
3.5.2.4	Control de calidad.	142
3.5.2.5	Medidas.	142
3.5.2.6	Forma de pago.	142
3.5.3	Refuerzo de estructuras de pavimento con geomallas.	143
3.5.3.1	Descripción.	143
3.5.3.2	Materiales.	143
3.5.3.3	Equipo.	145
3.5.3.4	Procedimiento constructivo.	145
3.5.3.5	Control de calidad.	148
3.5.3.6	Medidas.	149
3.5.4	Repavimentación en vías con geotextil no tejido.	150
3.5.4.1	Descripción.	150
3.5.4.2	Materiales.	150
3.5.4.3	Equipo.	151
3.5.4.4	Procedimiento constructivo.	152

3.5.4.5	Control de calidad.	163
3.5.4.6	Medidas.	164
3.5.2.7	Forma de pago.	164
3.5.5	Sistemas de subdrenaje con geodrén.	165
3.5.5.1	Descripción	165
3.5.5.2	Materiales.	165
3.5.5.3	Equipo.	170
3.5.5.4	Procedimiento constructivo.	170
3.5.5.5	Control de calidad.	173
3.5.5.6	Medidas.	174
3.5.5.7	Forma de pago.	175
CAPÍTULO IV: DISEÑO Y APLICACIONES		176
4.1	Metodologías de diseño.	176
4.1.1	Diseño por costos y disponibilidad.	176
4.1.2	Diseño por experiencia o método empírico.	176
4.1.3	Diseño por especificaciones.	177
4.1.4	Diseño por función.	181
4.1.4.1	Factores de reducción para geosintéticos en separación y refuerzo.	184
4.1.4.2	Factores de reducción para geotextiles en aplicaciones de drenaje.	188
4.1.4.3	Factores de reducción para geocompuestos en aplicaciones de drenaje.	191
4.2	Aplicaciones de geosintéticos en vías.	194
4.2.1	Separación y estabilización de subrasantes.	194
4.2.1.1	Introducción.	194
4.2.1.2	Metodología de diseño.	197
4.2.1.2.1	Generalidades.	197

4.2.1.2.2	Resistencia al estallido. (Mullen Burst)	199
4.2.1.2.3	Resistencia a la tensión. (GRAB)	201
4.2.1.2.4	Resistencia al punzonamiento.	203
4.2.1.2.5	Criterio de retención. (TAA)	205
4.2.1.2.6	Criterio de permeabilidad.	207
4.2.1.3	Ejemplo de diseño.	208
4.2.1.4	Ejemplo de relación beneficio-costo.	214
4.2.2	Refuerzo en vías con geomallas biaxiales coextruidas.	222
4.2.2.1	Introducción.	222
4.2.2.2	Metodología de diseño.	223
4.2.2.3	Mecanismos de refuerzo generados por las geomallas.	223
4.2.2.3.1	Confinamiento lateral de la base o subbase.	224
4.2.2.3.2	Mejoramiento de la capacidad portante.	224
4.2.2.3.3	Membrana tensionada.	224
4.2.2.4	Ensayo a escala real de una estructura reforzada con geomallas biaxiales coextruidas.	227
4.2.2.5	Método AASHTO para diseño de pavimentos flexibles reforzados con geomallas biaxiales coextruidas.	232
4.2.2.6	Ejemplo de diseño.	236
4.2.3	Refuerzo de taludes de terraplenes.	240
4.2.3.1	Introducción.	240
4.2.3.2	Beneficios de la utilización de geotextiles en la construcción de taludes de terraplenes reforzados.	243
4.2.3.3	Consideraciones de diseño.	245

4.2.3.4	Procedimiento de diseño.	248
4.2.3.5	Ejemplo de diseño.	259
4.2.4	Sistemas de subdrenaje para vías con geotextil y material granular.	268
4.2.4.1	Generalidades.	268
4.2.4.2	Introducción.	268
4.2.4.3	Metodología de diseño de subdrenes.	271
4.2.4.3.1	Determinación de la ubicación de las líneas de subdrenaje o subdrenes.	271
4.2.4.3.2	Caudal de diseño.	272
4.2.4.3.3	Dimensionamiento de la sección transversal.	275
4.2.4.3.4	Determinación del tipo de geotextil a usar en el filtro.	278
4.2.4.3.5	Calculo hidráulico para la selección del geotextil.	285
4.2.4.4	Ejemplo de diseño.	289
4.2.5	Sistemas de subdrenaje con geodrén para vías.	297
4.2.5.1	Generalidades.	297
4.2.5.2	Introducción.	298
4.2.5.3	Metodología de diseño.	300
4.2.5.3.1	Sitios en donde se requieren captar los fluidos.	300
4.2.5.3.2	Caudal de diseño.	302
4.2.5.3.3	Evaluación del geotextil a usar en el geodrén.	305
4.2.5.3.4	Cálculo hidráulico para la selección del geodrén.	311

4.2.5.3.5	Sistema de evacuación de líquidos captados por el geodrén.	319
4.2.5.4	Ejemplo de diseño.	320
4.2.6	Pavimentación y repavimentación con geotextiles.	327
4.2.6.1	Antecedentes.	327
4.2.6.2	Funciones del geotextil.	329
4.2.6.2.1	Barrera impermeabilizadota.	329
4.2.6.2.2	Membrana amortiguadora de esfuerzos.	331
4.2.6.3	Elección del geotextil.	335
4.2.6.3.1	Requerimientos funcionales.	336
4.2.6.3.2	Requerimientos de instalación.	338
4.2.6.3.3	Requerimientos de supervivencia.	340
4.2.6.4	Otras consideraciones sobre instalación.	341
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		342
5.1	Conclusiones.	342
5.2	Recomendaciones.	346
BIBLIOGRAFÍA		347
ANEXOS		349

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II: MATERIALES GEOSINTÉTICOS	12	
Fig. 1	Función de separación.	17
Fig. 2	Función de refuerzo. El geosintético absorbe y distribuye los esfuerzos cortantes.	17
Fig. 3	Función de drenaje planar. El agua es drenada por el geosintético hacia las obras de drenaje colocadas a lo largo de la vía.	18
Fig. 4	Geotextil.	20
Fig. 5	Geotextil tejido.	22
Fig. 6	Geomalla uniaxial.	24
Fig. 7	Geomalla biaxial.	24
Fig. 8	Geored.	27
Fig. 9	Aplicación de georedes en paso a nivel.	27
Fig. 10	Geomembrana.	28
Fig. 11	Geomembrana de polietileno	29
Fig. 12	Geocelda.	33
Fig. 13	Geocelda permeable.	33
Fig. 14	Geocompuesto con geomalla.	35
Fig. 15	Geocompuesto con geotextil.	35
CAPITULO III: CONTROL DE CALIDAD Y ESPECIFICACIONES	38	
Fig. 16	Puntada de cadena sencilla Tipo 101.	45
Fig. 17	Puntada de cadena doble o cerrada Tipo 401.	45
Fig. 18	Tipos de costura.	45
Fig. 19	Costura en geomallas con pasador.	45
Fig. 20	Incorrecta colocación o reparación.	45
Fig. 21	Aparato medidor de espesores.	67

Fig. 22	Espécimen colocado en aparato medidor durante el ensayo.	68
Fig. 23	Espécimen colocado entre las mordazas de la maquina de ensayo.	71
Fig. 24	Toma de especimenes, sentido longitudinal.	76
Fig. 25	Toma de especimenes, sentido transversal.	76
Fig. 26	Dimensiones de la probeta de geosintético.	77
Fig. 27	Momento de realización del ensayo de resistencia al desgarre.	78
Fig. 28	Tamizador mecánico.	81
Fig. 29	Disposición de los tamices y el geotextil para el ensayo.	82
Fig. 30	Geotextil preparado para ser ensayado.	83
Fig. 31	Barra de acero adaptada a la maquina de ensayo universal.	87
Fig. 32	Espécimen roto debido a la carga.	89
Fig. 33	Maquina de ensayo de diafragma hidráulico Burst.	91
Fig. 34	Colocación del espécimen en la maquina de ensayo Burst.	95
Fig. 35	Espécimen deformándose mientras se infla el diafragma.	96
Fig. 36	Patrón de muestreo.	103
Fig. 37	Dispositivo para el ensayo de permeabilidad.	104
Fig. 38	Rollos de geotextil protegidos en sus empaques.	132
Fig. 39	Procedimiento de colocación del geotextil.	133
Fig. 40	Colocación de material de relleno sobre geotextil.	134
Fig. 41	Geomalla colocada sobre el terreno.	147
Fig. 42	Aplicación de la capa de ligante asfáltico.	157

Fig. 43	Colocación de la capa de repavimentación.	162
Fig. 44	Secuencia de proceso de preparación del terreno y colocación del geodrén.	171
Fig. 45	Colocación del material filtrante y relleno.	172

CAPITULO IV: DISEÑO Y APLICACIONES **176**

Fig. 46	Relaciones relativas de diferentes valores usados en la especificación de los geosintéticos y la literatura de los fabricantes.	179
Fig. 47	Función de separación de capas de suelo con geotextil.	195
Fig. 48	Geotextil de separación-resistencia al estallido.	199
Fig. 49	Geotextil de separación-resistencia a la tensión (GRAB).	201
Fig. 50	Punzonamiento causado por una partícula sobre el geotextil.	204
Fig. 51	Sección transversal de una estructura de pavimento.	209
Fig. 52	Comparación de espesores de estructura con y sin geotextil.	220
Fig. 53	Confinamiento lateral generado por la geomalla en un material granular.	224
Fig. 54	Vista en planta de la sección típica de la vía utilizada en el ensayo.	228
Fig. 55	Vista en corte de la sección típica de la vía de ensayo.	230
Fig. 56	Conformación de capas de la estructura de un pavimento.	236
Fig. 57	Comparación de espesores de pavimento con y sin refuerzo de geomalla.	240

Fig. 58	Reducción del volumen de relleno.	243
Fig. 59	Alternativa para evitar la construcción de muros de contención rígidos.	244
Fig. 60	Obtención de área plana adicional.	244
Fig. 61	Reconstrucción de taludes en deslizamientos.	245
Fig. 62	Esquema del terraplén.	249
Fig. 63	Esquema de superficie de falla.	254
Fig. 64	Esquema de distribución de longitudes del geotextil en el talud.	266
Fig. 65	Suma vectorial de pendientes de una calzada.	271
Fig. 66	Sección transversal del sistema de subdrenes laterales en una vía.	275
Fig. 67	Paso del agua a través del sistema de filtración.	278
Fig. 68	Elementos que conforman el geodrén.	299
Fig. 69	Trayectoria de las líneas de flujo con geodrén para drenaje planar.	301
Fig. 70	Trayectoria de las líneas de flujo.	301
Fig. 71	Exudación de asfalto.	331
Fig. 72	Efecto de reflexión de grietas.	332
Fig. 73	Conformación de la estructura del pavimento con geotextil.	333
Fig. 74	Equipo mecánico adaptado a tractor para la instalación del geotextil.	339

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II: MATERIALES GEOSINTÉTICOS	12	
TABLA 1	Propiedades de geotextiles no tejidos.	21
TABLA 2	Propiedades de geotextiles tejidos.	22
TABLA 3	Propiedades de geomallas para refuerzo.	25
TABLA 4	Propiedades de geomembranas de Policloruro de Vinilo (PVC).	29
TABLA 5	Propiedades de geomembranas de Polietileno de Alta Densidad (HDPE).	30
TABLA 6	Características físicas y mecánicas de las geoceldas.	34
TABLA 7	Requisitos a cumplir por materiales geocompuestos.	37
CAPITULO III: CONTROL DE CALIDAD Y ESPECIFICACIONES	38	
TABLA 8	Lista de chequeo de inspección en campo de geosintéticos.	43
TABLA 9	Requerimientos de resistencia de los geotextiles.	51
TABLA 10	Requerimientos para geotextiles de drenaje subterráneo.	52
TABLA 11	Requerimientos para geotextiles de separación.	52
TABLA 12	Requerimientos para geotextiles de estabilización.	52
TABLA 13	Requerimientos para geotextiles de control permanente de erosión.	53
TABLA 14	Requerimientos para geotextiles de barrera temporal de finos.	53
TABLA 15	Requerimientos para geotextiles en repavimentación.	54

TABLA 16	Número de unidades seleccionadas de acuerdo al número de unidades producidas.	61
TABLA 17	Número de unidades seleccionadas de acuerdo al número de unidades producidas para aseguramiento de calidad.	62
TABLA 18	Viscosidad del agua a diferentes temperaturas.	110
TABLA 19	Requisitos de los geotextiles no tejidos.	127
TABLA 20	Requisitos de los geotextiles tejidos.	127
TABLA 21	Granulometría para Sub-base y Base.	130
TABLA 22	Rango de valores para capas superficiales granulometría y plasticidad.	130
TABLA 23	Requerimientos mecánicos de los geotextiles tejidos.	137
TABLA 24	Requerimientos hidráulicos de los geotextiles tejidos.	138
TABLA 25	Propiedades físicas y mecánicas requeridas para geomalla de refuerzo.	144
TABLA 26	Requisitos de los geotextiles no tejidos.	150
TABLA 27	Cantidad a utilizar de cemento asfáltico vs emulsión asfáltica.	154
TABLA 28	Requisitos mecánicos de los geotextiles no tejidos.	166
TABLA 29	Requisitos hidráulicos de los geotextiles no tejidos.	167
TABLA 30	Propiedades hidráulicas y mecánicas de la geored.	168
TABLA 31	Resistencia a la delaminación de la geored.	168
TABLA 32	Requisitos hidráulicos de las tuberías de drenaje.	169
CAPITULO IV: DISEÑO Y APLICACIONES		176
TABLA 33	Factores de reducción para geotextiles en aplicaciones de separación y refuerzo.	187

TABLA 34	Factores de reducción para geomallas en aplicaciones de refuerzo.	188
TABLA 35	Factores de reducción para geotextiles en aplicaciones de drenaje.	191
TABLA 36	Factores de reducción para geocompuestos en aplicaciones de drenaje.	193
TABLA 37	Valores de $f(\epsilon)$.	202
TABLA 38	Valores de A_p/A_c .	205
TABLA 39	Propiedades Geotextil PAVCO NT 2500.	210
TABLA 40	Coeficientes de capa recomendados por la AASHTO.	216
TABLA 41	Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles (m_x).	217
TABLA 42	Estructura de la vía sin geotextil.	221
TABLA 43	Estructura de la vía con geotextil.	221
TABLA 44	Gradación para terraplenes recomendada por la AASHTO.	250
TABLA 45	Granulometría de material a utilizar en el terraplén.	260
TABLA 46	Resultados de espesores de capa y longitud de geotextil.	265
TABLA 47	Valores recomendados de F_i para subdrenes.	273
TABLA 48	Valores recomendados de F_R para subdrenes.	274
TABLA 49	Especificaciones generales de construcción de carreteras.	284
TABLA 50	Factores de reducción para geotextiles en aplicaciones de drenaje.	289
TABLA 51	Granulometría para material filtrante.	294
TABLA 52	Tabla resumen diseño de subdrén.	296
TABLA 53	Valores recomendados de F_i para geodrenes.	303

TABLA 54	Valores recomendados de F_R para geodrenes.	303
TABLA 55	Factores de reducción para geocompuestos en geodrenes.	315

ÍNDICE DE GRÁFICOS

CAPITULO III: CONTROL DE CALIDAD Y ESPECIFICACIONES	38
Grafico 1 Traslape requerido vs CBR%	133
CAPITULO IV: DISEÑO Y APLICACIONES	176
Grafico 2 CBR vs Número de ciclos en secciones reforzadas y no reforzadas en el fondo de la vía.	231
Grafico 3 LCR vs CBR de la subrasante.	235
Grafico 4 Pendiente vs velocidad según el tamaño del agregado (para agregados de tamaño uniforme).	277
Grafico 5 Nomograma para el cálculo del diámetro de tubería a utilizar.	320

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años la construcción de carreteras ha demandado la utilización de nuevas tecnologías, que proporcionen mejoras en el desempeño estructural del pavimento, que permitan prolongar la vida útil de los mismos, que sean amigables con el ambiente y además resulten rentables económicamente.

La aplicación de los geosintéticos en la ingeniería vial, surge como una alternativa viable ya que cumple con todas las características antes mencionadas, adicionalmente se obtiene con estos otras ventajas entre las que se pueden mencionar: facilidad de colocación, ahorro en los tiempos de ejecución, utilización de mano de obra no calificada para su instalación, etc.

Los geosintéticos son elaborados a partir de materiales poliméricos termoplásticos tales como el polietileno, polipropileno, poliéster y pvc (policloruro de vinilo), también pueden ser utilizadas otros tipos de fibras como la fibra de vidrio y algunas fibras naturales. Los geosintéticos han sido utilizados desde hace varios años en diferentes de obras de ingeniería civil cumpliendo las funciones de refuerzo, filtración, drenaje, separación y barrera de fluidos.

En este documento se realiza una descripción de las diferentes aplicaciones de los geosintéticos en la estructura de los pavimentos y en obras de subdrenaje, con el propósito de brindar una guía para la construcción de obras viales utilizando estos materiales y establecer las bases para futuras investigaciones del uso de los geosintéticos en otras áreas de construcción en el país.

1.2 ANTECEDENTES

Los geosintéticos son productos obtenidos a partir de fibras poliméricas termoplásticas usados en aplicaciones geotécnicas. Se utilizan en pavimentos, vías férreas, instalaciones mineras, lagunas o reservorios, taludes, sitios erosionados, drenes, muros de contención, defensas costeras y fluviales, etc. En todos casos los geosintéticos cumplen las funciones de: separación, refuerzo, filtración, drenaje, protección.

A cada función están asociados requisitos del geotextil que serán mecánicas, hidráulicas y de durabilidad. El concepto de reforzar suelos con diferentes materiales ha permanecido vigente desde los orígenes de los caminos.

Desde hace más de 3000 años se registran antecedentes de la aplicación del concepto de suelo reforzado, que consiste en colocar algún elemento en el suelo para mejorar sus características mecánicas. Para la construcción de las paredes de las torres gigantes, los babilonios usaron ramas de palmera entrelazadas; mientras que para la construcción de la Gran Muralla China (2000 años atrás) la arcilla y la arena eran reforzadas en algunas secciones mediante la utilización de ramas. También en la Armada Británica, en los años 1800, se introdujo otra forma de refuerzo de suelos. En este caso, se demostró con

pruebas empíricas que se podía reducir la presión lateral en un muro de contención si éste era reforzado con capas horizontales de madera o lona.

Hoy día, las geomallas y los geotextiles proveen características controladas, comportamiento uniforme, gran durabilidad, lo que los convierte en materiales ideales para el refuerzo de suelos.

Otro método constructivo anteriormente empleado era la utilización de pieles de animales para separar el suelo blando de la estructura superior, a la vez que mediante capas de arena o grava se lograba un drenaje adecuado para evitar el estancamiento de agua y disminuir la presión intersticial. Los proyectos modernos incluyen geotextiles y/o geocompuestos para facilitar el drenaje y la separación.

A lo largo de la historia, ha sido de interés para la humanidad aumentar la capacidad soporte de los suelos blandos. Uno de los métodos para lograr esto, consiste en confinar lateralmente el material y suministrarle resistencia a tracción. Esto se lograba antiguamente a través de la utilización de ramas trenzadas o colocando troncos en forma perpendicular, siendo hoy día las geoceldas y las geomallas los productos ideales para brindar confinamiento lateral y resistencia a tracción.

En 1926 se dio el primer intento de uso de fibras sintéticas en el refuerzo de una estructura de pavimentación. El propulsor de dicho experimento fue el Departamento de Vías de Carolina del Sur en Estados Unidos. El ensayo consistió en disponer una gruesa capa de algodón sobre la capa de base de un pavimento flexible, para luego verter asfalto caliente sobre la fibra y protegerlo con una delgada capa de arena, los resultados publicados en 1935, demostraron una reducción de las fallas localizadas y el agrietamiento en la estructura y buenas condiciones de servicio antes de que la fibra se deteriorara completamente.

Durante la Guerra del Golfo el Ejército norteamericano, con la finalidad de lograr una rápida movilidad de sus tropas, utilizó geoceldas para confinar la arena del lugar. Con esto se aumentaba su capacidad soporte, lo que hacía posible la creación de caminos de acceso para vehículos pesados con mucha facilidad y velocidad de ejecución.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los geosintéticos se han utilizado desde hace varios años en obras de ingeniería civil como protección de taludes, obras de drenaje, rellenos sanitarios, etc. Sin embargo, en el país, su uso en carreteras ha sido escaso, debido a la falta de información de las aplicaciones de los geosintéticos en esta área. En el medio la mayoría de información con la que se cuenta es proporcionada por los diferentes distribuidores; no se cuenta con una guía técnica en la que se defina los diferentes tipos de geosintéticos, las especificaciones que rigen su uso, como debe llevarse a cabo el proceso constructivo, el control de la calidad que debe tomarse.

El trabajo consistirá en realizar una investigación de las diferentes aplicaciones que pueden tener los geosintéticos en obras viales así como identificar las propiedades adecuadas a las funciones requeridas, con lo que se puede lograr una comparación entre las alternativas de construcción tradicionales y la construcción con el uso de geosintéticos.

1.4 ALCANCES

En esta investigación se llevara a cabo una descripción de las diferentes aplicaciones que tienen los geosintéticos en la construcción de carreteras, enfocándonos en las funciones de separación, estabilización, refuerzo y subdrenaje en los diferentes componentes de la estructura de los pavimentos como la subrasante, la base, la subbase y las carpetas asfálticas.

Existen una gran variedad de productos geosintéticos en el mercado, sin embargo no haremos una distinción de las marcas que se distribuyen en el país, sino más bien se hará un enfoque general en el cual se establezcan las funciones de los diferentes tipos de geosintéticos (geotextil, geomalla, geoceldas, etc.).

1.5 LIMITACIONES

En el país el uso de los geosintéticos en la estructura de los pavimentos es muy escaso, no se cuenta con información que permita mostrar aplicaciones realizadas en el medio.

Para lograr obtener resultados que nos permitan evaluar el desempeño de un pavimento en el cual se haya aplicado algún tipo de material geosintético, se requiere de un estudio a largo plazo; por lo que el tiempo que se tiene para realizar esta investigación no nos permitirá presentar datos que respalden el buen o mal funcionamiento de estos.

1.6 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar la utilización de los geosintéticos en la construcción de carreteras y conocer los diferentes tipos de materiales que existen y los diferentes usos que se pueden aplicar para solucionar los problemas que generalmente se presentan en la construcción de carreteras.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer que son los geosintéticos, su clasificación y la variedad de los productos existentes.
- Determinar las diferentes aplicaciones y propiedades de los geosintéticos en la construcción de carreteras.
- Describir los diferentes ensayos que se realizan a los geosintéticos así como las especificaciones que los rigen para poder llevar a cabo un buen control de calidad.

1.7 JUSTIFICACIÓN

A menudo en la construcción de caminos nos encontramos con problemas tales como suelos de mala calidad, afloramientos o niveles freáticos superficiales que conlleven a suelos saturados, restricciones en cuanto al tamaño de la obra, para los cuales existen soluciones que no son económicamente las más favorables.

El uso de geosintéticos en nuestro medio esta enfocado a obras de estabilización de taludes, subdrenajes y algunas obras especiales como los pasos a nivel y muros estabilizados. Sin embargo poco se conoce acerca de que estos pueden utilizarse en la estructura del pavimento para ayudar a mejorar las propiedades de suelos de baja capacidad de soporte, servir como una separación para evitar la mezcla de las diferentes capas del pavimento mejorando la vida útil de los mismos, o permitirnos la construcción en áreas donde la saturación de los suelos impida la movilización del equipo pesado; proporcionándonos la estabilización necesaria para realizar estos trabajos. Además el uso de geosintéticos nos permite lograr un mejor aprovechamiento de suelos, al poderse construir terraplenes con pendientes mas pronunciadas.

Debido a lo anterior, es necesario contar con una base teórica – técnica acerca de los geosintéticos, donde se de a conocer una alternativa para la solución de los problemas mencionados anteriormente, debido a que en nuestro medio no se cuenta con una investigación que respalde la utilización y el funcionamiento de estos materiales.

CAPÍTULO II

MATERIALES GEOSINTÉTICOS

2.1 DEFINICIÓN DE LOS GEOSINTÉTICOS

Los geosintéticos son productos elaborados a partir de materiales poliméricos termoplásticos mezclados con fibras naturales, las cuales poseen propiedades Físico-Mecánicas e Hidráulicas, que hacen que su utilización sea apropiada en diferentes obras civiles.

Otra definición proporcionada por la ASTM D - 4439-97: Los geosintéticos son productos elaborados a partir de materiales poliméricos usados en suelos, roca, tierra y otros materiales geotécnicos similares, como una parte integral de proyectos de ingeniería civil, estructuras u otras construcciones elaboradas por el hombre.

Los geosintéticos generalmente son identificados por:

1. Polímero componente.
2. Proceso de fabricación.
3. Tipo primario de geosintético.
4. Masa por unidad de área.

5. Cualquier otra información adicional o propiedades físicas necesarias para describir el material en relación a sus aplicaciones específicas.

Así por ejemplo podemos identificar un geosintético como:

- Geotextil no tejido agujeteado de polipropileno de 350 g/cm².
- Geored de polietileno de 440 g/cm² con aberturas de 8 mm.
- Geomalla biaxial de polipropileno extruido con aberturas de 25×25 mm.
- Geomembrana de polietileno de alta densidad de 1.5 mm de espesor.

2.2 COMPONENTES DE LOS GEOSINTÉTICOS

Los geosintéticos poseen dentro de su estructura diferentes elementos dentro de los cuales se encuentran los polímeros y algunas fibras naturales como el algodón, el yute y juncos. Los polímeros más utilizados son el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliéster (PS), el poliuretano (PU) y el policloruro de vinilo (PVC).

2.2.1 POLIETILENO (PE): El polietileno es un material termoplástico blanquecino, de transparente a translúcido, y es frecuentemente fabricado en finas láminas transparentes. Las secciones gruesas son translúcidas y tienen una apariencia de cera. Mediante el uso de colorantes pueden obtenerse una gran variedad de productos coloreados.

Algunas de las propiedades que hacen del polietileno una materia prima tan conveniente para su utilización en los geosintéticos entre otras podemos mencionar, poco peso, flexibilidad, tenacidad, alta resistencia química y propiedades eléctricas sobresalientes.

2.2.2 POLIPROPILENO (PP): El polipropileno es un plástico muy duro y resistente, es opaco y con gran resistencia al calor pues se ablanda a una temperatura más elevada de los 150 °C. Es muy resistente a los golpes aunque tiene poca densidad y se puede doblar muy fácilmente, resistiendo múltiples doblados por lo que es empleado como material de bisagras. También resiste muy bien los productos corrosivos. Es un material inerte, compatible con todo tipo de cementos y aditivos, por lo que se utiliza para armar morteros de cemento y en la construcción de materiales geosintéticos.

Tiene muy buenas propiedades mecánicas, algunas de las propiedades más importantes que podemos mencionar de este material son: que es de muy baja densidad, es más rígido que la mayoría de los termoplásticos, posee una gran capacidad de recuperación elástica, tiene una excelente compatibilidad con el medio, es un material fácil de reciclar, alta resistencia al impacto, buena resistencia superficial, tiene buena dureza superficial y estabilidad dimensional.

2.2.3 POLIÉSTER (PS): El poliéster es uno de los materiales más empleados en el campo de los geotextiles, son las fibras que, junto a las de vidrio, más se utilizan en la arquitectura textil combinadas con una matriz termoplástica, normalmente policloruro de vinilo (PVC).

Las propiedades del poliéster son elevada estabilidad dimensional, insignificante contracción posterior al moldeo, alta resistencia al calor y cambios bruscos de temperatura, elevada resistencia a la fisuración.

2.2.4 POLICLORURO DE VINILO (PVC): Es una resina termoplástica obtenida a partir de la polimerización de dos materias primas naturales, el cloruro de sodio o sal común (NaCl) y gas natural.

Las propiedades del PVC son: una elevada resistencia a la abrasión, baja densidad ($1,4 \text{ g/cm}^3$), buena resistencia mecánica y al impacto, lo que lo hace común e ideal para la edificación y construcción. Es dúctil y tenaz; presenta estabilidad dimensional y resistencia a la mayoría de agentes químicos.

2.2.5 POLIURETANO (PU): Es una resina sintética que se presenta la mayoría de las veces como una espuma rígida y se utiliza mayormente en la fabricación de georedes debido que presenta una alta resistencia a la deformación por compresión mecánica.

El poliuretano se caracteriza por su alta resistencia a la abrasión, al desgaste, al desgarre, al oxígeno, al ozono y a las temperaturas muy bajas.

2.3 FUNCIONES PRINCIPALES DE LOS GEOSINTETICOS

2.3.1 Separación: Se puede usar los geosintéticos (geotextiles), para separar las capas de la estructura de soporte de la vía, con diferentes propiedades y tamaños de agregados (Ver Fig. 1). El paso de los vehículos sobre la capa de rodamiento, causa el movimiento de las partículas de las capas inferiores, como resultado de esto, los finos de la subrasante pueden ser bombeados hacia arriba, dentro de las capas granulares, reduciendo la resistencia y la capacidad de drenaje de esas capas. Además, los geosintéticos pueden reducir la penetración de las partículas granulares dentro de una subrasante blanda, manteniendo de esta manera el espesor y la integridad de las capas granulares, incrementando además la vida de servicio de la vía. Para cumplir con esta función, el geosintético debe ser resistente a los esfuerzos concentrados (tracción y punzonamiento) y tener aberturas compatibles con los tamaños de las partículas del material a ser retenido.

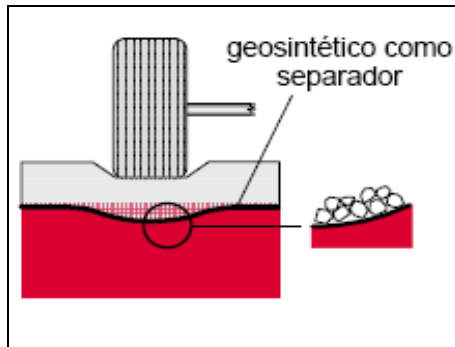


Fig. 1 Función de separación.

2.3.2 Refuerzo: Los geosintéticos (geotextiles, geomallas y geoceldas) instalados sobre subrasantes inestables, pueden eliminar la necesidad de reemplazar estos suelos, incrementando la capacidad de carga del sistema, debido a una mejor distribución de esfuerzos (Ver Fig. 2). Cuando se instalan dentro de las capas de base o subbase, los geosintéticos pueden ayudar a reducir los asentamientos asociados con la dispersión lateral de los materiales de base y subbase. Las características principales que deben considerarse para esta función son la interacción entre geosintético-suelo, resistencia al daño mecánico, módulo de rigidez tensional y resistencia tensional.

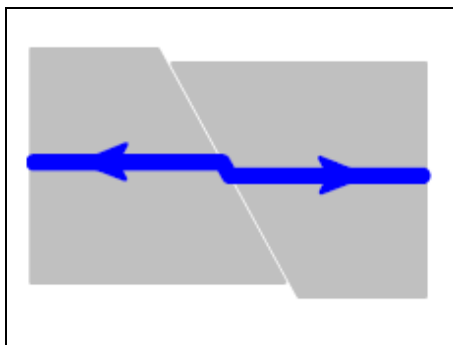


Fig. 2 Función de refuerzo. El geosintético absorbe y distribuye los esfuerzos cortantes.

2.3.3 Filtración: El flujo de agua de la subrasante hacia las capas granulares superiores puede transportar los finos de la misma. Esto puede ocurrir debido al incremento en los niveles de esfuerzos en la subrasante debido al tráfico. En este caso, un geotextil puede actuar como un filtro, permitiendo el paso libre del agua al mismo tiempo que retiene las partículas sólidas de la subrasante. Para cumplir este rol, el geotextil debe tener propiedades de retención y permeabilidad adecuadas y ser resistente a la colmatación (reducción de permeabilidad debido a la acumulación de finos).

2.3.4 Drenaje planar: El buen drenaje es de importancia crítica para evitar el deterioro de la vía debido a la acción de las aguas pluviales que caen sobre la vía o que son bombeadas desde la subrasante hacia las capas de la estructura del pavimento (Ver Fig. 3). Un geocompuesto de drenaje instalado en puntos relevantes en la estructura de la vía puede proveer de drenaje transversal a la vía, previniendo la acumulación de agua. En esta aplicación el geocompuesto debe tener una capacidad adecuada de descarga y ser resistente al daño mecánico.

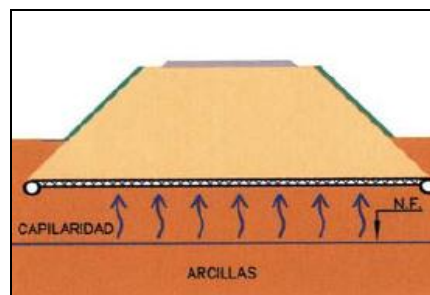


Fig. 3 Función de drenaje planar.
El agua es drenada por el geosintético hacia las obras de drenaje colocadas a lo largo de la vía.

2.3.5 Barrera Impermeable: Los geosintéticos actúan como una barrera impermeable para fluidos entre las capas de los pavimentos y/o encapsulación de suelos expansivos entre otros. Por ejemplo, geomembranas, películas finas de geotextil y geotextiles impregnados con asfalto, elastómeros u otro tipo de mezclas poliméricas son usados como barreras que impiden el flujo de líquidos.

2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS GEOSINTÉTICOS

2.4.1 GEOTEXTILES

Llamamos geotextil al material textil plano, permeable, de apreciable deformabilidad, formado por fibras poliméricas termoplásticas de diversos orígenes, entre las más utilizadas podemos mencionar a las poliolefinas, poliésteres y poliuretanos. Los geotextiles se clasifican en dos grandes grupos: tejidos y no tejidos; los primeros están formados por dos o más conjuntos de hilos, fibras, filamentos u otros elementos entrecruzados perpendicularmente entre sí, formando estructuras bidimensionales; los segundos están constituidos por filamentos repartidos aleatoriamente cuya cohesión, está asegurada por procedimientos mecánicos, térmicos o químicos.

En la mayoría de los casos los geotextiles cumplen con varias funciones, aunque siempre hay alguna de ellas que es la principal. Entre las funciones

hidráulicas están la de filtración y drenaje. Entre las funciones mecánicas se pueden destacar la de separación, la de refuerzo y la de protección.



Fig. 4 Geotextil

2.4.1.1 GEOTEXTIL NO-TEJIDO

Consiste en un geotextil en forma de lámina plana, con fibras, filamentos u otros elementos orientados regular o aleatoriamente, unidos químicamente, mecánicamente o por medio de calor, o por combinación de ellos. Pueden ser de fibra cortada o de filamento continuo. Dependiendo de la técnica empleada en la unión de sus filamentos, pueden ser:

1.- Geotextiles no tejidos, unidos mecánicamente.

La unión es mecánica, y en ella un gran número de agujas provistas de espigas atraviesan la estructura en un movimiento alterno rápido.

2.- Geotextiles no tejidos, unidos térmicamente.

La unión entre los filamentos se consigue por calandrado (acción conjugada de calor y presión).

3.- Geotextiles no tejidos, unidos químicamente.

La unión entre sus filamentos se consigue mediante una resina.

TABLA 1. Propiedades de geotextiles no tejidos

PROPIEDADES/ CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	TIPO					NORMA
		I	II	III	IV	V	
MECÁNICAS							
Resistencia mínima a la tracción en sentido longitudinal Carga distribuida	kN/m	8	10	16	21	31	ASTM D 4595
Alargamiento a rotura en cualquier sentido comprendido entre	%	45 - 55					ASTM D 4595
Resistencia mínima al desgarre trapecoidal en sentido longitudinal	N	220	300	440	540	800	ASTM D 4533
Resist. mínima al punzonado (Pisón CBR)	kN	1,30	2,00	3,10	4,10	6,00	ISO 12236
Resist. mínima al estallido (Mullen Burst)	MPa	1,20	1,70	2,60	3,40	5,00	ASTM D 3786
HIDRÁULICAS							
Abertura de filtración comprendida entre	micrones	250 y 150	230 y 130	190 y 110	160 y 90	130 y 60	ASTM D 4751
Permeabilidad normal mínima	cm/s	0,40					ASTM D 4491
Permeabilidad planar mínima (Presión 20 kPa)	cm/s	0,60					ASTM D 4716
Transmisividad (Presión 20 kPa)	cm ² /s	0,07	0,09	0,12	0,15	0,21	ASTM D 4716
FÍSICAS							
Aspecto: "Las capas deben estar exentas de defectos tales como zonas raleadas, agujeros o acumulación de filamentos".							
Color: "No se admiten materiales cuyos polímeros constituyentes no hayan sido estabilizados contra los rayos ultravioletas (p. ej.: productos blancos o incoloros)."							

2.4.1.2 GEOTEXTIL TEJIDO.

Geotextil fabricado al entrelazar, generalmente en ángulo recto, dos o más conjuntos. Se fabrican con resinas poliméricas biológicas y químicamente inertes, resistentes a las diversas condiciones de los suelos, formando mallas cuyas funciones principales se basan en su capacidad drenante y en su resistencia mecánica a la perforación y tracción. Además de ser empleados en

la preparación y sellado de vertederos, son de aplicación en la construcción de subbases de carreteras, repavimentaciones y líneas férreas, en encauzamientos, canales y presas tiende de igual modo entre distintas evitando erosiones, en conducciones y drenajes como protección, en muros de contención, balsas, canales y túneles como refuerzo y drenaje del terreno, etc.

TABLA 2. Propiedades de geotextiles tejidos.

PROPIEDADES/CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	TIPO					NORMA
		I	II	III	IV	V	
MECÁNICAS							
Resistencia mínima a la tracción en la dirección longitudinal Carga distribuida	kN/m	25	35	55	75	100	ASTM D 4595
Alargamiento a rotura máximo en cualquier sentido	%	25					ASTM D 4595
Resist. mínima al punzonado (Pisón CBR)	kN	3,5	4,5	4,5	4,5	4,5	ASTM - D 6241- 99.
HIDRÁULICAS							
Abertura de filtración máxima	micrones	300	300	300	300	300	ASTM D 4751
Permeabilidad mínima para un gradiente de 0,10 m	litros/m ² /seg	10					ASTM D 4491
DURABILIDAD							
Resistencia mínima a la degradación	Pérdida inferior al 50% de la resistencia a la tracción inicial luego de una exposición de 3.400 hs						ASTM D - 4355 - 92.



Fig. 5 Geotextil tejido

2.4.2 GEOMALLAS.

Las geomallas son mallas de material polimérico con espacios abiertos (dimensionados para ser compatibles con la granulometría del relleno) llamados “aperturas”, los cuales están delimitados por “costillas”.

Las funciones principales que cumple son de refuerzo y estabilización, se puede usar para trabajos de refuerzo de terraplenes pudiendo así diseñarse taludes más verticales, y para incremento de la capacidad de soporte de bases y subbases de carreteras. También se utilizan en fundaciones, en diques, gaviones, obras marinas y otros.

Las características de las geomallas varían mucho según su composición química, tecnología de fabricación y según las diferentes patentes existentes en el mercado. Así, se pueden encontrar geomallas de diferentes materiales y formas, con diferentes tecnologías de unión en las juntas, con distintas aperturas de malla, con distintos espesores. Todas estas variaciones, obviamente, dan como resultado diferentes propiedades mecánicas y diferentes comportamientos, lo que deberá tenerse en cuenta a la hora de seleccionar la malla más adecuada para una aplicación determinada.

Independientemente de la patente, existen dos tipos básicos de geomallas: las uniaxiales y las biaxiales. Las primeras son producidas a base de polietileno de alta densidad en un proceso de extrusión siguiendo un estiramiento en un solo

sentido; poseen toda su capacidad alineada en una única dirección, con juntas transversales, y se utilizan en aplicaciones donde se conoce a ciencia cierta la dirección de aplicación de la carga (por ejemplo en el refuerzo de taludes o muros). Las segundas poseen capacidad dos direcciones, aproximadamente perpendiculares entre sí, y se utilizan para refuerzos con carga de dirección variable (fundaciones, caminos, plataformas).

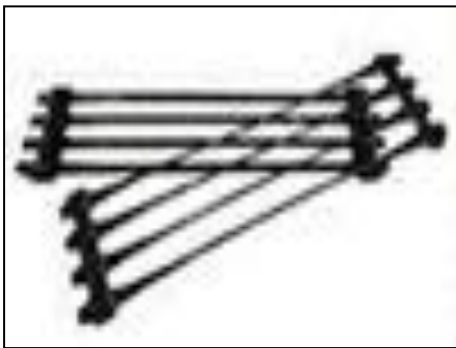


Fig. 6 Geomalla Uniaxial



Fig. 7 Geomalla Biaxial

Por otro lado, dentro de las geomallas biaxiales, pueden diferenciarse otros dos grupos: las geomallas rígidas y las geomallas flexibles. Las geomallas rígidas son aquellas fabricadas en polipropileno, químicamente inerte y con características de uniformidad y homogeneidad, producidas en un proceso de extrusión siguiendo un estiramiento longitudinal y transversal, con juntas integrales conformando un sistema monolítico. Las segundas son fabricadas generalmente con fibras de poliéster unidas en los puntos de encuentro mediante diferentes métodos de tejido con un revestimiento de PVC por lo general.

2.4.2.1 PROPIEDADES DE LAS GEOMALLAS

- a. Gran fortaleza en las uniones, para garantizar la transferencia de cargas a lo largo y lo ancho de la malla.
- b. Estructura de malla abierta. Para interactuar con materiales de relleno y formar así un material compuesto con una capacidad de carga mucho mayor.
- c. Rigidez torsional, para simplificar la instalación y ofrecer resistencia a la deformación una vez instalada.
- d. Modulo de alta resistencia a la tracción para resistir las cargas dinámicas.
- e. Durabilidad para sobrevivir a los esfuerzos de la instalación y resistir la degradación una vez instalada.

TABLA 3. Propiedades de geomallas para refuerzo

PROPIEDADES/CARACTERÍSTICAS	NORMA	UNID.	TIPO				
			I	II	III	IV	V
PROPIEDADES MECÁNICAS							
Resistencia mínima a la tracción inicial en la dirección longitudinal	ASTM D4595	kN/m	15	30	40	70	100
Resistencia mínima a la tracción inicial en la dirección transversal		kN/m	5	15	25	20	20
Deformación máxima a rotura (longitudinal)		%	16				
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS							
Abertura de malla		mm	≥ 20 ≤ 35				

2.4.3 GEOREDES

Las georedes están compuestas por una estructura de dos y tres dimensiones de capas y filamentos paralelos entretreídos que crean canales de gran capacidad de flujo y drenaje. Se construyen por extrusión de Polietileno de Alta Densidad (High-Density Polyethylene, HDPE) y son resistentes a agentes químicos y biológicos que normalmente presentan el suelo y los desechos. También se utilizan para resistir la degradación de rayos ultravioleta (UV).

Las georedes biplanares incorporan 2 nervaduras superpuestas en ángulo respecto a la dirección del flujo de los líquidos. Estas uniones se dirigen en la dirección del flujo.

Por todo ello, se ha desarrollado estructuras tridimensionales con elementos verticales rígidos. Sus nervaduras aumentan significativamente la capacidad de tensión y resistencia a la compresión de la geored. Estas nervaduras están también soportadas por estructuras planas que reducen la intrusión y pérdida de flujo de la sección de drenaje. El conjunto permite obtener altos índices de flujo en la vida útil de la estructura, y no solo por algunas horas. En la geored biplanar, por tanto, el flujo es igual en todas las direcciones mientras que en el triplanar es mucho mayor.

Las georedes sustituyen a los materiales naturales como arena y grava, y resuelven gran parte de los problemas asociados a los materiales naturales. De hecho, el uso de materiales naturales crea limitaciones de construcción y calidad tales como: estabilidad de taludes laterales, daños a las geomembranas y consistencia en la calidad y los espesores de los rellenos.



Fig. 8 Geored.



Fig. 9 Aplicación de georedes en paso a nivel

2.4.4 GEOMEMBRANAS

Son láminas de impermeabilización, cuya función principal es evitar el paso de agua y que se emplean en sistemas de impermeabilización tales como: túneles, vertederos, depósitos, almacenamiento de agua ó cubiertas planas de edificación.

Están fabricadas por diferentes tipos de resinas: caucho sintético, polipropileno, clorosulfonado, cloruro de polivinilo, polietileno de alta, media y de baja densidad.



Fig. 10 Geomembrana.

La aplicación principal de las geomembranas es la impermeabilización en obras civiles, geotécnicas y ambientales en trabajos de manejo de desechos sólidos, rellenos sanitarios, lagunas de oxidación, minería, riego, acuicultura, agricultura, proyectos hidráulicos, canales de conducción, almacenamiento, lagunas de tratamiento de desechos de crudo, etc.

2.4.4.1 TIPOS DE GEOMEMBRANAS

- **GEOMEMBRANAS DE PVC** (Cloruro de Polivinilo): Son láminas impermeables fabricadas con resinas de PVC utilizando tecnologías que garantizan la calidad y uniformidad de la membrana.
- **GEOMEMBRANAS DE POLIETILENO:** Son láminas impermeables fabricadas a partir de resinas poliméricas formuladas para determinados usos cuya principal característica es una baja permeabilidad, flexibilidad y una alta resistencia, y su aplicación es la contención de líquidos. Son a

prueba de rayos UV lo que le confiere una alta durabilidad y resistencia a la intemperie. También son resistentes a álcalis y ácidos así como termosellables.

TABLA 4. Propiedades de Geomembranas de Policloruro de Vinilo (PVC).

PROPIEDADES/CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	TIPO					NORMA
		I	II	III	IV	VI	
Espesor nominal	mm	0,4	0,8	1,0	1,2	1,4	ASTM D 1593
Material	-	Policloruro de Vinilo					-
Resistencia mínima a la tracción	MPa	10					IRAM 12630
Elongación mínima a la rotura	%	200					ASTM D 638
Resistencia mínima al desgarre	daN/cm	3					ASTM D 1004
Doblado a baja temperatura (-20°C)	---	No quiebra					IRAM 12630
Estabilidad dimensional máxima	%	5					IRAM 12630



Fig. 11 Geomembrana de polietileno

- **Polietileno de Alta Densidad (HDPE):** El HDPE es el producto más usado para el revestimiento en depósitos de desechos sólidos de minas, rellenos y otras aplicaciones de contención de líquidos (es el indicado

para proyectos donde el requerimiento de permeabilidad sea bajo y la resistencia a los rayos UV y químicos sea excepcionalmente alto).

TABLA 5. Propiedades de Geomembranas de Polietileno de Alta Densidad (HDPE).

PROPIEDADES/CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	TIPO				NORMA
		I	II	III	IV	
Material	----	Polietileno de alta densidad (PEAD)				----
Espesor nominal	mm	0,8	1,0	1,5	2,0	ASTM D 5199
Densidad mínima	g/cm ³	0,940				ASTM D 1505
Contenido mínimo de negro de humo	%	2				ASTM D 1603
Resistencia mínima a la rotura	N/mm ²	30				ASTM D 638
Elongación mínima a la rotura	%	650				ASTM D 638
Resistencia mínima a la fluencia	N/mm ²	15				ASTM D 638
Elongación mínima a la fluencia	%	7				ASTM D 638
Resistencia mínima al desgarre	N	100	125	180	240	ASTM D 1004
Resistencia mínima al punzonado	N	250	300	450	600	ASTM D 4833

- **Polietileno de Baja Densidad (LDPE):** Las excelentes propiedades de elongación del polietileno de baja densidad, le permiten a la geomembrana un flexible acomodamiento a las superficies irregulares del terreno lo cual evita el punzonamiento en el material.
- **Polietileno Coextruido (VFPE):** mejora la resistencia a las fuerzas de punzonamiento de la superficie del terreno. Se compone de una capa de polietileno de baja densidad extruida entre dos capas de HDPE, obteniendo como resultado excelentes características de elongación,

acomodándose a las irregularidades del terreno o a los agregados puestos sobre él.

- **GEOMEMBRANA DE POLIPROPILENO (PP):** Los revestimientos de polipropileno reforzados con tela son livianos, lo que le permite gran flexibilidad para la fabricación de paneles de gran tamaño. Presentan una excelente estabilidad dimensional y características óptimas para su instalación en superficies planas, así como gran resistencia a las bajas temperaturas y a las rajaduras provocadas por condiciones ambientales. Son ideales para contener hidrocarburos.
- **GEOMEMBRANA DE POLIURETANO (PU):** Consiste en una capa de uretano cubierta de material poliéster, haciéndola extremadamente flexible y resistente a la penetración.

Diseñadas especialmente para contención secundaria de combustibles tales como combustibles diesel, combustibles de avión, y gasolinas que contengan un máximo de 40% de volátiles. Ofrece asimismo excelentes características para la contención de amplias áreas principalmente las de contención bajo tierra, además de ofrecer resistencia a una amplia gama de químicos y combustibles.

2.4.5 GEOCELDAS

Un material ideal para utilizar en aplicaciones de ingeniería civil ha de ser aquél que proporcione una buena compactación y que permita el drenaje del agua con libertad. Con frecuencia nos encontramos que los terrenos con una buena capacidad de drenaje son difíciles de confinar in situ. La geocelda proporciona la solución para conseguir un confinamiento del terreno o de materiales granulares, con un buen drenaje.

Aunque el confinamiento de materiales de tierra cuenta con numerosos beneficios, no siempre resulta fácil o barato conseguirlo. El US Army Corps of Engineers (El Cuerpo de Ingenieros del Ejército Estadounidense, USACE) experimentó con diferentes métodos que se podrían utilizar para realizar un confinamiento de la arena durante un Asalto Anfibio. La solución que planteaban era un producto en el cual se sueldan tiras de plástico de forma que, cuando se produce una dilatación, las tiras soldadas forman un panel rectangular compuesto de celdas individuales similares a un panal de abeja. Hoy en día, ingenieros civiles de todo el mundo emplean este mismo concepto para conseguir confinamiento del material in situ. El nombre genérico de este producto desarrollado en el USACE es la geocelda.

En situaciones donde la pendiente del talud es tan pronunciada que no resulte factible colocar los paneles de geoceldas sobre la superficie del talud, se puede

retener el terreno mediante una estructura de contención construida con el sistema de confinamiento celular.

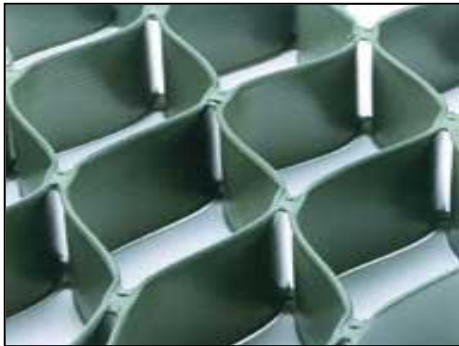


Fig. 12 Geocelda.



Fig. 13 Geocelda permeable.

En la mayoría de las ocasiones el material de relleno será el propio del lugar. Una ventaja adicional de este tipo de construcción es que las celdas exteriores pueden rellenarse con tierra vegetal, lo que va a proporcionar a la pared exterior del muro un aspecto agradable, reduciéndose asimismo el flujo de agua en la cara exterior.

Un muro de contención celular se utiliza en situaciones tanto de relleno como de recorte. Las geoceldas no sólo retienen el terreno en su sitio, sino que además proporcionan el drenaje de toda la estructura.

TABLA 6. Características físicas y mecánicas de las geoceldas.

PROPIEDADES/CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	VALOR
Altura de celdas	cm	7,5 á 20
Superficie de la celda comprendida entre	cm ²	280 á 300
Densidad media del polímero comprendida entre: (ASTM D 5199)	g/cm ³	0.935 á 0,965
Espesor de pared de celdas	mm	≥ 1,20
Cantidad de depresiones por cm ² de pared (texturizado)	Nº/cm ²	≥ 22
Profundidad de las depresiones (texturizado)	mm	≥ 0,40
Diámetro de las perforaciones de la pared	mm	10 ± 3%
Distancia entre filas consecutivas de perforaciones	mm	≤ 13
Distancia horizontal entre perforaciones consecutivas de una misma fila	mm	≤ 20
Distancia del centro de la perforación más cercana al borde de celda	mm	≥ 7
Distancia del centro de la perforación más cercana a la soldadura	mm	≥ 17
Área de pared perforada	%	≥ 21
Resistencia a la tracción de la soldadura por mm de altura de celda.	N/mm	≥ 14

Las uniones de una geoceldas deben soportar 140 N por centímetro de espesor de la geocelda según lo estipulado en el Informe Técnico del U.S. Army Corps of Engineers (Cuerpo de Ingenieros del Ejército Estadounidense).

- Una soldadura de 102 mm soporta:
- Una carga de 72,5 kg durante un mínimo de 30 días
- Una carga de 72,5 kg durante un mínimo de 7 días mientras experimenta un cambio de temperatura de 23° C a 54° C en un ciclo de 1 hora de duración.

2.4.6 GEOCOMPUESTOS

2.4.6.1 GEOCOMPUESTOS DRENANTES.

Están formados por una geored que es un material formado por dos hilos superpuestos de polietileno de alta densidad (HDPE) que forman canales con alta capacidad de evacuación de agua, incluso cuando se colocan horizontalmente y se someten a grandes cargas y por uno o dos geotextiles no tejidos (según la aplicación), que actúan como elementos separadores, protectores, filtrantes y anticontaminantes de finos.

Los geotextiles son normalmente de polipropileno (PP), aunque también pueden ser de poliéster (PS). Además existen geocompuestos que llevan incorporada una geomembrana, con lo que la función impermeabilizante se suma a las anteriores.

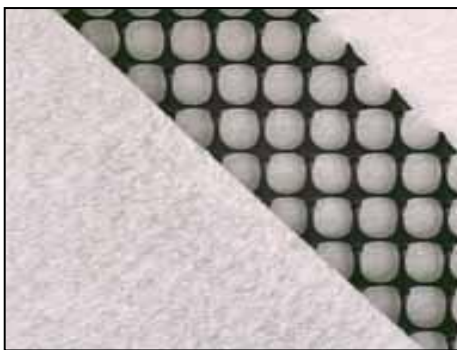


Fig. 14 Geocompuesto con geomalla.

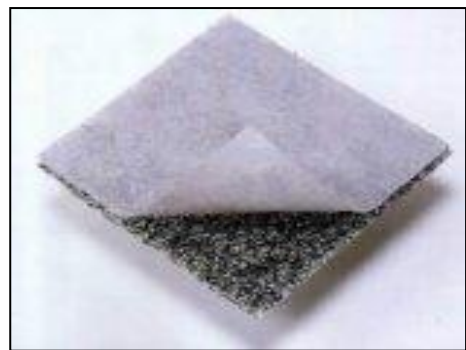


Fig. 15 Geocompuesto con geotextil.

2.4.6.2. PROPIEDADES DE LOS GEOCOMPUESTOS

- a. Son productos muy robustos, con resistencias al aplastamiento superiores a los 1,000 kPa (equivalentes a unos 50 m de tierra).
- b. La pérdida de espesor al aumentar la presión es mínima, lo cual garantiza una elevada capacidad drenante bajo cualquier carga. En el mercado existen geocompuestos con capacidades drenantes superiores a los $8 \frac{l}{m \times s}$ a 500 kPa y gradiente hidráulico unidad.
- c. Tienen un comportamiento excelente a largo plazo ya que la fluencia del material, o reducción del espesor a carga constante con el tiempo, es mínima. La diferencia entre los espesores de las georedes sometidas a 200 kPa y los mismos espesores medidos 1,000 horas es inferior al 3 %.
- d. Elevada resistencia a la tracción, muy superior a las tracciones que recibirá durante la instalación.
- e. Son duraderos puesto que el HDPE y el PP son materiales químicamente inertes, imputrescibles, insensibles a los agentes atmosféricos y a las aguas salobres y resistentes a la oxidación y a los microorganismos. Además estos materiales no producen efectos negativos al medio ambiente.

- f. Son productos ligeros y flexibles que se adaptan a las pequeñas irregularidades del terreno.
- g. Tienen espesores reducidos, por lo que son fáciles de transportar y almacenar. (Un camión trailer puede almacenar unos 10,000 m² de material, si se requiere drenar la misma superficie con grava, se necesitarían entre 30 y 60 camiones, dependiendo del espesor de la capa drenante).

TABLA 7. Requisitos a cumplir por materiales geocompuestos.

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	REQUERIMIENTO(1)		NORMA
		NORMAL	ELEVADO	
PROPIEDADES DEL DREN				
Capacidad de drenaje. Gradiente hidráulico $i = 1$ y carga de confinamiento = 100 kPa	litros/seg/m de ancho	2,90	6,00	ASTM D 4716
PROPIEDADES DEL NÚCLEO				
Espesor mínimo	mm	7	15	-
Resistencia mínima a la compresión	kPa	320	500	ASTM D1621
PROPIEDADES DEL FILTRO GEOTEXTIL				
Abertura de filtración máxima	micrones	150		ASTM D 4751
Permeabilidad normal mínima	cm/s	2×10^{-1}		ASTM D 4491

1. Los niveles normal y elevado se definen de acuerdo a los requerimientos necesarios de drenaje de la obra.

CAPITULO III

CONTROL DE CALIDAD Y ESPECIFICACIONES

3.1 INTRODUCCIÓN.

Para justificar el uso de un geosintético en determinada función, deben realizarse una serie de ensayos de laboratorio, que ayuden a predecir el comportamiento de las estructuras reales en las que se va a utilizar.

Existen diferentes normativas dependiendo del país donde estas se apliquen, en esta investigación se hace referencia a las normas dadas por la Asociación Americana de Pruebas y Materiales (ASTM por sus siglas en ingles), organización fundada en 1,898, que ofrece un foro mundial para el desarrollo y publicación de estándares para materiales, productos, sistemas y servicios.

Existen normas de ensayo para determinar la calidad de un material y especificaciones donde se detallan los valores de las propiedades que deben poseer los geosintéticos para ser utilizados en una aplicación particular.

Se hará una descripción de los ensayos de laboratorio donde se obtienen los valores de las propiedades mecánicas e hidráulicas más importantes para el uso de los geosintéticos. Se explicará el concepto fundamental del ensayo, equipo utilizado y el procedimiento, con el fin de entender la importancia que

tiene el adecuado control de calidad en las diferentes aplicaciones de los geosintéticos. Este control de calidad deberá aplicarse al momento de la fabricación del geosintético así como también a la hora de la recepción de un lote a utilizar en determinado proyecto.

Como complemento a los ensayos de laboratorio, y en la búsqueda de una correcta utilización de los geosintéticos en obras viales se enumeran en este capítulo algunas especificaciones para la instalación de los mismos; sin embargo dichas especificaciones pueden ser modificadas de acuerdo a las condiciones particulares de cada proyecto.

3.2 CONTROL DE CALIDAD.

3.2.1 DEFINICIONES

3.2.1.1 Control de calidad. El conjunto y uso de técnicas operacionales y actividades que sustenten la calidad de un material, producto, sistema o servicio que satisfaga unas necesidades dadas

3.2.1.2 Aseguramiento de la calidad. Todas aquellas actividades planeadas o sistemáticas necesarias para ofrecer una confiabilidad adecuada de un material, producto, sistema o servicio, que satisfaga unas necesidades dadas.

3.2.2 CONTROL EN CAMPO

Problemas con la aplicación de los geosintéticos a menudo son atribuidos al pobre monitoreo de los métodos de instalación de parte del constructor. Una lista de chequeo (“checklist”) para el personal de campo responsable de observar la instalación de un geosintético se presenta en la TABLA 8.

Durante la ejecución de los trabajos, el supervisor deberá llevar a cabo los siguientes controles:

- Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo (ej. Compactadoras, motoniveladoras, finisher, etc.) empleado por el constructor.
- Verificar que el terreno se prepare adecuadamente y que se cumplan las dimensiones de la rasante de diseño señaladas en los planos o las ordenadas por el supervisor antes de autorizar la colocación del geotextil.
- Verificar que el material de relleno cumpla las especificaciones del diseño durante el período de ejecución de la obra.
- Supervisar la correcta aplicación del método aceptado, en cuanto a la preparación del terreno, la colocación del geotextil y la colocación de la capa de relleno.

- Comprobar que los materiales a utilizar cumplan con los requisitos exigidos por la respectiva especificación.
- Comprobar que durante el transporte y el almacenamiento, el geotextil tengan los empaques que los protejan de la acción de los rayos ultravioleta, agua, barro, polvo, y otros materiales que puedan afectar sus propiedades.
- Medir, para efectos de pago, las cantidades de obra ejecutadas a satisfacción.

3.2.2.1 COSTURAS EN CAMPO.

Algunas formas de costuras de geosintéticos son utilizadas en algunas aplicaciones que requieren la continuidad entre rollos adyacentes. Las técnicas de costuras incluye traslapar, coser, engrapar, amarrar, termo sellar, pegar y soldar. Algunas de estas técnicas son más convenientes para ciertos tipos de geosintéticos que otras. Por ejemplo los más eficientes y adecuados métodos usados para geotextiles son traslapar y coser, y estas técnicas las discutiremos primero.

La primer técnica, el traslape simple, será mas adecuada para proyectos en que se utilicen geotextiles y geomallas biaxiales. El traslape mínimo es de 30 cm. Traslapes mayores son requeridos para aplicaciones específicas. Si la transferencia de esfuerzo no es requerida entre rollos adyacentes, la única

fuerza provista por un traslape es la fricción entre capas adyacentes de geotextiles, y por la fricción del relleno que pasa por las sustanciales aberturas de geomallas biaxiales. A menos que grandes presiones sobrecarguen el área, los traslapes son sustanciales y grandes y muy poco esfuerzo será transferido por el traslape.

La segunda técnica, coser, ofrece una alternativa práctica y económica cuando los traslapes se vuelven excesivos o la transferencia de esfuerzo es requerida entre dos rollos adyacentes de tela. Para condiciones y proyectos típicos, coser es generalmente más económico cuando traslapes de 1 metro o mas es requerido. Para obtener buena calidad, costuras efectivas, el usuario deberá estar conciente de las siguientes variables de costuras.

- **Tipo de hilo:** Fibras Kevlar, aramida, polietileno, Poliéster o polipropileno (en aproximado orden decreciente de esfuerzo y costo). La durabilidad del hilo deberá ser acorde con los requerimientos del proyecto. No se permiten hilos elaborados a partir de fibras naturales; cuando sean hilos compuestos por fibras sintéticas y fibras naturales no se permiten los que tengan 10% o más en peso de fibras naturales. Tampoco se permiten costuras elaboradas con alambres.

TABLA 8. Lista de chequeo de inspección en campo de geosintéticos.

1. Lea las especificaciones; determine si el geosintético esta especificado por
 - a) Propiedades específicas o
 - b) Una lista de productos aprobados.
2. Revisar los planos de construcción.
3. (a) Para especificaciones por propiedades específicas, revisar/comprobar el listado de propiedades del material geosintético suministrado, de la literatura publicada, contra los valores de las propiedades específicas especificadas. o (b) Obtener el/los nombre/es, tipo y estilo, con una pequeña muestra/as de material aprobado por el ingeniero de diseño. Revise el tipo y estilo de geosintético suministrado sea conforme con el material aprobado. Si el geosintético no esta enlistado, contactar con el diseñador con una descripción del material y solicite una evaluación de aceptación y rechazo.
4. En campo, revise los rollos de geosintéticos para ver que estos son apropiadamente almacenados, revise por cualquier daño.
5. Revisar los rollos y números de lotes para asegurarse que corresponden con los documentos de certificación.
6. Corte 2 muestras de 100 a 150 mm² de un rollo. Engrape uno a su copia de las especificaciones para comparar con futuros envíos y enviar uno al ingeniero diseñador para aprobación o información.
7. Observe los materiales en cada rollo para asegurarse que son iguales. Observe los rollos por defectos e imperfecciones.
8. Obtener muestras de ensayo de acuerdo a los requerimientos de la especificación de rollos seleccionados aleatoriamente. Marque la dirección de la maquina en cada muestra y anote el numero de rollo.
9. Observe la construcción para ver que el constructor cumple con las especificaciones requeridas para la instalación.
10. Revise todas las costuras, de fábrica y de campo por algún defecto (por ejemplo: puntadas perdidas en el geotextil). Si es necesario, recoser o rechazar el material.
11. Si es posible, revise el geosintético después de la colocación de agregado o el riprap (riprap: material granular de escombros), por posibles daños. Esto podría hacerse ya sea por un ensayo de instalación o por la remoción de una pequeña sección de agregado o riprap y observando el geosintético después de la colocación y compactación de el agregado al inicio del proyecto. Si han ocurrido perforaciones, rasgaduras u otro daño, contactar con el ingeniero diseñador.
12. Revisar futuros envíos contra el envío inicial aprobado y tomar muestras de ensayo adicionales. Tomar muestras de costuras, ambas de fábrica y en campo, para ensayo. Para las costuras en campo, el contratista tiene que coser varios metros de prueba de costura para ensayo y evaluación.

- **Tensión del hilo:** Debe ajustarse en campo de tal forma que no corte el geotextil, pero que sea suficiente para asegurar una unión permanente entre las superficies a coser. Si se hace la costura a mano, deberán tenerse los cuidados necesarios para que al pasar el hilo, el rozamiento no “funda” las fibras del geotextil.

- **Densidad de la puntada:** Típicamente 200 a 400 puntadas por metro son usados para geotextiles de peso ligeros, mientras los geotextiles más pesados permiten solamente 150 a 200 puntadas por metro.

- **Tipo de puntada:** Puntada de cadena sencilla - o doble - hilo, tipo 101 ó 401; con doble hilo la puntada de cadena es preferible porque esta es la que menos se enreda. (Ver Fig. 16 y 17).

- **Numero de filas:** Usualmente dos o más filas paralelas son preferidas para incrementar la seguridad.

- **Tipo de costura:** Costura tipo Flat, costura tipo J - o doble J -, o costura de mariposa son las más ampliamente utilizadas. (Ver Fig. 18 y 19).

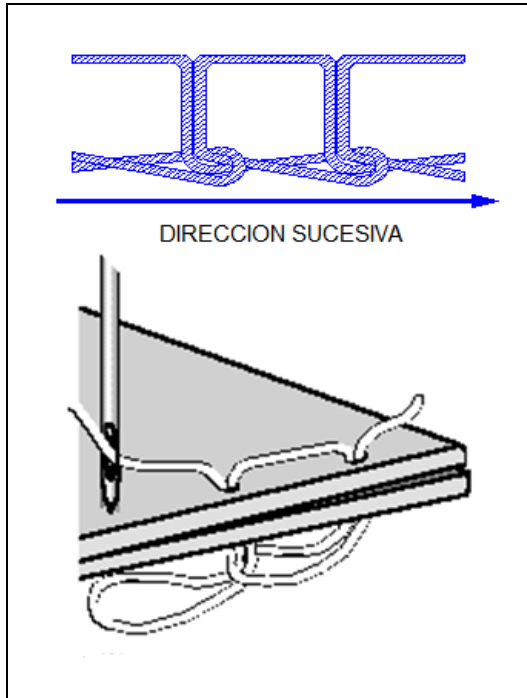


Fig. 16 Puntada de cadena sencilla Tipo 101.

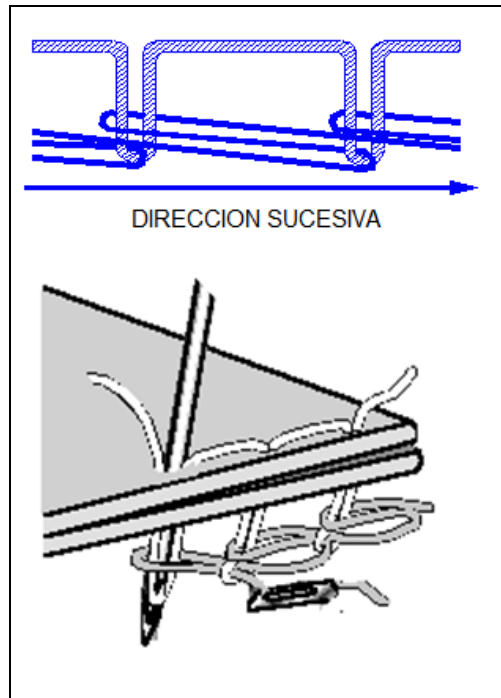


Fig. 17 Puntada de cadena doble o cerrada Tipo 401.

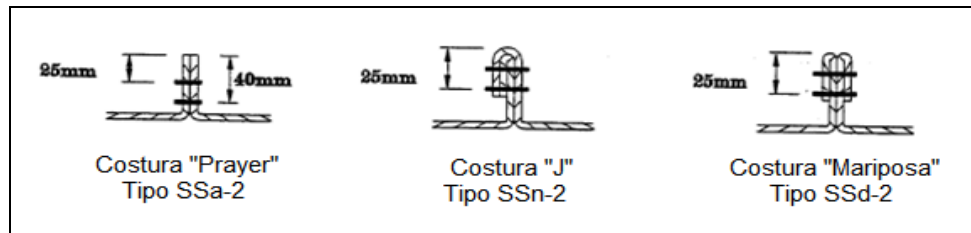


Fig. 18 Tipos de costura

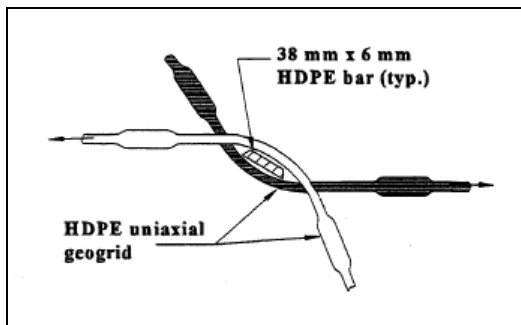


Fig. 19 Costura en geomallas con pasador

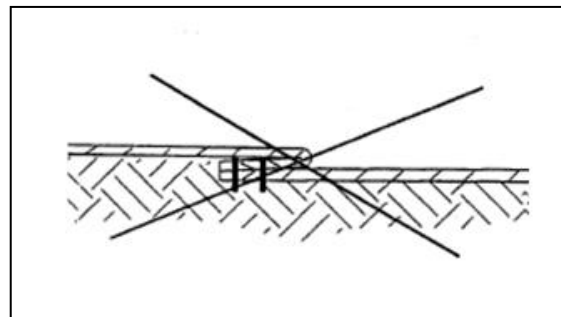


Fig. 20 Incorrecta colocación o reparación

3.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

Las especificaciones técnicas comprenden los requisitos, condiciones y normas técnicas que deben cumplir los contratistas durante la ejecución de las obras, y al mismo tiempo permitir a los supervisores controlar la calidad y correcta ejecución de las mismas.

La especificación deberá estar basada en las propiedades específicas requeridas para diseño e instalación. Los geosintéticos estándar podrían resultar en diseños poco económicos e inseguros. Para especificar un tipo particular de geosintético o su equivalente puede ser muy engañoso. Como resultado el constructor podría seleccionar un producto con propiedades completamente diferentes a las propuestas por el diseñador. Una guía de especificaciones es dada para la aplicación particular.

En las especificaciones se detallan valores de las propiedades que deben poseer los geosintéticos en aplicaciones particulares, por lo tanto previo a la aceptación del material y para comprobar que este cumple con la especificación deberán realizarse los siguientes ensayos:

- Relación peso/área. ASTM D - 5261- 92 (Ver 3.4.2)
- Espesor nominal. ASTM D - 5199-92. (Ver 3.4.3)
- Resistencia a la tensión y al alargamiento. ASTM D - 4632-91. (Ver 3.4.4)

- Resistencia al desgarre trapezoidal. ASTM D - 4533-91. (Ver 3.4.5)
- Tamaño de abertura aparente. ASTM D - 4751-95. (Ver 3.4.6)
- Resistencia al punzonamiento. ASTM D - 4833-96. (Ver 3.4.7)
- Resistencia al estallido (método del diafragma hidráulico - Mullen Burst). ASTM - 3786-87. (Ver 3.4.8)
- Determinación del coeficiente de permeabilidad. ASTM D - 4491-96. (Ver 3.4.10)

Los límites por cumplir en cada una de estas pruebas dependerán del uso previsto del geotextil y estarán definidos en las respectivas especificaciones (Ver TABLAS 9 a 15) o en los planos del proyecto.

Todas las especificaciones deben incluir:

- Requerimientos generales.
- Propiedades específicas del geosintético.
- Requerimientos de costuras y traslapes.
- Procedimientos de colocación.
- Reparación, y
- Criterios de aceptación y rechazo.

Requerimientos generales: Incluye los tipos de geotextiles, materiales poliméricos aceptables, y comentarios relacionados a la estabilidad del material.

Fabricantes de geosintéticos y representantes son buenas fuentes de información sobre estas características. Otros elementos que podrían especificarse en esta sección son instrucciones tanto de almacenamiento y manejo del producto para protegerlo de los rayos ultravioleta, polvo, fango o cualquier otro elemento que pueda afectar el desempeño/funcionamiento.

Propiedades físicas, índices y de desempeño/funcionamiento específicas de los geosintéticos: Deberá estar listado como es requerido por el diseño. Las propiedades deberán ser dadas en los términos de mínimos o máximos, VMPR (Valor Mínimo Promedio por Rollo) con el método requerido de ensayo. El valor promedio es simplemente el mas pequeño (o mas grande) valor promedio anticipado que debería ser obtenido por cualquier rollo ensayado. Este valor promedio de las propiedades deberá exceder el mínimo (o ser mas pequeño que el máximo) valor especificado para aquella propiedad particular basada en la prueba. Ordinariamente es posible obtener una certificación de VMPR del fabricante.

Si los ensayos de desempeño han sido conducidos por parte del diseñador, un listado de productos aprobados puede ser entregado. Las listas aprobadas pueden ser elaboradas basadas en la experiencia con condiciones de aplicación recurrente. Una vez aprobada la lista será establecida, nuevos geosintéticos pueden ser añadidos si éstos han sido aprobados. Muestras del

fabricante deben ser periódicamente obtenidas y deben ser examinados de la misma forma que los especímenes originales para verificar si el proceso de fabricación ha cambiado desde que el producto fue aprobado.

Requerimientos de costuras y traslapes: Deberá especificarse las propiedades de diseño para ambas telas y el área de la costura aplicable. Un traslape mínimo de 30 cm. es recomendado para todas las aplicaciones de geotextiles, pero los traslapes pueden ser aumentados de acuerdo a los requerimientos de construcción y lo especificado en campo. La fuerza especificada en las costuras deberá ser igual a la fuerza requerida del geosintético, perpendicular a la dirección de la costura usando el mismo procedimiento de ensayo. Para diseños donde ensayos de gran ancho son usados (por ejemplo refuerzo de terraplenes en suelos blandos), la fuerza requerida en la costura es un valor de diseño calculado. Por lo tanto, la fuerza en la costura no será especificada como un porcentaje de la fuerza del geosintético.

Las geomallas, georedes y geoceldas pueden ser conectadas por sujetadores (grapasp) mecánicos, aunque la conexión pueda ser estructural o una ayuda de construcción (cuando la fuerza en la dirección perpendicular a lo largo de la costura no es requerida por el diseño). Las geomembranas son térmicamente unidas y especificadas en términos de la fuerza de la costura.

Procedimientos de colocación: Deberán darse en detalle con la especificación y los planos de construcción. Estos procedimientos deberán incluir pendientes y requerimientos de limpieza del terreno, especificaciones de agregados, espesor de las capas de agregados y requerimientos de equipo. Detalles de procedimientos de colocación son presentados en cada ejemplo de aplicación.

Procedimientos de reparación: Deberán ser detallados los procedimientos de reparación para secciones dañadas de geosintéticos. Tales reparaciones deberán incluir traslapes, costuras cosidas, costuras fundidas o reemplazos. Para reparaciones por traslape, el geosintético deberá extenderse la longitud mínima de traslape requerida de todos los bordes de la rotura (así por ejemplo si se requiere un traslape mínimo de 0.30 m, el parche deberá extenderse al menos 0.30 m de todos los bordes de la rotura).

Criterios de aceptación y rechazo: Los criterios de aceptación y rechazo para materiales geosintéticos deberán ser colocados en la especificación de manera clara y concisa. Es de gran importancia que todas las instalaciones sean observadas por un representante del diseñador quien es conocedor y consciente de los procedimientos de colocación y requerimientos de diseño. Los requerimientos de muestreos y ensayos solicitados durante la construcción también deberán ser especificados.

La norma AASHTO M - 288-05 define a los geotextiles en tres clases de acuerdo a la severidad de las condiciones de instalación del mismo, como se observa en las siguientes tablas:

TABLA 9. Requerimientos de resistencia de los geotextiles

Propiedad	Norma de ensayo	Unidades	Clase de Geotextil ¹					
			Clase I		Clase II		Clase III	
			Elongación		Elongación		Elongación	
			< 50% ²	> 50% ²	< 50% ²	> 50% ²	< 50% ²	> 50% ²
Resistencia al desgarre	ASTM D 4632	N	1400	900	1100	700	800	500
Resistencia a juntas cosidas	ASTM D 4632	N	1260	810	990	630	720	450
Resistencia a rasgado trapezoidal	ASTM D 4533	N	500	350	400 ³	250	300	180
Resistencia al punzonamiento	ASTM D 4833	N	500	350	400	250	300	180
Resistencia al estallido	ASTM D 3786	kPa	3500	1700	2700	1300	2100	950
Permisividad	ASTM D 4491	S ⁻¹	Propiedad de valores mínimos de permisividad, AOS y estabilidad UV son basados en las aplicación de los geosintéticos					
Abertura aparente	ASTM D 4751	mm	Refiérase a las tablas 2 Drenaje subterráneo, Tabla 3 para separación, Tabla 4 para estabilización y Tabla 5 para control permanente de erosión					
Estabilidad Ultravioleta (UV)	ASTM D 4355	%						

Notas de propiedad de la tabla 9

¹ La clase requerida de geotextil es designado en la tabla 10, 11, 12 ó 13 para la aplicación indicada. La severidad de las condiciones de instalación para la aplicación generalmente determina la clase de geotextil que se refiere. La Clase 1 es especificada para las más severas o ásperas condiciones de instalaciones donde hay un mayor potencial de daño en el geotextil, la clase 2 y 3 son especificados para condiciones menos severas.

² Medido acorde a la norma ASTM D 4632.

³ El VMPR requerido para resistencia al desgarre para geotextil de monofilamento tejido es 250 N.

TABLA 10. Requerimientos para geotextiles de drenaje subterráneo

Propiedad	Norma de ensayo	Unidades	Requerimientos		
			Porcentaje in-situ que pasa la malla N° 200 (0.075mm)		
			< 15	15 a 50	> 50
Clase de geotextil	-		Clase 2 de la tabla 1		
Permisividad	ASTM D 4491	S ⁻¹	0.5	0.2	0.1
Abertura aparente	ASTM D 4751	mm	0.43 Máximo valor promedio por rollo	0.25 Máximo valor promedio por rollo	0.22 Máximo valor promedio por rollo
Estabilidad ultravioleta	ASTM D 4355	%	50% después de 500 horas de exposición		

TABLA 11. Requerimientos para geotextiles de separación

Propiedad	Norma de ensayo	Unidades	Requerimientos
Clase de geotextil	Clase 2 de la tabla 1		
Permisividad	ASTM D 4491	S ⁻¹	0.02
Abertura aparente	ASTM D 4751	mm	0.60 Máximo valor promedio por rollo
Estabilidad ultravioleta	ASTM D 4355	%	50% después de 500 horas de exposición

TABLA 12. Requerimientos para geotextiles de estabilización

Propiedad	Norma de ensayo	Unidades	Requerimientos
Clase de geotextil	Clase 1 de la tabla 1		
Permisividad	ASTM D 4491	S ⁻¹	0.05
Abertura aparente	ASTM D 4751	mm	0.43 Maximo valor promedio por rollo
Estabilidad ultravioleta	ASTM D 4355	%	50% después de 500 horas

TABLA 13. Requerimientos para geotextiles de control permanente de erosión

Propiedad	Norma de ensayo	Unidades	Requerimientos		
			Porcentaje in-situ que pasa la malla N° 200 (0.075mm)		
			< 15	15 a 50	> 50
Clase de geotextil:					
<ul style="list-style-type: none"> • Geotextil de monofilamento tejido • Todos los otros geotextiles 	-	-	<ul style="list-style-type: none"> • Clase 2 de la tabla 1 • Clase 1 de la tabla 1 		
Permisividad	ASTM D 4491	S ⁻¹	0.7	0.2	0.1
Abertura aparente	ASTM D 4751	mm	0.43 Máximo valor promedio por rollo	0.25 Máximo valor promedio por rollo	0.22 Máximo valor promedio por rollo
Estabilidad ultravioleta	ASTM D 4355	%	50% después de 500 horas de exposición		

TABLA 14. Requerimientos para geotextiles de barrera temporal de finos

Propiedad	Norma de ensayo	Unidades	Requerimientos		
			Barrera de finos apoyada	Barrera de finos sin apoyo	
				≥ 50%	< 50%
Espaciamiento máximo entre postes		m.	1.2	1.2	2
Resistencia al desgarre:					
• Dirección de la maquina	ASTM D 4632	N	400	450	550
• Dirección transversal a la maquina			400	450	450
Permisividad	ASTM D 4491	S ⁻¹	0.05	0.05	0.05
Abertura aparente	ASTM D 4751	mm	0.60 Máximo valor promedio por rollo	0.60 Máximo valor promedio por rollo	0.60 Máximo valor promedio por rollo
Estabilidad Ultravioleta	ASTM D 4355	%	70% después de 500 horas de exposición		

TABLA 15. Requerimientos para geotextiles en repavimentación

Propiedad	Norma de ensayo	Unidades	Requerimientos
Resistencia al agarre	ASTM D 4632	N	450
Masa por unidad de área	ASTM D 3776	gm/m ²	140
Elongación última	ASTM D 4632	%	≥ 50
Retención de asfalto	Texas DOT Ítem 3009	l/m ²	Notas 1 y 2
Punto de fusión	ASTM D 276	°C	150

Notas de propiedad de la tabla 15.

¹ Asfalto requerido para saturar solamente telas de pavimentación. La retención de asfalto debe proveerse en la certificación de elaboración. Los valores no indican la tasa de aplicación de asfalto requerido para la construcción.

² la propiedad de retención de asfalto del producto debe alcanzar el valor de VMPR proveído por la certificación del fabricante.

3.4 NORMAS DE ENSAYO

3.4.1 MÉTODO ESTÁNDAR DE MUESTREO DE GEOSINTÉTICOS PARA ENSAYOS. ASTM D - 4354-89.

En esta práctica se dan las instrucciones correspondientes para dividir un despacho en lotes y la determinación del número de unidades de producción en un lote muestra. El número o método para determinar el número de especímenes para ser ensayados de la muestra de laboratorio están establecidos por el método de ensayo específico, que evalúa la propiedad del geosintético.

3.4.1.1 DEFINICIONES

Geosintético. Producto planar elaborado a partir de un material polimérico usado en fundación, suelo, roca o tierra, o cualquier otro material relacionado con la ingeniería geotécnica, que forma parte integral de un proyecto, estructura o sistema elaborado por el hombre.

Geotextil. Cualquier textil permeable utilizado en fundación, suelo, roca o tierra, o cualquier otro material relacionado con la ingeniería geotécnica, que forma parte integral de un proyecto, estructura o sistema elaborado por el hombre.

Lote. Una unidad de producción, o un grupo de otras unidades o paquetes, tomados para muestreo o análisis estadístico, compartiendo una o más propiedades comunes y que sean fácilmente separables de otras unidades similares.

Muestra. (1) Una porción de material que es tomada para ser ensayada o para propósitos de acumulación de datos. (2) El grupo de especímenes usados o de observaciones realizadas, que proveen información que puede ser usada para realizar inferencias estadísticas acerca de una población o poblaciones de donde el espécimen fue tomado.

Muestra de laboratorio. Una porción de material tomado para representar el lote muestra o el material original y usado en el laboratorio como una fuente de especímenes de ensayo.

Muestra del lote. Una o más unidades de empaque tomadas aleatoriamente, que representan un muestreo con fines de aceptar un lote específico. Se usa como fuente de muestras de laboratorio.

Unidad de muestreo. Unidad identificable, discreta o sub-unidad de material que puede ser tomado como parte de una muestra.

Ya que existen más de dos pasos en el esquema de muestreo, las muestras en cada uno de los pasos deben ser claramente identificadas para evitar alguna confusión. El número de pasos para la obtención de muestras no está limitado, pero pueden ser tantas como sea requerido por la naturaleza del material que está siendo muestreado. El texto de esta metodología ilustra 3 pasos para la obtención de muestras. (1) Toma de muestras primarias del lote de material como muestras de lote, (2) Toma de muestras de laboratorio de cada unidad primaria de muestreo del lote o muestra del lote y (3) Toma de especímenes de o para ensayo, tomadas de cada muestra de laboratorio.

Muestra primaria. La muestra primaria contiene todas las fuentes de variabilidad que puede considerarse en los ensayos para aceptar un lote. La unidad de muestreo tomada en la primera etapa de selección en cualquier procedimiento para muestreo de un lote o embarque.

Para textiles las unidades primarias de muestreo son generalmente tomadas como las unidades de empaque que conforman un lote: tales como fardos de fibra, rollos de tela por ejemplo. Un adecuado muestreo para aceptar un lote mediante ensayos, requiere tener en cuenta no solamente la variabilidad entre las muestras primarias de muestreo, sino también la variabilidad entre subunidades dentro de las unidades primarias de muestreo y entre los especímenes de una subunidad en la unidad primaria de muestreo.

Espécimen. Una porción de material o muestra de laboratorio, con la que será realizado un ensayo o que es tomada para ese propósito (especímen de ensayo).

Resultados de ensayos. Es un valor obtenido por un método de ensayo determinado, expresando una única determinación o una combinación específica de un número de observaciones.

Un resultado de ensayo es el valor reportado para una subunidad de la muestra

de laboratorio. Para diferentes métodos de ensayo un resultado de ensayo puede ser: (1) El valor de una observación (como medida de una propiedad, una sumatoria de defectos, o clasificación) de un solo espécimen de una subunidad de muestra de laboratorio. (2) El promedio de los valores de una observación de cada uno de los n especímenes de una subunidad de muestra de laboratorio. (3) La relación de sucesos de un total de observaciones para n especímenes de una subunidad de muestra de laboratorio.

Para definiciones de términos textiles usados en esta práctica, referirse a la terminología ASTM D - 123.

Para la definición de otros términos relacionados con geosintéticos, referirse a la terminología ASTM D - 4439.

Descripción de términos específicos de esta práctica

Unidad de producción. Se refiere en esta práctica a la cantidad de geotextil que se ha acordado entre el productor y el comprador para propósitos de muestreo. En ausencia de un acuerdo en la cantidad, se recomienda tomar 500 m². Por ejemplo: una producción que conste de 6,000 m², para propósitos de muestreo si el criterio a usar es de 500 m² tal como se ha sugerido en ausencia

de un acuerdo, se requerirán 12 unidades de producción para conformar la producción.

Esta práctica cubre dos procedimientos para el muestreo de geosintéticos para ser ensayados. Se requiere que las instrucciones de toma de muestras de laboratorio y especímenes de ensayo sean parte de cada método de ensayo para geosintéticos.

1. El primer procedimiento describe la división del embarque de geosintéticos en lotes y define el tamaño de la muestra tomada del lote mencionado para establecer la conformidad de las especificaciones.
2. El segundo procedimiento describe el muestreo de las unidades de producción con el propósito de asegurar la calidad durante el proceso de fabricación. Esto requiere que se conserve el soporte de los valores que se involucran en el proceso estadístico, durante el proceso de fabricación.

3.4.1.2 PROCEDIMIENTO A: Muestreo para ensayos de conformidad de especificaciones.

1. División en lotes. Considere como un lote separado cualquier porción de despacho que el usuario esté ensayando, o que el productor esté

ensayando como cantidad de producción planeada, que difiera de otras porciones en especificaciones, referencias o características físicas. Si las porciones que han sido designadas como lote separado son enviadas de diferentes plantas de producción, trate cada porción despachada por separado como un lote separado. Cuando se requiere el muestreo durante la manufactura, considere un lote como si fuera una cantidad de producción planeada.

2. Determinación del tamaño del lote muestra

- a) Tome para el lote muestra, unidades de producción o empaque, como se menciona en una especificación de material aplicable, o como se acuerde entre el vendedor y el comprador. Considere las unidades de producción aplicables como las unidades primarias de muestreo.

- b) En ausencia de especificaciones del material u otros acuerdos, seleccione aleatoriamente un número de unidades de producción de cada lote equivalente a la raíz cúbica del número total de unidades incluidas en el lote. En lote de dos unidades o menos, tome una unidad. Si la raíz cúbica calculada es un número fraccionario, tome el siguiente número entero de unidades. La TABLA 16 muestra el número de unidades a seleccionar, de lotes de varios tamaños.

- c) Si la especificación requiere muestreo durante la manufactura, seleccione las unidades del lote muestra uniformemente espaciadas en intervalos de tiempo a lo largo del periodo de producción.
- d) Para propiedades que sean evaluadas como atributos, las unidades en el lote muestra sirven tanto como muestras de laboratorio o especímenes de ensayo.

TABLA 16. Número de unidades seleccionadas de acuerdo al número de unidades producidas.

Número de unidades en el lote	Número de unidades seleccionadas
1 a 2	1
3 a 8	2
9 a 27	3
28 a 64	4
65 a 125	5
126 a 216	6
217 a 343	7
344 a 512	8
513 a 729	9
730 a 1000	10
1001 o más	11

3.4.1.3 PROCEDIMIENTO B – Muestreo para ensayos de aseguramiento de calidad en la producción.

1. División en lotes. Considere como un lote separado cualquier porción de despacho que el usuario esté ensayando o que el productor esté

ensayando como cantidad de producción planeada, que difiera de otras porciones en especificaciones, referencias o características físicas. Si las porciones que han sido designadas como lote separado han sido enviadas de diferentes plantas de producción, trate cada porción despachada por separado, como un lote separado. Cuando se requiere muestreo durante la manufactura, considere un lote como si fuera una cantidad de producción planeada.

2. Determinación del tamaño del lote muestra. La TABLA 17 muestra el número de unidades a seleccionar de acuerdo al tamaño del lote muestra para ensayos de aseguramiento de la calidad.

TABLA 17. Número de unidades seleccionadas de acuerdo al número de unidades producidas, para aseguramiento de calidad.

Número de unidades en el lote	Número de unidades seleccionadas
1 a 200	1
201 a 500	2
501 a 1000	3
1001 o más	4

Cuando un ensayo de aseguramiento de la calidad es en un tiempo determinado, como la degradación por los rayos ultravioleta, no se utilizan más ensayos que dos unidades por un lote único. Mantenga la información sobre el número de dicho ensayo por lote y suministre la información si es requerida por el comprador.

3.4.2 MÉTODO ESTÁNDAR PARA MEDIR LA MASA POR UNIDAD DE AREA DE GEOTEXILES. ASTM D - 5261-92.

En esta norma se dan las instrucciones para determinar la masa por unidad de área mediante la medida de la masa de los especímenes de ensayo de dimensiones conocidas, obtenidos de lugares variados sobre el ancho total de la muestra de laboratorio. Los valores obtenidos se promedian para obtener la masa promedio por unidad de área de la muestra de laboratorio, la que a su vez se usara para determinar el valor mínimo promedio por rollo del lote, como resultado de la evaluación comparativa con los otros valores correspondientes de las muestras del lote.

Este método de ensayo es utilizado para determinar si un geotextil cumple con la masa por unidad de área establecida por las especificaciones técnicas de un proyecto. Este método también puede ser utilizado para establecer la conformidad de un material dentro de las actividades de control de calidad durante el proceso industrial de producción.

3.4.2.1 MUESTREO

Deberá realizarse de acuerdo a lo establecido en la norma de ensayo ASTM D - 4354-89. Método de muestreo de geosintéticos para ensayos. (Ver 3.4.1)

3.4.2.2 MATERIAL Y EQUIPO

El equipo requerido para realizar este ensayo es una balanza, calibrada y con capacidad de hasta 5,000 g con una precisión de 0.01 g.

El mínimo número de especímenes de ensayo será de 5 (cinco), obtenidos de manera que representen el ancho del rollo y en combinación con un área mínima de 100,000 mm². Cada espécimen de ensayo deberá poseer un área mínima de 10,000 mm². El corte entre especímenes de ensayo tendrá una precisión de $\pm 0.5\%$ de su área. No se tomarán especímenes para ensayo dentro de los decimos de ancho de rollo a cada lado medido desde los bordes.

Se acondicionan los especímenes hasta que alcancen la atmósfera para ensayos de geotextiles. Se considera que se ha alcanzado el equilibrio cuando el incremento en masa del espécimen en pesajes sucesivos, a intervalos no menores de 2 horas, no exceda el 0.1% de la masa del espécimen.

3.4.2.3 PROCEDIMIENTO

1. Evaluar el peso de los especímenes acondicionados a la atmósfera para ensayos para geotextiles.

Pese cada uno de los especímenes en forma separada, usando una balanza con precisión de 0.01g.

3.4.3 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DETERMINAR EL ESPESOR NOMINAL DE GEOTEXILES Y GEOMEMBRANAS. ASTM D - 5199-92.

El espesor es una de las propiedades físicas básicas usadas en el control de la calidad de muchos geotextiles y geomembranas. Para el cálculo de algunos parámetros de geotextiles y geomembranas se requiere calcular el valor del espesor, como en el caso de los coeficientes de permeabilidad, esfuerzo a tensión (índice), ya que el espesor no es un indicador del desempeño en campo y por lo tanto no se recomienda para especificación.

El espesor de geotextiles y geomembranas puede variar considerablemente dependiendo de la presión aplicada al espécimen durante su medida. Los cambios observados en la disminución del espesor ocurren cuando se aplican incrementos en la presión. Para minimizar la variación se usará un tamaño de muestra y presión aplicada para asegurar que todos los resultados son comparables como se indicara en este método específico.

Este método de ensayo no ofrece los valores de espesor para geotextiles y geomembranas bajo esfuerzos normales variables. Este método de ensayo determina espesor nominal que no es necesariamente el espesor mínimo.

3.4.3.1 DEFINICIONES

Condiciones Ambientales para ensayo de geotextiles. Aire que se mantiene a una humedad relativa de $65 \pm 5\%$ y una temperatura de $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Espesor. La distancia entre una superficie plana y su superficie plana y paralela. En los textiles el espesor se define como la distancia entre la cara superior e inferior del material, medida bajo una presión y tiempo especificados.

3.4.3.2 MUESTREO

Deberá realizarse de acuerdo a lo establecido en la norma de ensayo ASTM D - 4354-89. Método de muestreo de geosintéticos para ensayos. (Ver 3.4.1)

3.4.3.3 MATERIAL Y EQUIPO

Instrumento para la medición del espesor: El elemento para medir el espesor tendrá una base y un pie que presiona una de las caras planas y paralelas una a otra a menos de 0.01 mm, calibrada con un diámetro de 56.4 mm, la base deberá extenderse como mínimo 10 mm en todas las direcciones con respecto al borde del pie que presiona, que a su vez deberá tener un área de $2,500 \text{ mm}^2$ de sección circular que se usara para analizar geotextiles (Ver Fig. 21).

Un calibrador de 6.35 mm se usará para analizar geomembranas. El instrumento deberá estar en capacidad de medir un espesor máximo de por lo

menos 10 mm a una exactitud de ± 0.002 mm. Los calibradores se construirán para permitir aplicación gradual de presión a una fuerza específica de $2 \pm 0,02$ KPa (0.29 ± 0.003 psi) para los geotextiles y $20 \pm 0,2$ KPa (2.9 ± 0.03 psi) para las geomembranas. Se puede usar una carga con peso muerto.



Fig. 21 Aparato medidor de espesores.

La fuerza especificada de 20 KPa puede ser inadecuada para algunas geomembranas HDPE (Polietileno de Alta Densidad). Se recomienda una presión en el rango de 50 a 200 KPa para este tipo de geomembranas; hay una gran cantidad de lecturas ficticias usando 20 KPa de presión.

Moldes de corte: Los moldes para cortar especímenes deben tener como dimensiones mínimas, un círculo de 75 mm.

El número de especímenes para el ensayo es de 10, para los ensayos en la dirección de la máquina y 10 para los ensayos en la dirección transversal de la misma.

3.4.3.4 PROCEDIMIENTO

1. Se ensayan los especímenes acondicionados en condiciones ambientales de ensayo.
2. Maneje los especímenes de prueba cuidadosamente para evitar alterar el estado natural del material.
3. Con una fuerza aplicada al pie de presión sobre la base (no se debe colocar el espécimen de prueba), ponga la balanza en cero o grabe la lectura base. Levante el pie de presión, centre el espécimen de prueba sobre la base, bajo el pie de presión, y lleve el pie de presión a tener contacto con el material. Gradualmente incremente la presión a 2 KPa (0.29 psi) para geotextiles y 20 KPa (2.9 psi) para geomembranas. Después de que la fuerza completa ha sido aplicada al pie de presión por 5s contra el espécimen, grabe el valor del espesor mas cercano a 0.002 mm y remueva el espécimen del aparato de prueba.

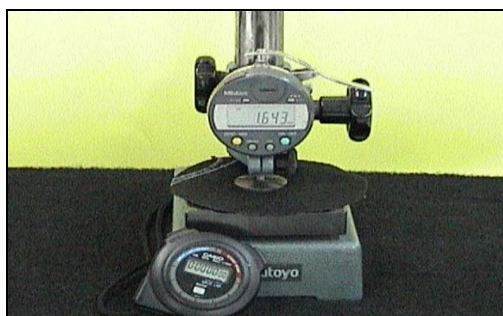


Fig. 22 Espécimen colocado en aparato medidor durante el ensayo.

3.4.4 MÉTODO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CARGA DE ROTURA Y LA ELONGACIÓN DE GEOTEXTILES (MÉTODO GRAB). ASTM D - 4632-91.

Esta norma consiste en aplicar a muestras de geotextiles tejidos y no tejidos una carga que se incrementa continuamente en sentido longitudinal, hasta alcanzar la rotura. Los valores para la carga de rotura (tensión GRAB) y la elongación (elongación GRAB) del espécimen de ensayo se obtienen de las escalas o diales de las máquinas, de diagramas de registro autográficos o de computadores interconectados. Esta norma determina una propiedad índice.

La norma incluye los procedimientos para medir la carga de rotura y la elongación mediante el método GRAB, tanto en estado seco como en estado húmedo; sin embargo, el ensayo normalmente se realiza en seco a menos que se especifique de otra manera.

3.4.4.1 DEFINICIONES

Condiciones ambientales para ensayo de geotextiles. Aire que se mantiene a una humedad relativa de $65 \pm 5\%$ y una temperatura de $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Carga de rotura. Máxima fuerza aplicada a la muestra en un ensayo de tensión, con lo cual alcanza la rotura.

Elongación de rotura. Elongación correspondiente a la carga de rotura, es decir, la carga máxima.

Ensayo GRAB. Ensayo de tensión que permite determinar la resistencia a la tensión y la elongación en un fracción del ancho del espécimen detallado.

3.4.4.2 MUESTREO

Deberá realizarse de acuerdo a lo establecido en la norma de ensayo ASTM D - 4354-89. Método de muestreo de geosintéticos para ensayos. (Ver 3.4.1)

3.4.4.3 MATERIAL Y EQUIPO

Máquina Universal para el ensayo de Tracción: La máquina de ensayo debe estar dotada de un dispositivo para medir longitudes de alargamiento de las probetas, debe garantizar que la velocidad de separación se mantenga constante con el tiempo y consta de un par de mordazas entre las cuales se coloca el geotextil que va a ser ensayado.

Mordazas: Las mordazas deben tener superficies de ajuste planas, paralelas y aptas para evitar el deslizamiento del espécimen durante un ensayo. Cada mordaza debe tener una superficie de 25.4 mm por 50.8 mm, con la dimensión más larga paralela a la dirección de aplicación de la carga (Ver Fig. 23). Las

superficies de las mordazas deben ser iguales y estar alineadas, una respecto de la otra. El número de muestras necesario para realizar el ensayo es de 10.



Fig. 23 Espécimen colocado entre las mordazas de la máquina de ensayo.

3.4.4.4 PROCEDIMIENTO

1. Se ajusta la distancia entre las mordazas al comienzo del ensayo a 75 ± 1 mm. Se selecciona la escala de carga de la máquina de ensayo de manera que el valor máximo se presente entre 10% y 90% de la escala total de carga. Se ajusta la máquina para que opere a una velocidad de 300 ± 10 mm/min.
2. Se asegura el espécimen en las mordazas de la máquina de ensayo, teniendo cuidado que la dimensión larga esté lo más paralela posible a la dirección de aplicación de la carga. Se debe asegurar que la tensión en el espécimen sea uniforme a través del ancho sujetado por las mordazas. Se inserta el espécimen en las mordazas de tal manera que,

aproximadamente, la longitud de la tela que se extienda por detrás de la mordaza sea la misma en cada extremo. Se ubican las mordazas en la mitad y en dirección del ancho.

3. Si el espécimen se desliza de las mordazas, si se rompe en el borde de las mordazas o en éstas, o si por cualquier razón atribuida a una falla de operación el resultado desciende notablemente por debajo del promedio del grupo de especímenes, se descarta el resultado y se toma otro espécimen. Se continúa este procedimiento hasta obtener el número requerido de roturas aceptables.
4. Se enciende la máquina de ensayo de tracción y el dispositivo de medición de área (si se utiliza) y se continúa efectuando el ensayo hasta producir la rotura. Se detiene la máquina y se reajusta en la posición de calibración inicial. Se registran e informan los resultados para cada dirección en forma separada.
5. Para evitar el deslizamiento del espécimen en las mordazas, se pueden hacer las siguientes modificaciones: (1) Las mordazas pueden ser forradas o recubiertas; (2) la tela puede ser protegida bajo el área de la mordaza o (3) la superficie de la mordaza puede ser modificada. En ningún caso se pueden modificar las dimensiones establecidas. Si se

realiza una de las modificaciones mencionadas, se debe registrar en el informe.

6. Para medir la elongación del espécimen, tanto la longitud inicial como la elongación medida dependen de la tensión previa aplicada al colocar el espécimen en las mordazas de la máquina. En este caso se asegura el espécimen con una mordaza de la máquina y se aplica una tensión previa aproximadamente de 0.5% de la carga de rotura, o una carga inicial especificada para el material en cuestión, antes de sujetar el espécimen con la otra mordaza.

A menos que se especifique de otra manera, se mide la elongación del geotextil con la carga establecida mediante un dispositivo autograficador, y al mismo tiempo se determina la resistencia a la rotura. Se mide la elongación desde el punto donde la curva deja el eje de la carga cero (establecido después de aplicar la precarga), hasta el punto de la fuerza máxima correspondiente, en milímetros.

3.4.5 MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL RASGADO TRAPEZOIDAL DE GEOTEXTILES. ASTM D - 4533-91.

Este método de ensayo es un índice que permite determinar la fuerza requerida para continuar o propagar un rasgado en geotextiles tejidos, no tejidos, tejidos de punto y telas estratificadas, por el método trapezoidal. Esta norma describe el procedimiento para la determinación de la resistencia al rasgado trapezoidal de geotextiles.

Este método corresponde a una propiedad índice y no ofrece la información suficiente para considerarse un criterio de diseño en todas las aplicaciones de geotextiles.

La resistencia al rasgado trapezoidal de geotextiles tejidos es determinada básicamente por las propiedades de las cintas o elementos que los constituyen, los cuales están sujetos por las mordazas. En geotextiles no tejidos, debido a que las fibras están dispuestas de una forma más o menos aleatoria y son capaces de reorientarse en dirección a la carga aplicada, la máxima resistencia al rasgado trapezoidal de la nueva reorientación se logra cuando se desarrolla una tensión mayor que la requerida para romper una o más fibras simultáneamente.

3.4.5.1 DEFINICIONES

Condiciones ambientales para ensayo de geotextiles. Aire que se mantiene a una humedad relativa de $65 \pm 5\%$ y una temperatura de $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Resistencia al rasgado. Fuerza requerida para iniciar o continuar un rasgado en una tela bajo condiciones específicas. Este método de ensayo utiliza el valor máximo de la fuerza de rasgado como la resistencia al rasgado.

3.4.5.2 MUESTREO

Deberá realizarse de acuerdo a lo establecido en la norma de ensayo ASTM D - 4354-89. Método de muestreo de geosintéticos para ensayos. (Ver 3.4.1)

3.4.5.3 MATERIAL Y EQUIPO

Máquina de ensayo de tracción: La máquina de ensayo debe estar dotada de un dispositivo para medir longitudes de alargamiento de las probetas, debe garantizar que la velocidad de separación se mantenga constante en el tiempo y debe constar de un par de mordazas entre las cuales se coloca el geotextil que va a ser ensayado.

Mordazas: Deben tener superficies de agarre paralelas, planas y capaces de prevenir el deslizamiento del espécimen durante el ensayo. Las dimensiones de

cada mordaza deben ser 50.8 mm por 76.2 mm (como mínimo), con la dimensión más larga perpendicular a la dirección de aplicación de la carga.

Molde trapezoidal: Este molde es opcional y se utiliza para marcar el espécimen.

El número de especímenes necesario es de 10, tomados a una distancia mínima de 1/20 del ancho a partir del borde de la tela o a 150 mm, escogiendo el menor. De cada muestra se cortan especímenes rectangulares de 76.2 mm por 201.6 mm. Se cortan sentido longitudinal (Ver Fig. 24) y en sentido transversal (Ver Fig. 25).

3.4.5.4 PROCEDIMIENTO

1. En caso de realizar el ensayo en condición húmeda, éste deberá hacerse dentro de los siguientes dos (2) minutos después de retirar el espécimen del agua.

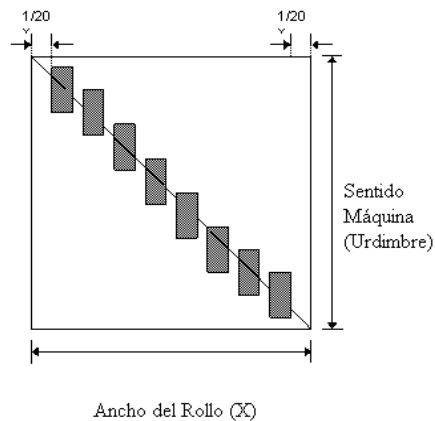


Fig. 24 Toma de especímenes, sentido longitudinal

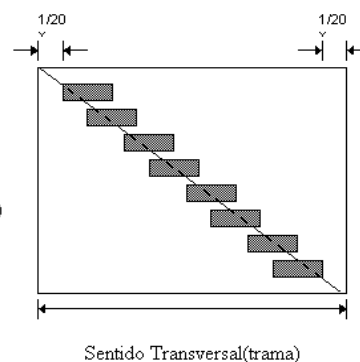


Fig. 25 Toma de especímenes, sentido transversal

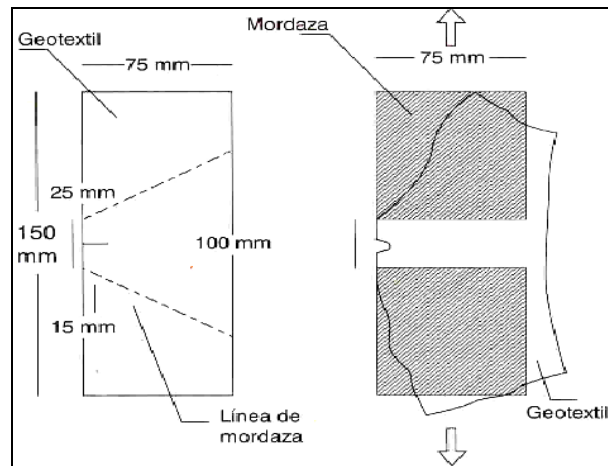


Fig. 26 Dimensiones de la probeta de geosintético.

2. Se fija la distancia entre las mordazas al iniciar el ensayo en 25 ± 1 mm y se fija el intervalo de carga para la máquina de ensayos de tal forma que la carga máxima ocurra entre el 15 y el 85% de la escala total. La velocidad de operación de la máquina se debe mantener constante en 300 ± 10 mm/min.

3. Asegurar el espécimen de ensayo en la máquina sujetándolo a lo largo de los lados no paralelos del trapecio de tal manera que los bordes de las mordazas estén en línea con el lado del trapecio de 25 mm de longitud y el corte esté en el centro de las mordazas. Se debe dejar el lado más corto de tal forma que quede tirante y permita que la tela sobrante quede en forma de pliegues.

4. Poner en movimiento la máquina y registrar la fuerza de rasgado en un gráfico. La fuerza de rasgado puede alcanzar varios picos, en este caso se deben presentar los diferentes máximos y mínimos y registrar la máxima fuerza obtenida en Newton.



Fig. 27 Momento de realización del ensayo de resistencia al desgarre.

5. Si el geotextil se desliza entre las mordazas o si 25% ó más del espécimen rompe en un punto entre los 5 mm cercanos al borde de la mordaza, se puede escoger una de las siguientes alternativas: (1) forrar o recubrir las mordazas, (2) proteger la tela bajo el área de las mordazas; (3) modificar la superficie de la mordaza. Si una de las modificaciones anteriores es escogida, ésta debe ser indicada en el informe. En ningún caso se pueden modificar las dimensiones establecidas.

Si el resultado de un ensayo individual se desvía 25% ó más del promedio de los resultados del ensayo de una muestra, éste no debe ser tenido en cuenta, y un espécimen adicional debe ser ensayado. Calcular el promedio excluyendo los valores extremos.

3.4.6 MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE ABERTURA APARENTE (TAA) DE UN GEOTEXTIL. ASTM D - 4751-95.

Este método de ensayo consiste en colocar un espécimen de geotextil en un marco de tamiz y sobre él se colocan unas partículas de cristal graduadas. El conjunto se agita enérgicamente para inducir el paso de las partículas a través del geotextil. El procedimiento se repite para el mismo espécimen con varios tamaños de partículas de cristal hasta determinar el Tamaño de Abertura Aparente (TAA). Esta propiedad también se conoce como AOS (Apparent Opening Size).

Al usar un geotextil como un medio para retener partículas de suelo, se necesita una compatibilidad entre el geotextil y el suelo adyacente. Este método de ensayo es usado para indicar el TAA en un geotextil, donde se refleja la dimensión de la abertura más grande disponible para que un suelo pueda atravesarlo.

3.4.6.1 DEFINICIONES

Condiciones ambientales para ensayo de geotextiles. Aire que se mantiene a una humedad relativa entre 50% y 70% y a una temperatura de 21 ± 2 °C. Las condiciones de laboratorio son esenciales para el ensayo TAA. Por ejemplo, con humedad excesiva (>70%) las partículas pueden pegarse entre ellas,

mientras que con un humedad relativa baja (<50%) puede generarse un incremento de la electricidad estática.

Tamaño de Abertura Aparente (TAA). Es una propiedad que indica aproximadamente el tamaño máximo de la partícula que puede pasar efectivamente a través del geotextil. Esta propiedad también se conoce como AOS (Aparent Opening Size).

3.4.6.2 MUESTREO

Deberá realizarse de acuerdo a lo establecido en la norma de ensayo ASTM D - 4354 - 89. Método de muestreo de geosintéticos para ensayos. (Ver 3.4.1)

3.4.6.3 MATERIAL Y EQUIPO

Tamizador: Se usa un tamizador mecánico que imparta movimientos laterales y verticales al tamiz, causando que las partículas salten y giren al mismo tiempo, presentando así diferentes orientaciones sobre la superficie del geotextil (Ver Fig. 28). El tamizador deberá ser un mecanismo de frecuencia constante que utiliza un brazo recubierto de corcho o caucho que propicia impactos.

Fondo, tapa y juego de tamices de 200 mm de diámetro de abertura, designación U.S. estándar.



Fig. 28 Tamizador mecánico

Material para el tamizado: Consiste en unas partículas esféricas de cristal en fracciones de tamaños variables, se deben preparar por lo menos 50 gramos de cada fracción de tamaño para ser usados antes de empezar el ensayo.

Balanza de la capacidad adecuada para la masa que se anticipa usar y una precisión de $\pm 0.05g$.

Eliminación de la estática: para prevenir la acumulación de electricidad estática, cuando las partículas son tamizadas sobre la superficie del geotextil. Dispositivos comerciales disponibles o compuestos anti-estáticos se pueden usar para este fin.

Horno de secado. Deberá tener la capacidad de mantener la temperatura requerida de ensayo con una tolerancia de $\pm 2^{\circ}C$ ($4^{\circ}F$).

3.4.6.4 PROCEDIMIENTO

1. Pese los especímenes de ensayo y sumérgalos en agua destilada por 1 hora a las condiciones ambientales estándar de ensayo.
2. Realizar la prueba a la temperatura atmosférica para ensayos de geotextiles de tal manera que se prevenga que la electricidad estática afecte los resultados.
3. Asegurar el geotextil de tal manera que quede templado y sin arrugas. El geotextil no debe ser estirado o deformado de tal manera que éste cambie o distorsione sus aberturas.

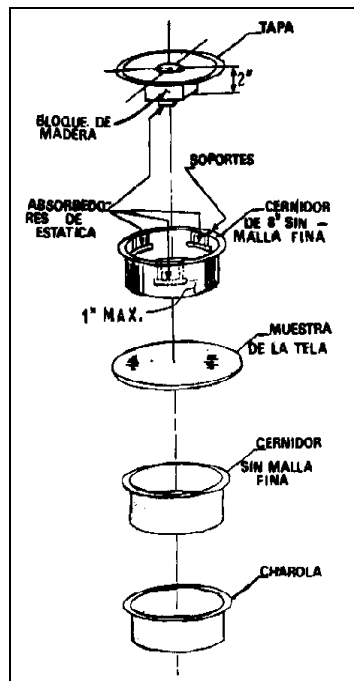


Fig. 29 Disposición de los tamices y el geotextil para el ensayo

4. Antes de usar las partículas de cristal, tamizarlas en el laboratorio para verificar el tamaño de las mismas.
5. Comenzar el ensayo con las partículas de menor tamaño. Colocar 50 g de un solo tamaño de partículas en el centro del espécimen de ensayo.
6. Colocar la tapa y el fondo en el marco del tamiz y tamizar durante 10 minutos.
7. Colocar las partículas que quedan en la superficie del espécimen en un fondo aparte y pesarlas. Incluir las partículas que se quedan adheridas en el espécimen y en el borde y la tapa del tamiz.
8. Pesar las partículas de cristal que pasan a través del espécimen y registrar la información.



Fig. 30 Geotextil preparado para ser ensayado

Repetir los pasos 3 a 7 usando partículas de la siguiente fracción de mayor tamaño. Repetir el experimento usando sucesivamente fracciones de tamaño más grande hasta que el peso de las partículas que pasan a través del espécimen sea 5 % o menos del peso inicial.

3.4.6.5 CÁLCULOS

Para cada espécimen y para cada tamaño de partículas ensayado, calcular el porcentaje de las partículas que pasan a través del espécimen usando la siguiente ecuación:

$$B = 100 \frac{P}{T}$$

Donde:

B : Porcentaje de partículas que pasan a través del espécimen.

P : Masa de las partículas de cristal retenidas en el fondo del tamiz (g)

T : Masa total de las partículas usadas (g).

Registrar los cálculos y el porcentaje de las partículas que pasan.

Asignar el TAA para cada espécimen como el tamaño de las partículas en mm que corresponde al 5% o menos.

Determinar el TAA del ensayo promediando los valores de los cinco especímenes analizados.

3.4.6.6 GRÁFICOS

Con frecuencia se determina el valor de TAA graficando el porcentaje de las partículas que pasan versus el tamaño de partículas usado en cada espécimen.

Para hacer la grafica se debe proceder de la siguiente manera.

Para cada espécimen graficar los valores de porcentaje que pasa (en la ordenada) versus el tamaño de las partículas en mm (en la abscisa) en papel semilogarítmico. Unir los puntos con segmentos rectos que representan los tamaños de las partículas las cuales están justo sobre alguno de los lados de la ordenada que pasa el 5%. El TAA se obtiene determinando el tamaño de las partículas en milímetros que corresponde al 95% que pasa.

Determinar el TAA de la muestra en milímetros, promediando los cinco valores de TAA obtenidos por la gráfica de interpolación.

Determine el TAA del espécimen, expresado en términos de número de tamiz designación U.S. aproximando la a la abertura del tamiz superior mas cercano.

3.4.7 MÉTODO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO DE GEOTEXTILES, GEOMEMBRANAS Y PRODUCTOS RELACIONADOS. ASTM D - 4833-96.

Esta norma establece el método para determinar el índice de resistencia al punzonamiento de geotextiles, geomembranas y productos relacionados y consiste en colocar un espécimen sin tensión, entre las placas circulares del dispositivo anular de sujeción de la máquina de ensayo. Se aplica una fuerza en la parte central, mediante una barra de acero sólido, conectada al indicador de carga, hasta que se rompa el espécimen. La máxima fuerza registrada corresponde a la resistencia al punzonamiento.

3.4.7.1 DEFINICIONES

Condiciones ambientales para ensayo de geotextiles. Aire que se mantiene a una humedad relativa de $65 \pm 5\%$ y una temperatura de $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Resistencia al punzonamiento. Mecanismo inherente de resistencia del espécimen de ensayo, que se va a fallar mediante la penetración de un aditamento punzante.

3.4.7.2 MUESTREO

Deberá realizarse de acuerdo a lo establecido en la norma de ensayo ASTM D - 4354-89. Método de muestreo de geosintéticos para ensayos. (Ver 3.4.1)

3.4.7.3 MATERIAL Y EQUIPO

Máquina Universal para el ensayo de tracción – compresión: La máquina de ensayo es del tipo de coeficiente constante de extensión (CCE), con registrador gráfico.

Dispositivo anular de sujeción: El dispositivo consiste en dos placas concéntricas con un orificio de diámetro interno de 45 ± 0.025 mm, que permite sujetar el espécimen sin que se deslice. Se sugiere que el diámetro externo sea 100 ± 0.025 mm y el diámetro de los seis agujeros usados para asegurar el ensamble sea de 8 mm y que estén igualmente espaciados sobre una circunferencia de radio de 37 mm. Las superficies de estas placas pueden tener ranuras con anillos en “O” ó papel de lija áspero pegado sobre ambas.

Aditamento punzante: Barra de acero sólido de un diámetro de 8 ± 0.01 mm, con extremo plano con borde biselado de $45^\circ = 0.8$ mm, que hace contacto con la superficie del espécimen de ensayo.



Fig. 31 Barra de acero adaptada a la máquina de ensayo universal

El número de especímenes necesarios para el ensayo es de 15, cortados en forma circular con un diámetro mínimo por espécimen de 100 mm para facilitar la instalación en el dispositivo anular de sujeción. Las muestras nunca deberán tomarse cerca de los bordes, se deben tomar a una distancia mínima de 1/10 del ancho del rollo del geotextil, geomembrana o producto relacionado.

3.4.7.4 PROCEDIMIENTO

1. Se selecciona el intervalo de carga de la máquina de ensayo de tensión, de tal forma que la rotura ocurra entre el 10% y el 90% de la carga total de la máquina.
2. Se centra y se asegura el espécimen entre el dispositivo anular de sujeción, de tal forma que el espécimen se extienda más allá de los bordes exteriores de los anillos.
3. Medida de la carga de rotura. Se realiza el ensayo con la máquina a una velocidad de 300 ± 10 mm/min hasta que el aditamento punzante rompa completamente el espécimen de ensayo. Se toma la carga de rotura que corresponda a la mayor carga registrada en el instrumento de lectura, durante el ensayo. Esta carga de rotura corresponde a la resistencia al punzonamiento. En el caso de obtener en el ensayo un doble pico de la

carga máxima, el valor a reportar debe ser el correspondiente al primer pico, descartando el valor del segundo aunque éste sea mayor.

Si el espécimen no se rompe debido a su deslizamiento entre los anillos de agarre o si la barra se desliza entre dos fibras adyacentes sin causar su rotura, estos resultados no serán tenidos en cuenta y deberá ensayarse otro espécimen.

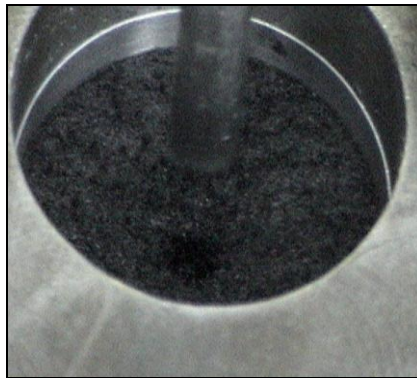


Fig. 32 Espécimen roto debido a la carga

3.4.7.5 CÁLCULO

Se calcula la carga de rotura promediando el valor de las cargas de rotura tomadas directamente del instrumento de lectura de todos los especímenes ensayados.

3.4.8 MÉTODO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL ESTALLIDO DE GEOTEXILES (MÉTODO DEL DIAFRAGMA HIDRÁULICO – MULLEN BURST). ASTM - 3786 – 87.

Esta norma tiene por objeto determinar la resistencia de los geotextiles tejidos y no tejidos al estallido, empleando el método de ensayo de diafragma hidráulico (Mullen Burst). Esta norma determina una propiedad índice y consiste en prensar un espécimen de geotextil sobre un diafragma expandible. El diafragma es expandido por presión de fluido hasta el punto de rotura del espécimen. La diferencia entre la presión total requerida para romper el espécimen y la presión requerida para inflar el diafragma se reporta como la resistencia al estallido.

3.4.8.1 DEFINICIONES

Condiciones ambientales para ensayo de geotextiles. Aire que se mantiene a una humedad relativa de $65 \pm 5\%$ y una temperatura de $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Resistencia al estallido. Presión requerida para producir la rotura de un geotextil debido a una presión aplicada en el plano de la tela. Permite determinar la resistencia a la tensión de un modo multi-direccional.

3.4.8.2 MUESTREO

Deberá realizarse de acuerdo a lo establecido en la norma de ensayo ASTM D - 4354 - 89. Método de muestreo de geosintéticos para ensayos. (Ver 3.4.1).

3.4.8.3 MATERIAL Y EQUIPO

Máquina de ensayo de diafragma hidráulico Burst: La máquina de ensayo debe cumplir los requisitos de los literales (a) al (d). En caso de desacuerdo, se debe utilizar una máquina de ensayo de motor, a menos que el vendedor y el comprador acuerden otra cosa.

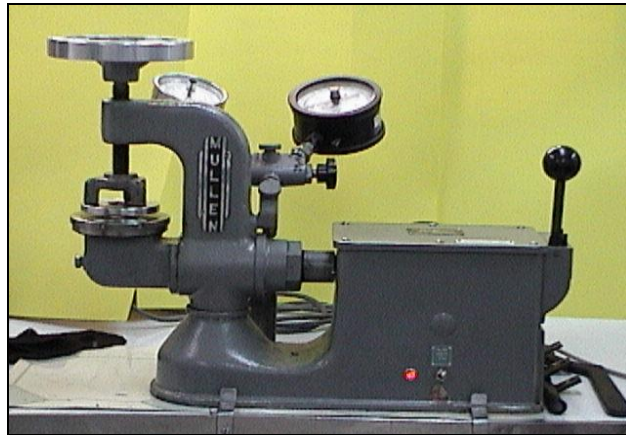


Fig. 33 Máquina de ensayo de diafragma hidráulico Burst.

a) Mordazas: Las mordazas se utilizan para asegurar firme y uniformemente el espécimen de ensayo, ubicadas entre dos superficies anulares, planas, paralelas y preferiblemente de acero inoxidable, evitando el deslizamiento del espécimen durante el ensayo. Se debe usar una presión suficiente para minimizar el deslizamiento. Las superficies de prensado superior e inferior deben tener un diámetro externo de mínimo 75 mm y aberturas coaxiales de 31 ± 0.75 mm de diámetro.

b) Las superficies de las mordazas entre las cuales se coloca el espécimen deben tener ranuras concéntricas espaciadas 0,8mm como mínimo y una profundidad mayor a 0,015 mm desde el borde de la abertura. Las superficies de las mordazas deben ser metálicas y cualquier borde que pueda causar corte debe ser redondeado a un radio máximo de 0,4 mm. La mordaza inferior debe estar integrada con la cámara de presión en la cual un tornillo opera para generar una presión en un medio líquido a una tasa constante de 95 ± 5 ml/min contra el diafragma de caucho.

c) Diafragma: El diafragma debe ser de caucho sintético moldeado de $1,80 \pm 0,05$ mm de espesor, con un refuerzo central. El diafragma se coloca entre la mordaza de prensado inferior y el resto del aparato, de tal forma que antes que el diafragma se extienda por presión inferior, el centro de su superficie superior esté por debajo del plano de la superficie de sujeción. La presión requerida para levantar la superficie libre del plano del diafragma deberá ser de 30 ± 5 kPa. Esta presión deberá ser revisada por lo menos una vez al mes, haciendo puente con un manómetro adecuado para medir esa presión. El diafragma se deberá inspeccionar frecuentemente para ver si hay distorsión permanente y renovarlo si es necesario.

d) Medidor de presión: Se debe utilizar un medidor de máxima presión de tipo Bourdon, con una capacidad adecuada, graduado en libras y con una precisión

dentro del rango de su escala del 1% de su capacidad máxima. La capacidad del medidor debe ser tal que las lecturas individuales se localicen entre el 25% y el 75% de la capacidad total.

e) Sistema hidráulico de presión: Consiste en un medio de aplicación de presión hidrostática con un incremento controlado en la parte inferior del diafragma hasta que el espécimen de ensayo estalle. La presión se aplica por medio de un fluido que se desplaza a una tasa de 95 ± 5 ml/min. El fluido es desplazado en la cámara de presión del aparato por medio de un pistón. El fluido recomendado es un USP químicamente puro con 96% de glicerina. El sistema hidráulico, incluyendo los medidores (manómetros), debe ser montado de tal forma que quede libre de vibraciones externas inducidas. Debe existir un medio para que en el instante del estallido del espécimen se interrumpa cualquier aplicación posterior de presión y para mantener inalterable el contenido del recipiente de presión hasta que la presión total de estallido y la requerida para expandir el diafragma indicado en el manómetro, sean registradas.

Nota: Se puede usar Etilenglicol para sustituir la glicerina.

Láminas de aluminio para calibración del equipo: Láminas de aluminio ensayadas previamente, con una resistencia al estallido entre 70 y 790 kPa, se emplean para verificar el correcto funcionamiento del equipo.

El número de especímenes para este ensayo es de 10, tomados a una distancia mínima de 1/10 del ancho a partir del borde de la tela. De cada muestra se cortan especímenes cuadrados de 125 mm de lado o circulares de 125 mm de diámetro.

3.4.8.4 PROCEDIMIENTO

a) Aparato de impulsión manual

1. Se inserta el espécimen acondicionado bajo el trípode, tirando el geotextil a través de la base, se prensa ajustándolo hasta el nivel de prensado, girándolo a la derecha tanto como sea posible.
2. Se gira el volante manual en el sentido de las agujas del reloj, a una tasa uniforme de 120 rpm hasta que la muestra rompa.
3. Se para de girar el volante en el instante de rotura del espécimen.
4. Inmediatamente después de la rotura y en rápida sucesión, se alivia el nivel de prensado sobre el espécimen.
5. Luego se disminuye el esfuerzo sobre el diafragma por movimiento del volante en sentido contrario a las agujas del reloj hasta su posición inicial y se registra la presión requerida para inflar el

diafragma (presión de tara). Se registra la presión total requerida para la rotura del espécimen.

Nota: Si la presión deja de incrementarse por limitaciones de la escala y el espécimen no se ha roto, se presiona la palanca de maniobra para retirar la presión; además se indica que la resistencia del geotextil excede las limitaciones dimensionales del aparato. Si se nota deslizamiento del espécimen se descarta el resultado y se utiliza un nuevo espécimen.

b) Aparato de impulsión por motor

1. Se inserta el espécimen acondicionado bajo el trípode.

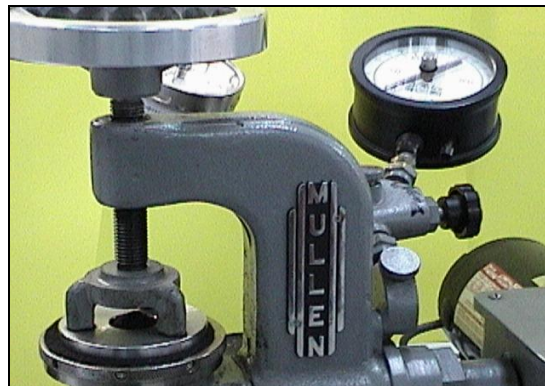


Fig. 34 Colocación del espécimen en la maquina de ensayo Burst.

2. Se infla el diafragma. Mientras que el diafragma se esté inflando, se debe asegurar que no haya pérdidas de presión en el momento de rotura del espécimen. Se registra la presión obtenida.

3. Inmediatamente después de la rotura y en rápida sucesión, se retira la palanca de prensado sobre el espécimen, luego se alivia la tensión sobre el diafragma y se registra la presión requerida para inflar el diafragma (presión de tara).



Fig. 35 Especimen deformándose mientras se infla el diafragma.

3.4.8.5 CÁLCULOS

Se calcula la resistencia al estallido de cada espécimen restando la presión requerida para inflar el diafragma de la presión total requerida para la rotura del espécimen. Se calcula el promedio de todos los especímenes ensayados.

3.4.9 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO USANDO UN PISTÓN DE PRUEBA DE 50MM DE DIÁMETRO. ASTM - D 6241-99.

Esta norma establece el procedimiento para determinar la resistencia al punzonamiento estático de los geotextiles tomando una muestra que es sujeta por medio de abrazaderas sin ser tensionada entre placas circulares y es asegurada en una máquina de tensión o compresión, o ambas. Una fuerza es ejercida en el centro de la parte que esta sin apoyar por un pistón de acero fijo al indicador de carga hasta que ocurre la ruptura. La fuerza máxima registrada es el valor de la resistencia al punzonamiento.

Esta metodología de ensayo es un índice usado para medir la fuerza requerida para punzonar un geotextil y/o productos relacionados. El tamaño relativamente grande del pistón provee una fuerza multidireccional en el geotextil.

3.4.9.1 MUESTREO

Deberá realizarse de acuerdo a lo establecido en la norma de ensayo ASTM D - 4354-89. Método de muestreo de geosintéticos para ensayos. (Ver 3.4.1)

3.4.9.2 MATERIAL Y EQUIPO

Máquina Universal de Ensayo. Debe ser del tipo tasa - constante de extensión (CRE), con registrador gráfico.

Pistón de acero. Con un diámetro plano de $50 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ con un borde radial de $2.5 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$.

Aparatos de fijación. Constan de platos concéntricos con un diámetro interno de 150 mm, capaz de sujetar el espécimen sin que este se deslice (Él límite del deslizamiento de la muestra durante la prueba es de 5 mm). El diámetro externo se sugiere sea de 250 mm. El diámetro de los agujeros usados para asegurar la abrazadera en anillo se sugiere sea de 11 mm y estén igualmente espaciados en un diámetro de 220 mm.

Las superficies de estas placas pueden ser de estrías de caucho en forma de "O" ó papel lija áspero pegadas en ambas superficies. Se recomienda que los pernos de 9.5 mm estén soldados al plato inferior de modo que la placa superior pueda montar sobre los pernos y las tuercas se puedan apretar con facilidad.

3.4.9.3 PROCEDIMIENTO

1. Lleve las muestras al equilibrio de humedad en las condiciones ambientales para evaluar geotextiles. Se considera haber llegado al equilibrio cuando el aumento en la masa de la muestra en pesajes sucesivos hechos a intervalos no menores de 2 horas no sobrepasa en 0.1 % la masa de la muestra. En la práctica se conoce que en los geotextiles frecuentemente no es fácil controlar los incrementos de peso

y por ende determinar cuando se ha alcanzado el equilibrio. En estos casos puede ser suficiente en las pruebas de rutina exponer la tela a las condiciones ambientales especificada por un período de tiempo razonable antes de que los especímenes sean evaluados. En la mayoría de los casos un tiempo de al menos 24 horas es aceptable.

2. Escoja el rango de carga en la máquina de ensayos de tensión de forma que la ruptura ocurra entre 10 y 90 % de dicho rango.
3. Centre y asegure la muestra entre las placas asegurándose que la muestra se extienda más allá de los bordes exteriores de las placas luego se sujetar con abrazaderas.
4. Si se observa un desplazamiento mayor a 5 mm, la prueba debe ser descartada y repetida.
5. Realizar el ensayo a una velocidad de 50 mm/min hasta que el pistón de punzonamiento rompa completamente la muestra. Leer el valor de resistencia máxima y el desplazamiento registrado por el instrumento de medición durante el ensayo. Para evaluar geocompuestos, puede presentarse un pico doble. Si es así, el valor inicial debe ser el reportado incluso si el segundo es más alto.

3.4.10 MÉTODO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD AL AGUA DE LOS GEOTEXILES POR MEDIO DE LA PERMITIVIDAD. ASTM D - 4491-96.

Este método de ensayo proporciona procedimientos para determinar la conductividad hidráulica (permeabilidad al agua) de los geotextiles en términos de permitividad bajo condiciones de ensayo estandarizadas, sin someter el espécimen a carga normal. Esta norma incluye dos procedimientos: **El ensayo de cabeza constante y el ensayo de cabeza variable.**

1. **Ensayo de cabeza constante:** Se mantiene una cabeza de 50 mm de agua sobre el espécimen de geotextil durante el ensayo. Se determina el caudal por método volumétrico. El ensayo de cabeza constante es usado cuando el caudal de agua que pasa a través del geotextil es tan grande que se dificulta tomar lecturas en el cambio de la cabeza con respecto al tiempo.
2. **Ensayo de cabeza variable:** Se establece una columna de agua que pasa a través del espécimen de geotextil y se toman las lecturas de los cambios de cabeza con respecto al tiempo. El caudal de agua a través del geotextil debe ser lo suficientemente lento para obtener medidas exactas.

Se ha demostrado que los datos obtenidos utilizando cualquiera de los dos ensayos arrojan resultados concordantes. La selección del método de ensayo se deja a criterio del responsable del ensayo.

El equipo requerido para realizar este ensayo deberá conforme a uno de los siguientes arreglos:

- a. Los aparatos deben ser capaces de mantener una cabeza constante de agua en el geotextil que está siendo probado.
- b. Los aparatos deben ser capaces de ser usados como el aparato del ensayo de cabeza variable.

3.4.10.1 DEFINICIONES

Condiciones ambientales para ensayo de geotextiles. Aire que se mantiene a una humedad relativa de $65 \pm 5\%$ y una temperatura de $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Permeabilidad. Es la propiedad de los materiales de permitir el paso de un fluido a través de si mismo y se define como la tasa de un liquido o gas que pasa a través del material bajo un diferencial de presión.

Permeabilidad de Geotextiles. Conductividad hidráulica.

Permitividad de geotextiles. Es el caudal de agua, en condiciones laminares, a través de una sección transversal unitaria, bajo una cabeza unitaria, en dirección normal al geotextil.

3.4.10.2 MUESTREO

Deberá realizarse de acuerdo a lo establecido en la norma de ensayo ASTM D - 4354-89. Método de muestreo de geosintéticos para ensayos. (Ver 3.4.1)

3.4.10.3 PREPARACIÓN DEL AGUA DE PRUEBA

Para obtener resultados confiables, se debe usar agua limpia y desaireada usando una bomba de vacío de 710 mm de mercurio (Hg) por un periodo de tiempo que lleve el contenido de oxígeno disuelto del nivel más bajo hasta un máximo de seis (6) partes por millón. El contenido de oxígeno disuelto podrá ser determinado por un aparato químico comercial disponible o por un medidor de oxígeno disuelto.

El sistema de eliminación de aire podrá ser un sistema comercial disponible o podrá consistir en una bomba de vacío capaz de remover un mínimo de 150 l/min de aire conectado con un tanque de almacenamiento no colapsable, con capacidad suficiente para almacenar una serie de pruebas o por lo menos una prueba al mismo tiempo. El agua desaireada se debe almacenar en un tanque cerrado hasta alcanzar la temperatura de laboratorio.

3.4.10.4 PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES

Con el propósito de obtener un valor representativo de la permitividad se deben tomar especímenes de cada metro cuadrado a ensayar.

Seleccionar cuatro (4) especímenes A, B, C y D tal como se indica en la Fig. 36. Los especímenes deben cortarse de acuerdo con las dimensiones y las recomendaciones del aparato disponible. El diámetro de los especímenes debe ser mínimo de 25 mm.

Acondicionar el espécimen, saturando la muestra en agua desaireada dentro de un recipiente cerrado, manteniéndolo por un periodo de dos (2) horas bajo las condiciones de laboratorio.

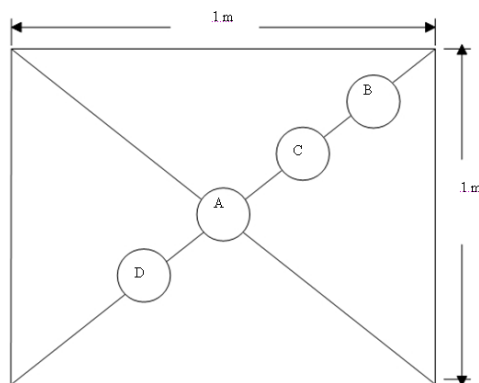


Fig. 36 Patrón de muestreo.

3.4.10.5 MATERIAL Y EQUIPO

El aparato en sí no debe intervenir en el establecimiento de los parámetros del ensayo (caudal, cabeza, sección transversal, tiempo). Se debe establecer una

curva de calibración (caudal vs cabeza) para el aparato sólo con el propósito de establecer las correlaciones correspondientes.

El dispositivo consiste en una unidad alta y una baja, las cuales están sujetas la una de la otra. El espécimen geotextil es colocado en la parte inferior de la unidad alta. El dispositivo tiene además un tubo para la medición del valor de la cabeza constante. La válvula colocada en el tubo de descarga permite ajustes de la cabeza de agua en la parte inferior del espécimen.



Fig. 37 Dispositivo de ensayo.

Para obtener resultados confiables, se debe usar agua limpia y desairada usando una bomba de vacío de 710 mm de mercurio (Hg) por un periodo de tiempo que lleve el contenido de oxígeno disuelto del nivel más bajo hasta un máximo de seis (6) partes por millón. El contenido de oxígeno disuelto podrá ser determinado por un aparato químico comercial disponible o por un medidor de

oxígeno disuelto. El agua desairada se debe almacenar en un tanque cerrado hasta alcanzar la temperatura de laboratorio.

El sistema de eliminación de aire podrá ser un sistema comercial disponible o podrá consistir en una bomba de vacío capaz de remover un mínimo de 150 l/min de aire conectado con un tanque de almacenamiento no colapsable, con capacidad suficiente para almacenar una serie de pruebas o por lo menos una prueba al mismo tiempo.

Con el propósito de obtener un valor representativo de la permitividad se deben tomar especímenes de cada metro cuadrado a ensayar y seleccionar cuatro (4) especímenes cortados de acuerdo con las dimensiones y las recomendaciones del aparato disponible. El diámetro de los especímenes deber ser mínimo de 25 mm.

Para acondicionar los especímenes, estos deben saturarse en la muestra de agua desairada dentro de un recipiente cerrado, manteniéndolo por un periodo de dos (2) horas bajo las condiciones de laboratorio.

3.4.10.6 PROCEDIMIENTO ENSAYO DE CABEZA CONSTANTE

1. Ensamblar el aparato con la muestra en su lugar.

2. Abrir la válvula de purga, empiece a llenar el sistema a través de la tubería de medición con agua desairada, si se llena de esta forma se obliga a que el aire atrapado salga del sistema y/o del geotextil.

El agua debe estar en el nivel inferior del espécimen de ensayo en el momento la colocación del espécimen.

3. Cerrar la válvula de purga una vez que el agua salga a través de ésta. Continuar con el llenado del aparato con agua desairada, hasta que el nivel de agua alcance el reboce.
4. Con el agua fluyendo en el sistema a través de la entrada de agua, ajustar la tubería de descarga con una tasa de flujo de agua dentro del aparato hasta obtener 50 mm de cabeza de agua sobre el geotextil. Esta es la cabeza (h) bajo la cual la prueba puede ser llevada a cabo inicialmente.
5. Sumergir un tubo acoplado a la fuente de vacío hasta la superficie del geotextil, luego se debe mover el tubo suavemente sobre la superficie mientras que se aplica una ligera aspiración con el propósito de remover cualquier partícula de aire atrapada que pueda estar dentro o sobre el

espécimen. Si es necesario, ajuste la cabeza a 50 mm después de remover la aspiradora.

6. Registrar los valores de tiempo (t), caudal (Q) recogidos del tubo de descarga y temperatura del agua (T), sosteniendo la cabeza a 50 mm. Hacer al menos 5 lecturas por espécimen y determinar el valor promedio de la permitividad por espécimen. El caudal debe ser medido en mililitros (ml) y luego convertido a milímetros cúbicos (mm^3) para el cálculo de permitividad. ($1 \text{ ml} = 1,000 \text{ mm}^3$).

7. Después de que la primera muestra ha sido probada bajo una cabeza de 50 mm, usando la misma muestra, empezar con 10 mm de cabeza y repetir el procedimiento. Incrementar la cabeza en 5 mm después de cada cinco lecturas, hasta alcanzar 75 mm. Usar esta información para determinar la región de flujo laminar. Trazar la tasa de flujo volumétrico v contra la cabeza. La cantidad de flujo Q debe ser corregida para 20°C . La porción inicial de la línea recta de la gráfica define la región del flujo laminar. Si los 50 mm de cabeza están fuera de la región de flujo laminar, repetir el ensayo usando una cabeza de agua en la mitad de la región del flujo laminar.

8. Repetir los pasos 1 a 6 en los tres especímenes adicionales acondicionados previamente.

3.4.10.7 PROCEDIMIENTO ENSAYO DE CABEZA VARIABLE

1. Realizar el mismo procedimiento descrito en los pasos 1 al 5 del ensayo de cabeza constante.
2. Ajustar el tubo de descarga de manera que la salida se encuentre por debajo del nivel del espécimen de ensayo.
3. Ajustar el nivel de agua a 150 mm. Una vez que el agua alcance este nivel, cortar el abastecimiento de agua y permitir que el nivel de agua descienda a 80 mm. En este punto, comenzar a cronometrar y determinar el tiempo para el cual el nivel de agua desciende hasta 20 mm (t).
4. Registrar el diámetro interno (d) de la unidad superior, el diámetro (D) de la porción expuesta del espécimen y la temperatura del agua (T). Hacer al menos cinco lecturas por espécimen ensayado.

Repetir el procedimiento de los tres especímenes restantes acondicionados previamente.

3.4.10.8 CÁLCULO ENSAYO CABEZA CONSTANTE

Cálculo de permitividad, ψ

$$\psi = \frac{QR_t}{hAt} \quad (1)$$

Donde:

ψ = Permitividad (s^{-1})

Q = Cantidad de flujo (mm^3)

h = Cabeza de agua en la muestra (mm)

A = Sección transversal de área del área de prueba de la muestra (mm^2)

t = Tiempo de flujo (s)

R_t = Factor de corrección de temperatura determinado usando la ecuación siguiente.

$$R_t = \frac{\nu_t}{\nu_{20^\circ}} \quad (2)$$

Donde:

ν_t = Viscosidad del agua a temperatura de prueba en milipoises, ver TABLA

18.

ν_{20° = Viscosidad del agua a 20°C en milipoises.

Nota: Poiseuille = $kg\ s^{-1}\ m^{-1} = Nsm^{-2}$

TABLA 18. Viscosidad del agua a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Viscosidad (Poiseuille)
0	1.7921 x 10 ⁻⁶
1	1.7313 x 10 ⁻⁶
2	1.6278 x 10 ⁻⁶
3	1.6191 x 10 ⁻⁶
4	1.5674 x 10 ⁻⁶
5	1.5188 x 10 ⁻⁶
6	1.4728 x 10 ⁻⁶
7	1.4284 x 10 ⁻⁶
8	1.3860 x 10 ⁻⁶
9	1.3462 x 10 ⁻⁶
10	1.3077 x 10 ⁻⁶
11	1.2713 x 10 ⁻⁶
12	1.2363 x 10 ⁻⁶
13	1.2028 x 10 ⁻⁶
14	1.1709 x 10 ⁻⁶
15	1.1404 x 10 ⁻⁶
16	1.1111 x 10 ⁻⁶
17	1.0828 x 10 ⁻⁶
18	1.0559 x 10 ⁻⁶
19	1.0299 x 10 ⁻⁶
20	1.0050 x 10 ⁻⁶
21	0.9810 x 10 ⁻⁶
22	0.9579 x 10 ⁻⁶
23	0.9358 x 10 ⁻⁶
24	0.9142 x 10 ⁻⁶
25	0.8937 x 10 ⁻⁶

1. Calcular la permitividad para las cinco lecturas por espécimen ensayado con 50 mm de cabeza.
2. Determinar la permitividad promedio para cada espécimen ensayado.
3. Determinar la permitividad promedio para los cuatro especímenes ensayados.

4. Determinar la desviación estándar y el coeficiente de variación para los cuatro especímenes ensayados.

3.4.10.9 CÁLCULO ENSAYO CABEZA VARIABLE

Cálculo de permitividad, ψ

$$\psi = [(a / At) \ln(h_0 / h_1)] R_t$$

Donde:

$A = \pi D^2/4$; Sección transversal del área del espécimen de ensayo. (mm^2).

$a = \pi d^2/4$; Sección transversal del tubo de medición estándar por encima del nivel del espécimen (mm^2).

t = Tiempo para que la cabeza descienda de h_0 a h_1

h_0 = Cabeza inicial (80 mm).

h_1 = Cabeza final (20 mm).

R_t = Factor de corrección de temperatura determinado usando la ecuación (2).

Repetir los cálculos para conformar los cinco datos por espécimen. Determinar la permitividad promedio para los especímenes individuales ensayados.

3.4.11 MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA TASA DE FLUJO Y LA TRANSMISIVIDAD HIDRÁULICA DE UN GEOSINTÉTICO UTILIZANDO UNA CABEZA CONSTANTE. ASTM D - 4716 - 03.

La tasa de flujo por unidad de ancho es determinada midiendo la cantidad de agua que pasa por un espécimen de prueba en un intervalo específico de tiempo bajo un esfuerzo normal y un gradiente hidráulico específico. La transmisividad hidráulica debería ser determinada sólo por pruebas que exhiben una tasa de flujo lineal por unidad de ancho contra el gradiente relacionado, es decir, flujo laminar.

3.4.11.1 MUESTREO

Deberá realizarse de acuerdo a lo establecido en la norma de ensayo ASTM D - 4354-89. Método de muestreo de geosintéticos para ensayos. (Ver 3.4.1)

3.4.11.2 MATERIAL Y EQUIPO

Base: Es una superficie plana y lisa, con una medida suficiente para poder alojar al espécimen de prueba. Para pruebas con geotextiles, todas las superficies deberán estar cubiertas con una capa de caucho para filtraciones.

Reservorio: Este puede ser de material plástico, de vidrio o metal. Su altura debe ser al menos igual a la longitud total del espécimen, este debe tener la

capacidad de mantener un nivel constante de agua para cualquier altura de ensayo.

Mecanismo de carga: Este mecanismo debe ser capaz de generar un esfuerzo normal a la compresión sobre el espécimen de la prueba en un rango desde los 10 kPa hasta por lo menos 500 kPa sobre un área aproximada de 300 mm por 300 mm que son las dimensiones recomendadas para el tamaño del espécimen.

Vertedero de desagüe: Debe ser por lo menos del ancho de la base o ancho del espécimen, puede ser rectangular o triangular y debe estar localizado a una altura mayor a la del espécimen.

Colector de desagüe: El colector debe tener el tamaño suficiente para poder captar el flujo de salida del aparato para poder ser medido para posteriores cálculos.

Manómetros: Están ubicados a la entrada y a la salida del espécimen, los manómetros deben ser en tubería transparente y deben tener una altura por lo menos igual a la altura del nivel máximo de agua alcanzado en el reservorio.

3.4.11.3 PROCEDIMIENTO

Los gradientes hidráulicos y las superficies de contacto del espécimen son seleccionados por el usuario, ya sea para una prueba índice o como una prueba de desempeño para modelar una serie de parámetros dados, tan cercano como sea posible. Estas medidas pueden ser repetidas bajo el incremento del esfuerzo normal seleccionado por el usuario.

1. Poner el material de base, si lo hay, sobre el aparato de prueba.
2. Cortar el espécimen de prueba a las dimensiones requeridas y luego poner el espécimen de prueba sobre el de base, asegurándose que todas las arrugas, dobleces, etc., sean eliminados.
3. Sellar los lados del espécimen paralelos a la dirección del flujo recubriendo el espécimen de prueba con una membrana delgada de caucho o plástico, de baja compresividad, usando un sello de borde de caucho o cera para prevenir la filtración.
4. Poner el recubrimiento sobre el material de prueba, si lo hay.

5. Ubicar el plato de carga en el montaje de prueba, aplicando un pequeño esfuerzo, entre 5 a 10 kPa, e ir llenando lentamente el embalse con agua, permitiendo que el agua fluya por el espécimen de prueba.
6. Desde este punto de la prueba en adelante, el espécimen debe mantenerse saturado en todo momento.
7. La temperatura de la prueba debe estar controlada y debe mantenerse a $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante la duración de la prueba.
8. Verificar si existen corrientes de flujo en los límites del espécimen, si los hay se debe reacomodar el espécimen como es requerido en el procedimiento.
9. Poner el espécimen bajo el mínimo esfuerzo normal por un periodo mínimo de 15 minutos.
10. El periodo mínimo de posicionamiento sugerido puede no ser suficiente para pruebas en geosintéticos que puedan presentar inestabilidad estructural con el paso del tiempo u otra respuesta a la compresibilidad que impacten la tasa de flujo para esfuerzos aplicados por más de 15 minutos. El periodo de prueba se debe establecer con base a la

compresión a largo plazo y esfuerzos comparables a los que posiblemente se pueda someter el material.

11. Para pruebas de desempeño, el periodo establecido de prueba se tiene que extender considerablemente para poder determinar la tasa de flujo a largo plazo, especialmente para cierto tipo de geosintéticos y secciones que incluyan suelos que puedan presentar compresiones o deformaciones a largo plazo.

12. Luego de que el periodo de prueba haya finalizado, llenar el reservorio al nivel correspondiente para el gradiente seleccionado para la prueba.

13. Para determinar el gradiente hidráulico se computa la diferencia entre las elevaciones del nivel del agua entre el reservorio y los manómetros, dividiendo esta diferencia por la longitud del espécimen de prueba. Para la mayoría de las pruebas la longitud del espécimen es de 300 mm. Para variar el gradiente se debe ajustar la altura en el reservorio y calcular de nuevo este valor.

14. En el momento que se observe flujo laminar a través del espécimen, que permita por lo menos un flujo de 0.0005 m^3 a través del espécimen. Tomar el tiempo requerido por lo menos por otros 0.0005 m^3 de agua

adicional que pasen a lo largo del espécimen, si este tiempo excede los 15 minutos, anotar la cantidad recolectada a los 15 minutos para calcular la tasa de flujo por unidad de ancho o la transmisividad hidráulica, o ambas. Repetir esta lectura por lo menos 3 veces por cada gradiente hidráulico seleccionado.

15. Incrementar el esfuerzo normal a compresión y repetir el procedimiento mencionado para el cálculo de la tasa de flujo, hasta alcanzar el nivel máximo de esfuerzo deseado.

16. Comparar los datos de la tasa de flujo de cada prueba realizada, en una curva de calibración apropiada para el aparato. Para la tasa de flujo dada, si el valor del gradiente hidráulico por bloque de calibración es mayor al 5% del gradiente correspondiente al geosintético, entonces los datos de la prueba se invalidan, y el aparato no puede ser usado para evaluar la condición de la prueba modelada.

17. Repetir el anterior procedimiento para los demás especímenes de prueba.

3.4.12 MÉTODO DE ENSAYO PARA MEDIR EL DETERIORO DE GEOTEXTILES A LA EXPOSICIÓN DE LUZ ULTRAVIOLETA Y AGUA (APARATO DEL TIPO ARCO XENÓN). ASTM D - 4355-92.

Este método cubre la evaluación de la disminución de la resistencia a la tensión de geotextiles expuestos a luz ultravioleta y al agua. El aparato para la exposición a la luz y al agua, emplea como fuente de luz un arco de xenón.

Los geotextiles son elaborados con diferentes procesos y formulaciones de polímeros, haciendo que posean diferentes sensibilidades a la radiación ultravioleta. Esta radiación proveniente del Sol, cambia según el tiempo de exposición, el ángulo de inclinación sobre el horizonte; condiciones topográficas, atmosféricas y la geografía del lugar. El ensayo que usa el arco de Xenón no puede simular todas estas variables, por lo que se debe relacionar directamente este ensayo a la luz artificial, con resultados de ensayos de exposición directa al sol para cada geotextil específico, al igual que para cada lugar.

Este procedimiento evalúa geotextiles bajo condiciones normalizadas de humedad y temperatura para tres diferentes periodos de tiempo junto con probetas sin exposición a la luz ultravioleta. Este método de ensayo permite al

usuario desarrollar curvas de degradación de los geotextiles que se estén ensayando.

La curva de deterioro obtenida de este ensayo permite al usuario determinar la forma de como se deteriora un geotextil cuando está expuesto simultáneamente a la luz ultravioleta y al agua.

3.4.12.1 MUESTREO

Deberá realizarse de acuerdo a lo establecido en la norma de ensayo ASTM D - 4354-89. Método de muestreo de geosintéticos para ensayos. (Ver 3.4.1)

3.4.12.2 MATERIAL Y EQUIPO

Aparato de arco Xenón, bien de tipo BH o C: El aparato debe estar en capacidad de exponer a los especímenes a ciclos de luz solamente, seguido de un rocío de agua junto con exposición a la luz bajo condiciones controladas de atmósfera de ensayo y deberá estar equipado con un filtro de vidrio de borosilicato tanto interna como externamente.

Aparato para ensayo de resistencia: conforme al o descrito para el ensayo GRAB, (ASTM D - 4632).

3.4.12.3 PREPARACIÓN DE LOS ESPECIMENES

Tomar de cada muestra de laboratorio, dos pedazos que posean un metro cuadrado, (1 m^2) cada uno. Se debe desechar una franja en cada borde de la muestra de laboratorio correspondiente a $1/10$ del ancho de ésta para tomar cada una de las áreas de 1 m^2 , de donde se tomarán los especímenes de ensayo. Uno de estos será usado para realizar las evaluaciones en el sentido de la producción o urdimbre y el otro en el sentido transversal o trama. Se seleccionarán aleatoriamente 20 especímenes con una dimensión de 150 mm de largo, por 20 mm de ancho.

3.4.12.4 PROCEDIMIENTO

1. Usar el aparato de ensayo Xenón - Argón tal como lo establece la practica G 26, usando al método A y aparato tipo BH o C. Se usará un ciclo de cámara de 120 minutos, como se define a continuación. 90 minutos de luz a una temperatura de $65 \pm 5^\circ\text{C}$, de panel negro, y $30 \pm 5\%$ de humedad relativa, seguido de 30 minutos de luz y rocío de agua. Cuando estén disponibles radiómetros capaces de medir porciones discretas de espectro continuo, se establecerá un nivel de radiación mínimo de 0.35 W/m^2 con una pasabanda de 1 nm a 340 nm. Cuando no se cuente con radiómetros, se determinará el nivel de vatios según la practica ASTM G - 26.

2. Aleatoriamente seleccione 5 especímenes por cada dirección principal de la muestra de laboratorio y a los que se les asignará a cada uno los siguientes tiempos de exposición: 0 (sin exposición), 150, 300 y 500 horas. Coloque en el aparato 15 especímenes de cada dirección principal tomados de la muestra de laboratorio, se colocara con la cara que estará más expuesta en el campo, de tal forma que quede más expuesto ése lado dentro del aparato.

3. Rote la posición de los especímenes como se establece en la práctica G-26. al final de cada tiempo de exposición, extraiga del aparato 5 especímenes de cada dirección para ser sometidos al ensayo de tensión Grab (ASTM D - 4632).

3.4.12.5 CÁLCULO

Calcular para cada dirección principal la resistencia promedio de todos los especímenes, tanto expuesto o no (especímenes de control), a los ciclos de luz y humedad. Calcular el porcentaje de pérdida de la resistencia a la tensión para cada uno de los tiempos establecidos por el ensayo para cada dirección.

Determine la desviación estándar de la resistencia a la tensión para cada uno de los grupos de especímenes expuestos incluyendo a los no expuestos para las dos direcciones principales.

3.4.13 MÉTODO ESTÁNDAR PARA DETERMINAR LA RETENCIÓN DE ASFALTO DE GEOTEXILES USADOS EN REPAVIMENTACIONES ASFÁLTICAS. ASTM D - 6140-00.

Esta norma consiste en medir la capacidad de retención asfáltica de los geotextiles de repavimentación la cual se define como el volumen de cemento asfáltico retenido por geotextiles de repavimentación por unidad de área del espécimen después de ser sumergido en cemento asfáltico. El uso de este método esta dado para establecer un valor índice para proveer criterios estándar y una base para reportes uniformes. Los especímenes de ensayo son pesados individualmente antes de ser sumergidos en cemento asfáltico que será usado para la capa superior. El cemento asfáltico se mantiene a una temperatura específica.

Después de ser sumergidos, los especímenes son colgados para ser secados en horno por un periodo de tiempo especificado en el horno a la misma temperatura. Después de haber sido completado el proceso de ser los especímenes sumergidos y secados, cada espécimen es pesado y la retención asfáltica es determinada.

Este método de ensayo se refiere al procedimiento para determinar la retención de asfalto para geotextiles. Geotextiles de repavimentación son usados en un

sistema de membrana textil como intercapa en pavimentos previa a la colocación de una capa asfáltica superior.

3.4.13.1 MUESTREO

Deberá realizarse de acuerdo a lo establecido en la norma de ensayo ASTM D - 4354-89. Método de muestreo de geosintéticos para ensayos. (Ver 3.4.1)

3.4.13.2 MATERIAL Y EQUIPO

Balanza: La balanza debe tener una capacidad y una sensibilidad suficiente para pesar los especímenes con una precisión de ± 0.1 gramos.

Troquel de corte: El troquel debe medir 100 mm por 200 mm (4 por 8 pulg) con una tolerancia de 1 mm (1/16 pulg.) en cada dimensión.

Horno convencional mecánico: Deberá tener la capacidad de mantener la temperatura requerida de ensayo con una tolerancia de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ (4°F).

Cemento Asfáltico: Debe cumplir con unas condiciones de penetración 60 - 70 décimas de milímetros, o equivalente, o recomendado por la agencia específica. El cemento asfáltico no deberá ser usado por más de tres series de ensayos. Calentar y enfriar el asfalto repetidamente puede cambiar la viscosidad de este y conducir a valores más altos de retención de asfalto. Si se observa una

tendencia de incremento en los valores de retención asfáltica, el cemento asfáltico debería ser cambiado.

El número de especímenes necesarios para la prueba es de cuatro, cortados en la dirección transversal de la maquina y cuatro especímenes en la dirección de la maquina para cada muestra con una dimensión de 100 por 200 mm.

3.4.12.3 PROCEDIMIENTO

1. Seleccione en forma aleatoria cuatro especímenes en la dirección transversal y longitudinal de la maquina con una medida de 100 x 200 mm (4 x 8 pulgadas) de la muestra individual de ensayo.
2. Acondicione los especímenes de ensayo individualmente y luego péselos de manera individual con aproximándolos al 0.1 g.
3. Precaliente el cemento asfáltico a $135 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ($275 \pm 4^{\circ}\text{F}$).
4. Sumerja de los especímenes de ensayo en el cemento asfáltico especificado mantenido a una temperatura de $135 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ($275 \pm 4^{\circ}\text{F}$) en un horno convencional mecánico. Mantenga los especímenes sumergidos por 30 min. Dos mordazas pueden ser colocadas en el geotextil, una en cada extremo para facilitar la manipulación del espécimen.

5. Después de la sumersión requerida, remueva el cemento asfáltico adicional de los especímenes saturados y cuélguelos para que se sequen (Longitud mayor vertical) en el horno a $135 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ($275 \pm 4^{\circ}\text{F}$). Cuelgue los especímenes de ensayo por 30 minutos de un extremo y luego 30 minutos del otro extremo para obtener una saturación uniforme del geotextil. Antes de cambiar la dirección del colgado de la muestra, coloque dos mordazas en la parte inferior, lo cual hará más fácil colgar el espécimen.
6. Permita que el cemento asfáltico se enfríe por 30 minutos y luego deseche cualquier exceso de cemento asfáltico tales como los goteos en los bordes, después de remover las mordazas que sostenían el espécimen.
7. Pese los especímenes saturados con una precisión de 0.1 g.

Nota: Se ha encontrado que este procedimiento puede no resultar en una completa saturación para geotextiles con una masa por unidad de área mayor a 170 g/m^2 . Para estos geotextiles, el interior de los especímenes debe ser inspeccionado visualmente buscando fibras que no han sido bañadas con asfalto. Si esta condición es encontrada, debe ser reportada con los resultados del ensayo.

3.5 ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN

3.5.1 SEPARACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE Y CAPAS GRANULARES EMPLEANDO GEOTEXTIL TEJIDO O NO TEJIDO.¹

3.5.1.1 DESCRIPCIÓN

Esta especificación se refiere al uso de geotextiles para prevenir la mezcla entre los suelos de subrasante y agregados o materiales seleccionados para conformar sub-bases, bases, o materiales para construir terraplenes; los que se colocarán sobre geotextiles de acuerdo a un espesor de diseño y valores de compactación establecidos, en los sitios señalados por los planos del proyecto o los indicados por el supervisor.

3.5.1.2 MATERIALES

Las propiedades requeridas del geotextil para separación deben estar en función de la gradación del material granular, de las condiciones geomecánicas del suelo de subrasante y de las cargas impuestas durante la ejecución de los trabajos, permitiendo en todo momento el libre paso del agua.

a) Geotextil. Si se utilizará geotextil del tipo adecuado según las tablas presentadas al inicio de este capítulo (TABLAS 9 - 15), este deberá presentar las siguientes propiedades mecánicas e hidráulicas.

126_____

¹ Tomado de las especificaciones generales de construcción con geosintéticos para vías de AMANCO.

TABLA 19. Requisitos de los geotextiles no tejidos.

Propiedad	Norma de ensayo	VMPR
Requerimiento Propiedades de resistencia.		
Resistencia a la tensión GRAB	ASTM D 4632	700 N (158lb)
Resistencia al punzonamiento	ASTM D 4833	400 N (90lb)
Resistencia al punzonamiento CBR	ASTM D 6241	2.2 KN
Resistencia al rasgado trapezoidal	ASTM D 4533	295 N (66lb)
Resistencia al estallido Mullen	ASTM D 3786	2070 Kpa (300psi)
Requerimiento Propiedades Hidráulicas		
Tamaño de abertura aparente (TAA)	ASTM D4751	0.125 mm. (Tamiz 120)
Permeabilidad	ASTM D 4491	36×10^{-2} cm/s
Permitividad	ASTM D 4491	1.8 s^{-1}
Tasa de flujo	ASTM D 4491	5400 Lt/min/m ²
Resistencia UV (%Retenido@500Hr)	ASTM D 4355	> 70%

Si se utilizará geotextil del tipo Tejido, de cinta plana de PP, este deberá presentar las siguientes propiedades mecánicas e hidráulicas.

TABLA 20. Requisitos de los geotextiles tejidos.

Propiedad	Norma de ensayo	VMPR
Requerimiento Propiedades de resistencia.		
Resistencia a la tensión GRAB	ASTM D 4632	1120 N (252lb)
Resistencia al punzonamiento	ASTM D 4833	670 N (150lb)
Resistencia al punzonamiento CBR	ASTM D 6241	4.4 KN
Resistencia al rasgado trapezoidal	ASTM D 4533	400 N (90lb)
Resistencia al estallido Mullen	ASTM D 3786	4071 Kpa (590psi)
Requerimiento Propiedades Hidráulicas		
Tamaño de abertura aparente (TAA)	ASTM D4751	0.600 mm. (Tamiz 30)
Permeabilidad	ASTM D 4491	6.3×10^{-2} cm/s
Permitividad	ASTM D 4491	0.7 s^{-1}
Tasa de flujo	ASTM D 4491	1980 Lt/min/m ²
Resistencia UV (%Retenido@500Hr)	ASTM D 4355	> 70%

b) Material granular

El material granular debe cumplir con las especificaciones y características para carpeta, Sub-base Granular y Base Granular en el caso de que se esté proyectando la conformación de estructura para vía, o con características de material seleccionado para la conformación de terraplenes. La Secretaria de Integración Centroamericana (SIECA) en su **Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales** de marzo 2001, proporciona en la especificación 703.03 los parámetros que deben cumplir estos materiales:

703.03 Agregado para capas de sub-base, base y superficiales.²

I) General. Las partículas que constituyan estos agregados deben ser duras, limpias, resistentes, estables, libres de películas superficiales, de raíces, de restos vegetales y no contendrán partículas que tengan forma de laja o de aguja, piedra quebrada, escoria quebrada o grava quebrada.

Deben cumplir con los requerimientos siguientes:

(1) Abrasión de los Ángeles 50% máx, AASHTO T - 96.

- (2) Disgregabilidad (sanidad) en sulfato de sodio, pérdida después de 5 ciclos 12% máx, AASHTO T - 104.
- (3) Índice de durabilidad (grueso) 35 min, AASHTO T - 210.
- (4) Índice de durabilidad (fino) 35 min.
- (5) Caras fracturadas 50% min.
- (6) Libre de materia orgánica, grumos o arcillas.

No se usará material en que exista la alternativa de congelamiento y deshielo o humedecimiento y secado.

La granulometría de los agregados se obtendrá quebrando, cerniendo y mezclando si es necesario. El agregado fino, material que pasa la malla 4.75 mm, consiste en arena natural o quebrada, y partículas minerales finas.

II) Agregado para sub-base o base. En adición al punto "I"; debe cumplir con los requerimientos siguientes:

- (1) Granulometría TABLA 21.
- (2) Límite líquido 25 máx, (ASSHTO T - 89).

III) Agregado para capas superficiales. En adición al punto “I”; deben cumplir con los requerimientos siguientes:

(1) Granulometría e índice de plasticidad, TABLA 22 (AASHTO T - 90).

(2) Límite líquido 35 máx, AASHTO T - 89.

No se usarán materiales que contengan fibras de asbesto.

TABLA 21. Granulometría para Sub-base y Base

Abertura de la malla	Porcentaje por peso pasando la malla cuadrada				
	AASHTO T 27 Y AASHTO T 11				
	Requerimientos de granulometría				
	A (Sub-base)	B (Sub-base)	C (Base)	D (Base)	E (Base)
63.0 mm	100				
50.0 mm	97 – 100	100	100		
37.5 mm		97 – 100	97 – 100	100	
25.0 mm	65 – 79 (6)			97 – 100	100
19.0 mm			67 – 81 (6)		97 – 100
12.5 mm	45 – 69 (7)				
9.50 mm				56 – 70 (7)	67 – 79 (6)
4.75 mm	28 – 42 (6)	40 – 60 (8)	33 – 47 (6)	39 – 53 (6)	47 – 59 (7)
425 µm	9 – 17 (4)		10 – 19 (4)	12 – 21 (4)	12 – 21 (4)
75 µm	4 – 8 (3)	0 – 12 (4)	4 – 8 (3)	4 – 8 (3)	4 – 8 (3)

() Desviación (±) permisible

TABLA 22. Rango de valores para capas superficiales granulometría y plasticidad.

Malla	Porcentaje pasando / peso	% Desviación Permisible
25 mm	100	-
19 mm	97 – 100	-
4.75 mm	41 – 71	± 7
425 µm	12 – 28	± 5
75 µm	9 – 16	± 4
Índice plasticidad	8	± 4

c) Subrasante

Para considerar que la función de separación se dé por parte del geotextil, el suelo de subrasante deberá presentar un CBR mayor o igual a 3% ($\text{CBR} \geq 3\%$, o que la resistencia al corte sea mayor a 90 kPa aproximadamente) y estar en condición de no saturación.

3.5.1.3 EQUIPO

Se deberá disponer de los equipos necesarios para colocar el geotextil correctamente y el requerido para explotar, triturar, procesar, cargar, transportar, colocar y compactar el material granular.

3.5.1.4 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Para que el geotextil funcione correctamente en las estructuras de pavimento se requiere un adecuado proceso de instalación.

Aunque las técnicas de instalación son simples, la mayoría de los problemas de los geotextiles utilizados en las vías ocurren por procesos incorrectos de instalación.

Si el geotextil es punzonado o rasgado durante la construcción, colocado con numerosas arrugas, cubierto con insuficiente material, presentará deficiencias

en su funcionamiento y se producirá un deterioro prematuro de las estructuras de pavimento.

A continuación se presentan algunas recomendaciones importantes para el proceso de instalación del geotextil de separación referidos a la norma AASHTO M - 288-05.

- Los rollos de geotextil deben permanecer con sus empaques para que los protejan de la acción de los rayos UV, de la humedad, del polvo y otros materiales que pueden afectar sus propiedades durante el transporte y almacenamiento antes de ser colocados. Cada rollo debe estar marcado correctamente para su identificación y control en obra.



Fig. 38 Rollos de geotextil protegidos en sus empaques

- El sitio de instalación debe prepararse antes de extender el geotextil. La superficie de suelo de subrasante se debe limpiar (levantar la maleza, troncos, arbustos, bloques de roca y otros objetos tirados sobre la superficie), excavar o rellenar hasta la rasante de diseño.

- El geotextil se deberá extender en la dirección de avance de la construcción, directamente sobre la superficie preparada, sin arrugas o dobleces. Si es necesario colocar rollos adyacentes de geotextil, éstos se deberán traslapar o unir mediante la realización de costura, de acuerdo a este procedimiento.



Fig. 39 Procedimiento de colocación del geotextil.

- El mínimo traslape deberá ser de treinta centímetros (30 cm) y estará en función del CBR de la subrasante como aparece en el siguiente gráfico.

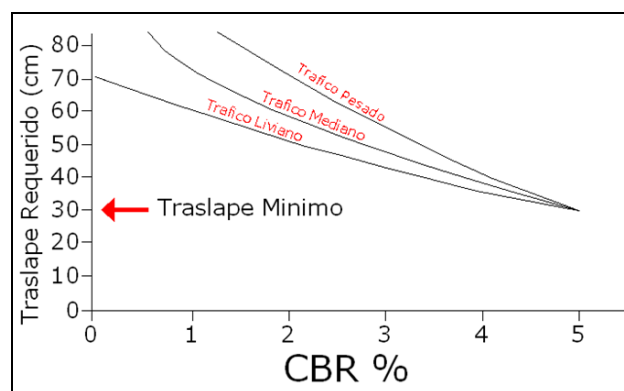


Gráfico 1. Traslape requerido vs. CBR%

- Para la realización de las costuras se deben utilizar máquinas especialmente diseñadas para esa función. Las costuras se pueden hacer con hilo en Kevlar,

aramida, polietileno, poliéster o polipropileno, pero en ningún caso se puede emplear hilo de fibra natural o un hilo que tenga una tenacidad mayor que la de la cinta o fibra del geotextil. No se permitirán costuras elaboradas con alambres. La densidad de la puntada deberá estar mínimo entre 150 y 200 puntadas por metro lineal y debe cumplir el 90% de la resistencia evaluada por el método Grab.

- Una vez desenrollado el geotextil sobre la superficie de la subrasante se debe cubrir lo más pronto posible con el material especificado en el diseño, evitando la degradación del geotextil por los rayos UV. No se debe permitir que el geotextil quede expuesto sin cubrir por un lapso mayor a 3 días.



Fig. 40 Colocación de material de relleno sobre geotextil.

- Se debe evitar el contacto directo de maquinaria sobre el geotextil, se recomienda tener un espesor mínimo de 15 cm de material entre las llantas de los equipos y la superficie del geotextil. Luego de colocar el material granular, éste se extiende y se compacta según las especificaciones del diseño, antes de

continuar con la instalación de las siguientes capas del material. Si se identifican zonas de suelos muy blandos o áreas muy inestables durante la preparación de la subrasante o después de la colocación del geotextil, éstas se deben rellenar con material seleccionado compactándolo hasta el nivel adecuado.

- Si por cualquier motivo debe transitar maquinaria directamente sobre el geotextil, este equipo o maquinaria debe ser de llantas y por ningún motivo puede ser de orugas. El tránsito debe realizarse a velocidades muy pequeñas para no causar deterioros sobre la superficie del geotextil.

- Cuando se presenta zonas con grandes deformaciones durante el proceso de compactación, el geotextil absorbe los esfuerzos a tensión y comienza a reforzar estas zonas de grandes deformaciones. Se debe verificar si en estos casos se hace necesaria la colocación de un geotextil por refuerzo y no por separación.

- El relleno se llevará a cabo hasta la altura indicada según las especificaciones del diseño.

3.5.1.5 CONTROL DE CALIDAD

Se deberá realizar de acuerdo a lo expuesto en el apartado 3.2.2

3.5.1.6 MEDIDAS

La unidad de medida del geotextil será el metro cuadrado (m²), aproximado al décimo del metro cuadrado de geotextil medido en obra, colocado de acuerdo con los planos y esta especificación, sin incluir traslapos, debidamente aceptado por el supervisor.

3.5.1.7 FORMA DE PAGO

El pago se hará al respectivo precio unitario del contrato por toda obra ejecutada, de acuerdo con los planos y esta especificación, y aceptada a satisfacción por el supervisor. El material de cobertura se pagará de acuerdo a la especificación del material utilizado.

3.5.2 REFUERZO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO CON GEOTEXTIL TEJIDO.³

3.5.2.1 DESCRIPCIÓN

Esta especificación se refiere al uso de geotextiles tejidos para el refuerzo de estructuras de pavimento, instalados sobre la capa de subrasante o el suelo de fundación de la estructura. Los geotextiles tejidos de refuerzo permiten incrementar la capacidad portante del sistema que conforman las capas estructurales de la vía o reducir los espesores de las capas estructurales;

³ Tomado de las especificaciones generales de construcción con geosintéticos para vías de AMANCO.

valores que se obtendrán de acuerdo a un diseño de refuerzo de la estructura de pavimento. El geotextil tejido se instalará en los sitios señalados por los planos del proyecto o los indicados por el supervisor.

3.5.2.2 MATERIALES

Las propiedades requeridas del geotextil para refuerzo deben estar en función de la gradación del material granular, de las condiciones geomecánicas del suelo de subrasante y de las cargas impuestas durante la ejecución de los trabajos, permitiendo en todo momento el libre paso del agua. Esta especificación no es apropiada para el refuerzo de terraplenes donde las condiciones de esfuerzos puedan causar fallas globales de la fundación o de estabilidad.

a) Geotextil tejido

Se utilizará geotextil del tipo tejido, el cual deberá presentar como mínimo las siguientes propiedades mecánicas e hidráulicas.

TABLA 23. Requerimientos mecánicos de los geotextiles tejidos.

Propiedad	Norma de ensayo	VMPR
Requerimiento Propiedades de resistencia.		
Resistencia a la tensión GRAB	ASTM D 4632	1400 N (315lb)
Resistencia al punzonamiento	ASTM D 4833	715 N (161lb)
Resistencia al punzonamiento CBR	ASTM D 6241	5.3 KN
Resistencia al rasgado trapezoidal	ASTM D 4533	440 N (990lb)
Resistencia al estallido Mullen	ASTM D 3786	4071 Kpa (590psi)

TABLA 24. Requerimientos hidráulicos de los geotextiles tejidos.

Requerimiento Propiedades Hidráulicas		
Tamaño de abertura aparente (TAA)	ASTM D4751	0.600 mm. (Tamiz 30)
Permeabilidad	ASTM D 4491	3.0×10^{-2} cm/s
Permitividad	ASTM D 4491	0.3 s^{-1}
Tasa de flujo	ASTM D 4491	500 Lt/min/m ²
Resistencia UV (%Retenido @ 500 Hr)	ASTM D 4355	> 70%

El valor del Tamaño de Abertura Aparente (TAA) representa el valor máximo promedio por rollo.

La permitividad del geotextil debe ser mayor que la del suelo ($\Psi_g > \Psi_s$). El supervisor podrá exigir una permeabilidad del geotextil mayor que la presentada por el suelo ($k_g > k_s$).

b) Material granular

El material granular debe cumplir con las especificaciones y características para carpeta, Sub-base Granular y Base Granular en el caso de que se esté proyectando la conformación de estructura para vía, o con características de material seleccionado para la conformación de terraplenes. Para las especificaciones de materiales granulares ver apartado “b” de 3.5.1.2

c) Subrasante

Para considerar que la función de refuerzo se dé por parte del Geotextil Tejido, el suelo de subrasante deberá presentar un CBR menor o igual a 3% (CBR \leq 3%, o que la resistencia al corte sea menor a 90 kPa aproximadamente) y estar en condición de no saturación.

3.5.2.3 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Para que el geotextil funcione correctamente en las estructuras de pavimento se requiere un adecuado proceso de instalación.

Aunque las técnicas de instalación son simples, la mayoría de los problemas de los geotextiles utilizados en las vías ocurren por procesos incorrectos de instalación. Si el geotextil tejido es punzonado o rasgado durante la construcción, colocado con numerosas arrugas, cubierto con insuficiente material, presentará deficiencias en su funcionamiento y se producirá un deterioro prematuro de las estructuras de pavimento.

A continuación se presentan algunas recomendaciones importantes para el proceso de instalación del geotextil tejido de refuerzo referidos a la norma AASHTO M - 288-05.

- Los rollos de geotextil tejido deben permanecer con sus empaques para que los protejan de la acción de los rayos UV, de la humedad, del polvo y otros materiales que pueden afectar sus propiedades durante el transporte y almacenamiento antes de ser colocados. Cada rollo debe estar marcado correctamente para su identificación y control en obra.

- El sitio de instalación debe prepararse antes de extender el geotextil tejido. La superficie de suelo de subrasante se debe limpiar (levantar la maleza, troncos, arbustos, bloques de roca y otros objetos tirados sobre la superficie), excavar o rellenar hasta la rasante de diseño.
- El geotextil tejido se deberá extender en la dirección de avance de la construcción, directamente sobre la superficie preparada, sin arrugas o dobleces. Si es necesario colocar rollos adyacentes de geotextil, éstos se deberán traslapar o unir mediante la realización de costura, de acuerdo a este procedimiento.
- El mínimo traslapo deberá ser de treinta centímetros (30 cm) y estará en función del CBR de la subrasante. (Ver gráfico 1)
- Para la realización de las costuras se deben utilizar máquinas especialmente diseñadas para esa función. Las costuras se pueden hacer con hilo en Kevlar, aramida, polietileno, poliéster o polipropileno, pero en ningún caso se puede emplear hilo de fibra natural o un hilo que tenga una tenacidad mayor que la de la cinta o fibra del geotextil. No se permitirán costuras elaboradas con alambres. La densidad de la puntada deberá estar mínimo entre 150 y 200 puntadas por metro lineal y debe cumplir el 90% de la resistencia evaluada por el método Grab.

- Una vez desenrollado el geotextil tejido sobre la superficie de la subrasante se debe cubrir lo más pronto posible con el material especificado en el diseño, evitando la degradación del geotextil por los rayos UV. No se debe permitir que el geotextil quede expuesto sin cubrir por un lapso mayor a 3 días.
- Se debe evitar el contacto directo de maquinaria sobre el geotextil tejido, se recomienda tener un espesor mínimo de 15 cm de material entre las llantas de los equipos y la superficie del geotextil. Luego de colocar el material granular, éste se extiende y se compacta según las especificaciones del diseño, antes de continuar con la instalación de las siguientes capas del material. Si se identifican zonas de suelos muy blandos o áreas muy inestables durante la preparación de la subrasante o después de la colocación del geotextil, éstas se deben rellenar con material seleccionado compactándolo hasta el nivel adecuado.
- Si por cualquier motivo debe transitar maquinaria directamente sobre el geotextil tejido, este equipo o maquinaria debe ser de llantas y por ningún motivo puede ser de orugas. El tránsito debe realizarse a velocidades muy pequeñas para no causar deterioros sobre la superficie del geotextil.

- Cuando se presenta zonas con grandes deformaciones durante el proceso de compactación, el geotextil tejido absorbe los esfuerzos a tensión y comienza a reforzar estas zonas de grandes deformaciones.

- El relleno se llevará a cabo hasta la altura indicada según las especificaciones del diseño.

3.5.2.4 CONTROL DE CALIDAD

Se deberá realizar de acuerdo a lo expuesto en el apartado 3.2.2

3.5.2.5 MEDIDAS

La unidad de medida del geotextil será el metro cuadrado (m²), aproximado al décimo del metro cuadrado de geotextil medido en obra, colocado de acuerdo con los planos y esta especificación, sin incluir traslapos, debidamente aceptado por el supervisor.

3.5.2.6 FORMA DE PAGO

El pago se hará al respectivo precio unitario del contrato por toda obra ejecutada, de acuerdo con los planos y esta especificación, y aceptada a satisfacción por el supervisor. El material de cobertura se pagará de acuerdo a la especificación del material utilizado.

3.5.3 REFUERZO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO CON GEOMALLAS⁴

3.5.3.1 DESCRIPCIÓN

Esta especificación se refiere al uso de geomallas biaxiales coextruídas para el refuerzo de estructuras de pavimento, instaladas dentro de las capas granulares o sobre la capa de subrasante (con un geotextil no tejido de separación). Las geomallas biaxiales de refuerzo permiten incrementar la capacidad portante del sistema que conforman las capas estructurales de la vía o reducir los espesores de las capas estructurales; valores que se obtendrán de acuerdo a un diseño de refuerzo de la estructura de pavimento. La geomalla biaxial se instalará en los sitios señalados por los planos del proyecto o los indicados por el supervisor.

3.5.3.2 MATERIALES

Las propiedades requeridas de la geomalla para refuerzo deben estar en función de la gradación del material granular, de las condiciones geomecánicas del suelo de subrasante y de las cargas impuestas durante la ejecución de los trabajos, permitiendo en todo momento el libre paso del agua. Esta especificación no es apropiada para el refuerzo de terraplenes donde las condiciones de esfuerzos puedan causar fallas globales de la fundación o de estabilidad.

⁴ Tomado de las especificaciones generales de construcción con geosintéticos para vías de AMANCO.

a) Geomalla biaxial coextruída

Se utilizarán Geomallas bi-axiales de Polipropileno del tipo coextruído, las cuales deberán presentar como mínimo las siguientes propiedades mecánicas y físicas.

TABLA 25. Propiedades físicas y mecánicas requeridas para geomalla de refuerzo.

Propiedad	Norma de Ensayo	VMPR
Resistencia a la Tensión Pico	GRI - GG1 ⁽¹⁾	13 kN/m - 20 kN/m
Deformación en el punto de fluencia	GRI - GG1	16% - 13%
Resistencia en la Junta	GRI - GG2 ⁽²⁾	11.7 kN/m - 18.5 kN/m
Rigidez Flexional	ASTM D 1388	750(x 1000 mg – cm) - 650(x 1000 mg – cm)
Tamaño de Abertura	medido	28 mm - 38 mm
Espesor entre juntas	medido	1.5 mm - 1.2 mm
Masa por unidad de área	ASTM D 5261	210 g/cm ²
Contenido de carbón negro	ASTM D 1603	2%

(1) Método GRI-GG1 (Geosynthetic Research Institute), Capacidad de carga dinámica, mediante la resistencia a la tracción al 5% de deformación.

(2) Método GRI - GG2. (Geosynthetic Research Institute), Capacidad de carga sostenida/integridad estructural, mediante ensayos de resistencia en las juntas.

b) Geotextil no tejido a nivel de subrasante

Cuando la geomalla biaxial de refuerzo se instala a nivel de subrasante es necesario complementarla con un geotextil no tejido, el cual cumple la función de separación a este nivel, para evitar la contaminación de las capas granulares con el suelo de subrasante.

c) Material granular

El material granular debe cumplir con las especificaciones y características para subbase granular y base granular en el caso de que se esté proyectando la conformación de estructura para vía, o con características de material seleccionado para la conformación de terraplenes. Para las especificaciones de materiales granulares ver apartado “b” de 3.5.1.2

d) Subrasante

Para considerar que la función de refuerzo se dé por parte de la geomalla biaxial, el suelo de subrasante deberá presentar un CBR menor o igual a 8% ($\text{CBR} \leq 8\%$) y estar en condición de no saturación.

3.5.3.3 EQUIPO

Se deberá disponer de los equipos necesarios para colocar la geomalla y el geotextil correctamente y el requerido para explotar, triturar, procesar, cargar, transportar, colocar y compactar el material granular.

3.5.3.4 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Para que la geomalla biaxial coextruída funcione correctamente en las estructuras de pavimento se requiere un adecuado proceso de instalación. Aunque las técnicas de instalación son simples, la mayoría de los problemas de

las geomallas utilizadas en las vías ocurren por procesos incorrectos de instalación.

Si la geomalla es dañada durante la construcción, colocada con numerosas arrugas, cubierta con insuficiente material, presentará deficiencias en su funcionamiento y se producirá un deterioro prematuro de las estructuras de pavimento.

A continuación se presentan algunas recomendaciones importantes para el proceso de instalación de la geomalla biaxial de refuerzo:

- Los rollos de geomalla biaxial deben permanecer con sus empaques para que los protejan de la acción de los rayos UV, de la humedad, del polvo y otros materiales que pueden afectar sus propiedades durante el transporte y almacenamiento antes de ser colocados. Cada rollo debe estar marcado correctamente para su identificación y control en obra.
- El sitio de instalación debe prepararse antes de extender la geomalla. La superficie de suelo de subrasante se debe limpiar (levantar la maleza, troncos, arbustos, bloques de roca y otros objetos tirados sobre la superficie), excavar o rellenar hasta la rasante de diseño.

- Cuando la geomalla se instala entre las capas granulares, la superficie debe prepararse antes de extender la geomalla. La superficie debe estar limpia y uniforme al nivel que se requiera la capa de geomalla.
- La geomalla se deberá extender en la dirección de avance de la construcción, directamente sobre la superficie preparada, sin arrugas o dobleces. Deberán colocarse grapas de acero para fijar la geomalla al terreno de acuerdo a un intervalo establecido. Si es necesario colocar rollos adyacentes de geomalla, éstos se deberán traslapar y también deberán colocarse grapas en los traslapes. El mínimo traslapo deberá ser de treinta centímetros (30 cm) y estará en función del CBR de la subrasante.



Fig. 41 Geomalla colocada sobre el terreno.

- Una vez desenrollada la geomalla sobre la superficie se debe cubrir lo más pronto posible con el material especificado en el diseño, evitando la degradación de la geomalla por los rayos UV. No se debe permitir que la geomalla quede expuesta sin cubrir por un lapso mayor a 3 días.

- Se debe evitar el contacto directo de maquinaria sobre la geomalla bi-axial, se recomienda tener un espesor mínimo de 15 cm de material entre las llantas de los equipos y la superficie de la geomalla. Luego de colocar el material granular, éste se extiende y se compacta según las especificaciones del diseño, antes de continuar con la instalación de las siguientes capas del material. Si se identifican zonas de suelos muy blandos o áreas muy inestables durante la preparación de la subrasante o después de la colocación de la geomalla, éstas se deben rellenar con material seleccionado compactándolo hasta el nivel adecuado.

- Si por cualquier motivo debe transitar maquinaria directamente sobre la geomalla; este equipo o maquinaria debe ser de llantas y por ningún motivo puede ser de orugas. El tránsito debe realizarse a velocidades muy pequeñas para no causar deterioros sobre la superficie de la geomalla.

- Cuando se presentan zonas con grandes deformaciones durante el proceso de compactación la geomalla biaxial absorbe los esfuerzos a tensión y comienza a reforzar estas zonas de grandes deformaciones.

3.5.3.5 CONTROL DE CALIDAD

Se deberá realizar de acuerdo a lo expuesto en el apartado 3.2.2, además de las siguientes exigencias:

- Verificar que el terreno se prepare adecuadamente y que se cumplan las dimensiones de la rasante de diseño señaladas en los planos o las ordenadas por él supervisor, antes de autorizar la colocación de la geomalla.
- Verificar que el material de relleno cumpla las especificaciones del diseño durante el período de ejecución de la obra.
- Supervisar la correcta aplicación del método aceptado, en cuanto a la preparación del terreno, la colocación de la geomalla y la colocación de la capa de relleno.
- Verificar la correcta colocación de las grapas utilizadas para fijar la geomalla en el terreno, y que esto se haga dentro de los intervalos establecidos.

3.5.3.6 MEDIDAS

La unidad de medida de la geomalla biaxial será el metro cuadrado (m²), aproximado al décimo del metro cuadrado de geomalla medida en obra, colocada de acuerdo con los planos y esta especificación, sin incluir traslapos, debidamente aceptado por el supervisor.

3.5.4 REPAVIMENTACIÓN DE VÍAS CON GEOTEXTIL NO TEJIDO⁵

3.5.4.1 DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en la utilización de geotextil no tejido para conformar una membrana viscoelasto-plástica, que cumpla función de barrera impermeabilizadora y membrana amortiguadora de esfuerzos. Esta membrana puede ser usada para el mantenimiento y construcción de nuevas vías, sobre pavimentos rígidos deteriorados o de concreto asfáltico fatigados para retardar el reflejo de fisuras; también bajo nuevas capas de concreto asfáltico para ofrecer una barrera permanente contra el ingreso del agua. Así mismo se ha venido utilizando en pavimentos nuevos sobre bases estabilizadas, antes de instalar la nueva capa de concreto asfáltico.

3.5.4.2 MATERIALES

a) Geotextil

Se utilizará geotextil del tipo no tejido punzonado por agujas, el cual deberá tener la capacidad de absorber la suficiente cantidad de ligante asfáltico y presentar las siguientes propiedades mecánicas.

TABLA 26 Requisitos de los geotextiles no tejidos.

Propiedad	Norma de Ensayo	VMPR
Resistencia a la Tensión GRAB	ASTM D 4632	520 N
Retención Asfáltica	ASTM D 6140	1,1 lt/m ²
Masa por Unidad de Área	ASTM D 5261	140 g/cm ²
Punto de Fusión	ASTM D 276	≥ 150°C ó ≥ 250°C

⁵ Tomado de las especificaciones generales de construcción con geosintéticos para vías de AMANCO.

El punto de fusión del geotextil será $\geq 150^{\circ}\text{C}$ cuando la nueva capa asfáltica sea preparada con asfalto tradicional. El punto de fusión del geotextil será $\geq 250^{\circ}\text{C}$ cuando la nueva capa asfáltica sea preparada con asfaltos modificados con polímeros ó cuando la temperatura de compactación supere los 150°C .

b) Ligante asfáltico

El material que se utilizará para saturar el geotextil y desarrollar la mencionada membrana visco-elastoplástica, además de garantizar una adecuada adhesión de esta membrana a la base granular o a la mezcla asfáltica existente, y a la capa superior (capa de refuerzo, o de mantenimiento), podrá ser un cemento asfáltico de penetración 60-70 mm/10, emulsión catiónica de rompimiento rápido tipo 1 o una emulsión catiónica de rompimiento rápido tipo 1 modificada con polímeros, de tal forma que se satisfaga la cantidad de cemento asfáltico establecida por el diseñador. El geotextil se podrá colocar solo después del correspondiente rompimiento de la emulsión. Los asfaltos diluidos que contienen solventes no deberán ser usados.

3.5.4.3 EQUIPO

Se deberá disponer de los equipos adecuados para la imprimación y/o riego de liga, la colocación del geotextil, la colocación y la compactación del concreto asfáltico de la capa de pavimentación, repavimentación o mantenimiento. El irrigador de asfalto debe ser capaz de aplicar el asfalto o emulsión de liga, a la

tasa de aplicación especificada por el diseñador de manera uniforme. El irrigador también debe estar equipado con una boquilla de aspersion. El equipo mecánico o manual de instalación del geotextil debe ser capaz de instalarlo uniformemente, cuidando de producir la mínima cantidad de arrugas.

Se deben suministrar los siguientes equipos misceláneos: escobas de cerda rígida o rodillos para uniformizar la superficie del geotextil; tijeras o cuchillas para cortar el geotextil; cepillos para aplicar el sellador asfáltico a los traslajos del geotextil.

Puede requerirse para ciertos trabajos, equipos de compactación neumática para uniformizar la imprimación del geotextil con el ligante. La utilización de un compactador neumático puede ser requerida especialmente en trabajos donde se coloquen capas delgadas de mezcla asfáltica, esto se realiza para mejorar la adhesión del geotextil a las superficies debido a la ausencia de peso y temperatura asociada con capas delgadas.

3.5.4.4 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

1) Condiciones y limpieza de la superficie

Para garantizar que la adhesión del geotextil a la capa de rodadura vieja y a la de repavimentación sea la adecuada, deberá preverse que la superficie sobre la cual de colocarán los rollos de los geotextiles esté razonablemente libre de

elementos tales como suciedad, agua, vegetación y escombros que pudiesen entorpecer el contacto entre el ligante asfáltico y la carpeta vieja. Los equipos recomendables utilizados en este tipo de operaciones son compresores neumáticos con boquillas adecuadas para limpieza o incluso se permite la utilización de escobas.

Cuando se trabaja sobre fresado se debe realizar una limpieza muy minuciosa, ya que la superficie debe quedar libre del polvillo que se genera durante el fresado, preferiblemente se debe realizar esta limpieza con aire comprimido o con agua dejando secar muy bien la superficie.

2) Tratamiento de fisuras

Después de terminar el proceso de limpieza, todas las fisuras deberán ser sopleteadas y selladas con un material apropiado para tal fin, sin sobrepasar la cantidad por encima del nivel existente; dichas fisuras deberán recibir un tratamiento adecuado según su grado de deterioro. En el caso de que las grietas sean originadas por fallas estructurales, el pavimento será intervenido de la manera más adecuada dependiendo del tratamiento escogido, según sea el caso.

El geotextil se podrá instalar solo después del correspondiente rompimiento de la emulsión en caso de que esa sea la elección a utilizar como ligante. Para

esta aplicación no se podrán utilizar los asfaltos diluidos que contienen solventes. A continuación se relaciona un cuadro comparativo (TABLA 27) en cantidades a utilizar si se escoge cemento asfáltico y/o emulsión asfáltica, valor que debe estar acorde con la prueba que se realice en campo. Cuando se usen emulsiones solicitar inmediatamente la especificación técnica para determinar la dosificación de la misma. El geotextil se podrá colocar solo después del correspondiente rompimiento de la emulsión. Para la escogencia definitiva de la emulsión se debe tener en cuenta las condiciones climáticas de la zona, influyentes en la aplicación de la misma.

TABLA 27. Cantidad a utilizar de cemento asfáltico vs emulsión asfáltica.

Cantidad de cemento asfáltico (lt/m ²)	Proporción Asfalto - Disolvente (Agua)	Cantidad de Emulsión (lt/m ²)
1.3	60 - 40	2.17
	67 - 33	1.95
	70 - 30	1.86
1.4	60 - 40	2.33
	67 - 33	2.10
	70 - 30	2.00
1.6	60 - 40	2.67
	67 - 33	2.39
	70 - 30	2.30

Se recomienda colocar la emulsión asfáltica siempre en dos etapas, en forma homogénea y uniforme, para evitar desplazamiento por efectos de la pendiente hacia las cunetas y/o bermas según sea el caso. Se instala el 50% de la cantidad total de emulsión, se espera a que rompa esta primera parte; luego, se instala el geotextil, y luego se aplica el 50% restante, esperando un tiempo prudencial para que se evapore el agua y salga del Geotextil para proceder a colocar la nueva carpeta asfáltica por encima.

3) Temperaturas de trabajo

Las temperaturas del camión irrigador con cemento asfáltico no deben exceder los 150°C cuando se trabaja con asfaltos normalizados; ésta temperatura puede ser superada cuando se está trabajando con asfaltos modificados. Los patrones de riego con emulsiones asfálticas son mejorados con calentamiento. Es deseable un rango de temperaturas entre 55°C y 70°C. No debe excederse una temperatura de 70°C, puesto que a partir de esta puede romperse la emulsión.

Si se trabaja con emulsiones deberá esperarse hasta que rompa y que el agua se evapore para proceder a colocar el geotextil.

4) Tasa de aplicación del ligante asfáltico teórica

La cantidad de ligante asfáltico a utilizar depende de la porosidad relativa del pavimento viejo y del geotextil a usarse en el proceso de repavimentación, siendo ésta una de las consideraciones de mayor relevancia para garantizar el correcto desempeño de esta membrana de intercapa viscoelastoplástica impermeable. En un trabajo presentado por Button⁶ (1982), éste propone la siguiente ecuación para la determinación de la cantidad de ligante asfáltico:

$$Qd = 0.362 + Qs + Qc$$

155_____

⁶ Joe W. Button, encargado de la división de Materiales y Pavimentos del Instituto de Transporte de Texas (TTI), Estados Unidos de America.

Donde:

Q_d: Cantidad de ligante según diseño (lt/m²).

Q_s: Cantidad de ligante necesario para lograr la saturación del geotextil (lt/m²).

Este dato es suministrado por el fabricante.

Q_c: Valor de corrección dependiendo de las condiciones de la superficie del concreto asfáltico de la capa vieja. Oscila entre 0.05 lt/m² para superficies niveladas hasta 0.59 para superficies porosas y oxidadas.

Sin embargo en varias obras los valores obtenidos de ensayos realizados en campos son bastante menores que los obtenidos en la fórmula de Button.

5) Tasa de aplicación del Ligante Asfáltico In Situ

Es recomendable que antes de iniciar una repavimentación utilizando el geotextil se determine la cantidad óptima de ligante asfáltico a usarse y de esta forma se eviten posibles problemas de exudación e incluso la generación de una superficie de deslizamiento. Una manera rápida y sencilla es mediante la imprimación de un área determinada que se sugiere sea de 1.0 m x 1.0 m, con diferentes cantidades de ligante, teniendo en cuenta que su distribución sobre la superficie debe ser uniforme. Una manera de verificar si la cantidad de ligante es la adecuada es intentando desprender manualmente el geotextil de la superficie, si esto no se logra y al pisar el geotextil se ve como este empieza a absorber el ligante y mediante esta presión este pasa hasta la cara superior, se

puede pensar que se ha llegado al punto óptimo para la tasa de imprimación con ligante asfáltico. Usualmente la tasa de aplicación para el ligante asfáltico es mínimo de 1.3 lt/m^2 (asfalto residual) incluida la cantidad necesaria para garantizar la adhesión del conjunto geotextil-asfalto al concreto asfáltico. La cantidad dependerá de la porosidad y oxidación relativa del pavimento existente. Las técnicas de imprimación requieren que los equipos a usarse coloquen el ligante a una tasa uniforme, siendo conveniente el uso de equipos mecánicos, tales como los tanques o camiones irrigadores para este fin; teniendo en cuenta, que ésta debe ser homogénea y que cumpla con los requerimientos mínimos para lograr una correcta adhesión y evitar fallas por deslizamiento, corrimiento o exudación como se observa en la siguiente figura.



Fig. 42 Aplicación de la capa de ligante asfáltico

Otro factor importante es el control de temperatura, pues se ha visto en varios casos una degradación del ligante que llega a cristalizarse, perdiéndose así al saturar al geotextil, su función de membrana viscoelastoplástica y no logrando un beneficio total.

6) Instalación del geotextil

La instalación del rollo de geotextil puede ser realizado manual o mecánicamente, existiendo equipos patentados para la colocación de los rollos. En nuestro medio la instalación se ha venido haciendo manualmente, siendo necesaria una cuadrilla de tres personas (dos manteniendo la alineación del rollo y desenrollándolo, y otra persona cepillando sobre el geotextil, eliminando al máximo las arrugas), sin necesidad de ser mano de obra capacitada ni especializada. Para esta aplicación se debe instalar siempre la parte sin termo fundir en contacto directo con el ligante, sin arrugas.

Para facilitar un mayor contacto (adherencia) del geotextil con el ligante y con la capa antigua y eliminar en mayor proporción las arrugas del geotextil, se podrán utilizar equipos mecánicos como es el caso de un compactador de llantas en una pasada directamente sobre el geotextil transitando a bajas velocidades. No es necesario realizar la sujeción del geotextil a la capa vieja mediante clavos o puntillas.

Cuando sé esta en zona de curva, para instalar el geotextil, éste se debe cortar en pequeñas secciones en forma rectangular como si se estuviera armando la curva por segmentos.

Se deben tener cuidados especiales con las condiciones climatológicas, pues nunca se podrá instalar el geotextil cuando la capa de pavimento antiguo esté en condiciones húmedas, en el caso de querer hacer grandes avances en la instalación del geotextil es necesario prever que no lloverá en la zona. Esta es la única condición que pudiera llegar a afectar el avance de la obra. Si durante la instalación inicia la lluvia y el geotextil que se encontraba extendido se moja completamente, éste se debe secar totalmente antes de ser utilizado para esta aplicación. A manera de solución parcial para casos donde el geotextil se haya mojado con una llovizna superficial se podrá soplar con aire a presión para eliminar toda la humedad presente en el geotextil. Si se llegase a realizar el proceso de instalación de la nueva carpeta sobre el geotextil en condiciones húmedas, no se logrará una buena adherencia de todo el sistema, generando posibles fallas posteriores en el funcionamiento del mismo. Como recomendación de trabajo en obra, solo se debe instalar la cantidad de geotextil que sé esta seguro quedará completamente cubierta al finalizar el día.

7) Tratamiento a las arrugas que se pueden formar

Otra de las consideraciones críticas es la instalación correcta del geotextil sobre la superficie de la vía impregnada con ligante asfáltico, evitando al máximo la formación de arrugas, puesto que estas no permitirán que la absorción del asfalto líquido sea suficiente para la formación de la barrera impermeable, reduciendo los beneficios a largo plazo de esta membrana de intercapa.

Los cuidados principales para el tratamiento de las arrugas incluyen los siguientes:

- Las arrugas y dobleces de más de 25 mm deberán rasgarse y aplanarse siempre en el sentido del avance de los equipos utilizados en la pavimentación, para evitar levantamientos.
- En el caso de que la arruga o doblez sobrepase los 50 mm, este exceso deberá ser eliminado.
- El traslapeo del Geotextil en reparación de arrugas deberá contemplar el uso de ligante adicional para saturar las dos capas de Geotextil y formar una liga, evitando posibles planos de deslizamiento.

8) Traslapos o solapes

Como regla general, se recomienda que los traslapos en cualquier dirección no deben exceder los 15 cm. En las zonas de traslapos se debe hacer una impregnación adicional con ligante asfáltico para garantizar la saturación total del geotextil.

9) Espesores mínimos de la capa de repavimentación

Se considera al igual que en cualquier procedimiento de repavimentación que el espesor mínimo constructivo de la nueva capa debe ser de 5 cm para pavimentos flexibles hasta una pendiente máxima del 4% en sentido longitudinal, de 7 cm en pendientes longitudinales el 4% en adelante y cuando se trabaja sobre pavimentos rígidos el espesor mínimo recomendado es de 7 cm. Para lograr un mayor beneficio cuando se rehabilite un pavimento rígido, dependiendo de su nivel de deterioro, nivelar y estabilizar las losas en caso de ser necesario, instalando una capa de concreto asfáltico de graduación abierta y sobre esta colocar el geotextil.

Al instalarse capas de repavimentación con espesores menores a los recomendados es posible que la capa conformada por el geotextil saturado empiece a absorber esfuerzos muy altos a la tracción por efecto del movimiento de los vehículos sobre la carpeta nueva, esfuerzos para los cuales no esta diseñada dicha capa, ya que no se considera como una capa de refuerzo, trayendo posibles desplazamientos de la nueva carpeta de repavimentación.

10) Instalación de la capa de repavimentación

La capa de repavimentación de concreto asfáltico podrá ser colocada inmediatamente después de haber sido instalado el geotextil; dicha capa se instalará mediante el empleo de una finisher y se compactará al igual que en

cualquier proceso de repavimentación. La única precaución que se debe tener en cuenta es que los equipos de construcción no realicen movimientos bruscos sobre el geotextil. Para evitar una adherencia excesiva entre las llantas de los equipos y el geotextil del tipo no tejido punzonado por agujas, este tiene un diseño especial. Normalmente el geotextil para esta aplicación tiene termo fundida una de sus caras que será finalmente la que quedará hacia arriba en contacto directo con los equipos y la otra sin ningún tratamiento especial quedará colocada hacia abajo sobre el ligante asfáltico.



Fig. 43 Colocación de la capa de repavimentación.

11) Cuidados de almacenamiento

Con el fin de evitar el humedecimiento y la degradación originada por la radiación ultravioleta de los rollos de geotextil, estos deberán estar protegidos por una envoltura plástica, además debe preverse que los rollos estén protegidos con una cubierta impermeable y levantados sobre el piso. La humedad del rollo genera posibles rechazos del geotextil cuando se intente

saturar con el ligante asfáltico durante el proceso de colocación y compactación de la capa de repavimentación, al no poder escapar al vapor de agua generado.

3.5.4.5 CONTROL DE CALIDAD

Se deberá realizar de acuerdo a lo expuesto en el apartado 3.2.2, además de las siguientes exigencias:

- Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo empleado por el constructor.
- Verificar la limpieza de la superficie de la capa asfáltica antigua y la correcta reparación de las grietas existentes, de acuerdo a lo definido en la ejecución de los trabajos de esta especificación.
- Vigilar la correcta dosificación de la cantidad de ligante asfáltico según las especificaciones particulares del proyecto y las previsiones consideradas en esta especificación.
- Verificar la temperatura del ligante en el momento de instalación del geotextil, de acuerdo a lo descrito en la ejecución de los trabajos de esta especificación.

- Verificar la colocación y la densificación de la nueva capa asfáltica y sus dimensiones, según lo especificado en el diseño.

- Vigilar las condiciones climáticas durante los procesos de aplicación del ligante asfáltico e instalación del geotextil y la colocación de la capa asfáltica.

3.5.4.6 MEDIDAS

La unidad de medida del geotextil será el metro cuadrado (m²), aproximado al décimo del metro cuadrado de geotextil medido en obra, colocado de acuerdo con los planos y esta especificación, sin incluir traslapos, debidamente aceptado por el supervisor. La unidad de medida del ligante asfáltico será el kilogramo (kg) si se utiliza cemento asfáltico o el litro (l) en caso de que se emplee emulsión asfáltica.

3.5.4.7 FORMA DE PAGO

El pago se hará al respectivo precio unitario del contrato por toda obra ejecutada, de acuerdo con los planos y esta especificación, y aceptada a satisfacción por el supervisor.

3.5.5 SISTEMA DE SUBDRENAJE CON GEODRÉN⁷

3.5.5.1 DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en la construcción de sistemas de subdrenaje, con geodrén con tubería circular perforada para drenaje, en los sitios señalados en los planos del proyecto o indicados por el supervisor.

3.5.5.2 MATERIALES

El geodrén es un geocompuesto integrado por tres elementos: geotextil, geored, y tubería circular perforada para drenaje. El geodrén debe ser laminado en ambas caras.

a) Geotextil

Se utilizarán geotextiles compuestos por filamentos de polímeros sintéticos, no tejidos, punzonados por agujas, dispuestos de manera uniforme. Deberán tener capacidad para dejar pasar el agua, pero no partículas finas de suelo, y presentarán los siguientes requerimientos de propiedades mecánicas, hidráulicas y de filtración.

⁷ Tomado de las especificaciones generales de construcción con geosintéticos para vías de AMANCO.

Requerimientos de propiedades mecánicas

Las propiedades de resistencia de los geotextiles dependen de los requerimientos de supervivencia y de las condiciones y procedimientos de instalación. Las propiedades corresponden a condiciones normales de instalación.

TABLA 28. Requisitos mecánicos de los geotextiles no tejidos.

Propiedad	Norma de ensayo	VMPR
Requerimiento Propiedades de resistencia.		
Elongación	ASTM D 4632	> 50%
Resistencia a la tensión GRAB	ASTM D 4632	700 N
Resistencia al punzonamiento CBR	ASTM D 6241	1375 KN
Resistencia al rasgado trapecoidal	ASTM D 4533	250 N
Resistencia al estallido Mullen	ASTM D 3786	1300 Kpa

La elongación > 50% hace referencia a los geotextiles no tejidos, medida según ensayo ASTM D - 4632.

Requerimientos de propiedades hidráulicas y de filtración

Estas propiedades se utilizan para los geotextiles que van a estar en contacto con el suelo permitiendo el paso del agua a un sistema de subdrenaje, reteniendo las partículas finas de suelo. La principal función del geotextil en las aplicaciones de subdrenaje es la filtración. La funcionalidad de los geotextiles depende de la gradación, la plasticidad y las condiciones hidráulicas del suelo aguas arriba del sitio.

El coeficiente de permeabilidad se define como la propiedad hidráulica que tiene un geotextil para permitir un adecuado paso de flujo, perpendicular a su

plano. La permeabilidad se obtiene multiplicando la permitividad por el espesor del geotextil.

TABLA 29. Requisitos hidráulicos de los geotextiles no tejidos.

PROPIEDAD	NORMAS DE ENSAYO	VMPR		
		PORCENTAJE DE SUELO PASA TAMIZ N° 200 (0.075 mm)		
		<15	15 a 50	>50
Permitividad	ASTM D 4491	0.5 s ⁻¹	0.2 s ⁻¹	0.1 s ⁻¹
TAA	ASTM D4751	0.43 mm (Tamiz 40)	0.25 mm (Tamiz 60)	0.22 mm (Tamiz 70)
Estabilidad ultravioleta	ASTM D 4355	50% después de 500 horas de exposición		

El porcentaje de suelo que pasa el tamiz No.200 corresponde a la fracción de la granulometría del suelo aguas arriba del geotextil.

Los valores del Tamaño de Abertura Aparente (TAA) representan el valor máximo promedio por rollo. Para suelos cohesivos con un índice de plasticidad mayor a 7, el valor máximo promedio por rollo de tamaño de abertura aparente es 0.30 mm.

El TAA corresponde a la abertura de los espacios libres en milímetros del geotextil, con la equivalencia en el número de tamiz. Este valor se obtiene tamizando unas esferas de vidrio de diámetros conocidos. Cuando el 5% de un tamaño determinado de esferas pasa a través del geotextil se define el TAA.

El porcentaje de suelo que pasa el tamiz No. 200 corresponde a la granulometría del suelo aguas arriba del geotextil. El análisis se hace de acuerdo con la granulometría para suelos finos.

El diseño de un filtro para subdrenaje se debe llevar a cabo teniendo en cuenta el caudal de infiltración, de abatimiento del nivel freático, el tipo de suelo aguas arriba y las propiedades mecánicas, hidráulicas y de filtración enunciadas anteriormente.

b) Geored de drenaje

La geored es el medio poroso encargado de captar y conducir los fluidos que pasan a través del geotextil. Para la función de drenaje se usará una geored de

polímeros. Este geosintético presentará las siguientes propiedades mecánicas e hidráulicas.

TABLA 30. Propiedades hidráulicas y mecánicas de la geored

PROPIEDAD	NORMA DE ENSAYO	VPMR
Resistencia a la compresión	ASTM D 1621	200 K Pa
Transmisividad	ASTM D 4716 Gradiente Hidráulico = 0.1 Presión = 100 KPa	$3.0 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$
Espesor	ASTM D 4716	6 mm

La Transmisividad de la Geored es la cantidad de flujo volumétrico de agua que puede pasar en el plano de la Geored, por unidad de ancho.

c) Geodrén planar

El geodrén debe ser laminado con calor en ambas caras para facilitar el flujo hidráulico a través de su plano y aumentar el factor de seguridad contra la colmatación.

TABLA 31. Resistencia a la delaminación de la geored.

PROPIEDAD	NORMA DE ENSAYO	VPMR
Resistencia a la delaminación	ASTM D 413	0.4 Lbf/pulg

d) Tubería circular perforada para drenaje

La tubería es la encargada de conducir el fluido captado al exterior. La tubería deberá estar fabricada a partir de policloruro de vinilo o polietileno y deberá estar perforada para drenaje con diámetro circular de 65 mm ó 100 mm, entre otros, dependiendo del caudal de diseño de cada sitio en particular. Las propiedades hidráulicas para las tuberías de 65 y 100 mm de diámetro son:

TABLA 32. Requisitos hidráulicos de las tuberías de drenaje.

PROPIEDAD	VALOR DIAMETRO 65mm	VALOR DIAMETRO 100mm
Área de drenaje	30 cm ² /m	30 cm ² /m
Caudal para 1% de pendiente	1000 cm ³ /s	3700 cm ³ /s

Las tuberías deberán tener el sistema completo de accesorios (uniones, salidas laterales, salidas frontales, tapones) que garanticen la continuidad del flujo y la adecuada disposición a la atmósfera.

Perforaciones

Todas las perforaciones deberán ser efectuadas con precisión. El área de ingreso de agua deberá ser de un mínimo de 21 cm²/m (1.0 in²/pie) para tubería de 100 mm a 250 mm (4" a 10"), 31 cm²/m (1.5 in²/pie) para tubería de 300 mm a 450 mm (12" a 18"), y 42 cm²/m (2.0 in²/pie) para tuberías de tamaños mayores a 450 mm (18"). Las perforaciones circulares no deberán ser mayores a 4.76 mm (3/16") para tubería de 100 mm a 250 mm (4" a 10") y 9.53 mm (3/8") para tuberías de tamaño mayor a 250 mm (10"). El ancho de las aberturas no será mayor a 3.18 mm (1/8"). El largo de las aberturas no excederá el 10% de la circunferencia interna nominal para tubería de 100 mm a 200 mm (4" a 8"), 64 mm (2.5") para tubería de 250 mm a 375 mm (10" a 15") y 77 mm (3.0") para tubería de 450 mm (18") o de mayor tamaño.

3.5.5.3 EQUIPO

Se deberá disponer de los equipos necesarios para colocar el geodrén y para excavar, cargar, transportar, colocar y compactar el material de relleno de la zanja. También para colocar y compactar el suelo que cubrirá el sistema de subdrenaje.

3.5.5.4 PROCESO CONSTRUCTIVO

1) Generalidades

El supervisor exigirá al constructor que los trabajos se efectúen con una adecuada coordinación entre las actividades de apertura de la zanja y de la colocación del geodrén, de manera que aquella quede expuesta el menor tiempo posible y que las molestias a los usuarios sean mínimas.

Será responsabilidad del constructor la colocación de elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, la cual deberá ser visible durante las veinticuatro (24) horas del día. El diseño de la señalización requerirá la aprobación del supervisor.

2) Preparación del terreno

Se abrirá una trinchera en los sitios indicados en los planos de diseño. Ver figura 44(a). Esta trinchera tendrá un ancho mínimo de 25 cm. La profundidad y la pendiente se indicarán en los planos de diseño.

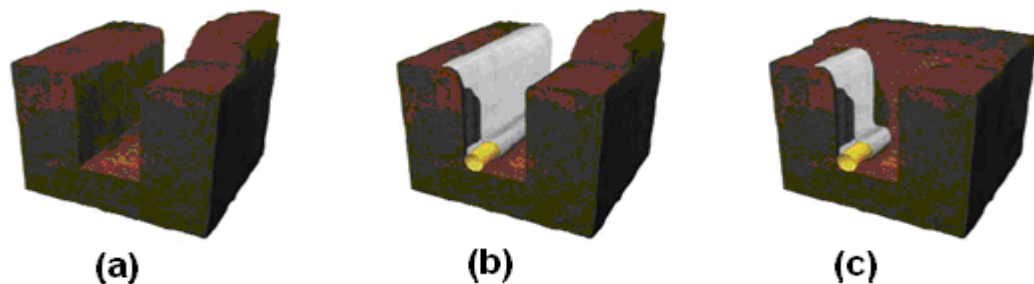


Fig. 44 Secuencia de proceso de preparación del terreno y colocación del geodrén

3) Colocación del geodrén

Antes de colocar el sistema, se alistará la trinchera de tal manera que se encuentre lo mejor perfilada posible, con la pendiente y profundidad indicadas en los planos de diseño, para su correcto funcionamiento. Las uniones del sistema deberán ensamblarse por fuera de la trinchera.

Se instalará el geodrén con tubería en contrapendiente para asegurar, en tiempo de invierno, la fácil evacuación del agua a los sitios finales de disposición indicados en los planos. El geodrén se colocará en contacto directo con las capas granulares de la estructura de pavimento. Ver figura 44(b).

El geodrén se anclará al terreno natural de tal forma que no se vaya a deslizar, conservando todos los parámetros de diseño. Para su anclaje se utilizarán ganchos metálicos. No se permitirá que el geodrén quede expuesto, sin cubrir, por un lapso mayor a tres (3) días.

4) Colocación del material de relleno

El material de relleno utilizado en un sistema de drenaje con geodrén circular debe tener muy buena permeabilidad (mayor de 1×10^{-3} cm/s), con el fin de permitir el paso del agua hacia el geodrén.

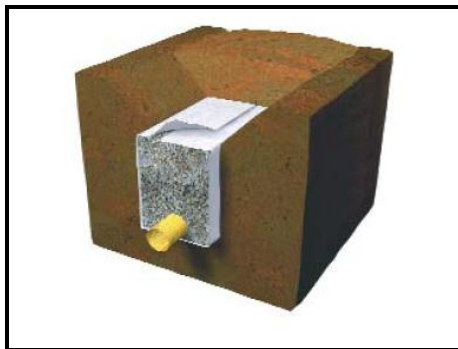


Fig. 45 Colocación del material filtrante y relleno.

Se puede acompañar el geodrén con materiales tipo gravas ($\frac{3}{4}$ " a 4"), arena gruesa de río, material tipo subbase granular, para este tipo de material es importante verificar que la plasticidad no sea mayor a 7, en caso positivo se debe buscar otro tipo de material (Ver figura 45). También se puede utilizar el mismo material de la excavación, siempre y cuando sea un material que ofrezca permeabilidad y su plasticidad sea menor a 7 (Ver figura 44 (c)). Para este último caso recomendamos hacer los ensayos de suelo pertinentes y granulometría para tomar esta decisión. El relleno se llevará hasta la altura indicada en los planos o la autorizada por el supervisor.

5) Cobertura del sistema de subdrenaje

Completado el relleno, la zanja se cubrirá con el suelo proveniente de la excavación, colocado y compactado en capas sucesivas, hasta la altura requerida en los planos o la ordenada por el supervisor.

3.5.5.5 CONTROL DE CALIDAD

Se deberá cumplir lo especificado en el apartado 3.2.2

Condiciones específicas y tolerancias para la aceptación.

a) Calidad del Geodrén.

Cada despacho de geodrén deberá venir acompañado de una certificación del laboratorio del fabricante para el geotextil, la geored, el geodrén planar y la tubería, que garantice que el producto satisface las exigencias de calidad indicadas en los documentos del proyecto y en esta especificación.

El supervisor, con la frecuencia que considere necesaria, efectuará las pruebas especificadas y rechazará el geodrén si éste incumple una o más de las exigencias.

Los geosintéticos que conforman el geodrén deberán tener un certificado de calidad expedido por un laboratorio reconocido a nivel internacional, que se rija bajo las normas ASTM referente a geosintéticos.

El productor deberá ofrecer al supervisor el servicio de comprobación, por ensayos de laboratorio, de las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas sin ningún costo. En el momento de realizar los ensayos se deberá contar con la presencia del supervisor, del contratista y de la entidad contratante.

b) Calidad del producto terminado.

El supervisor aceptará todo filtro construido en zanjas donde las dimensiones, los alineamientos y las pendientes se ajusten a los requerimientos del proyecto y cuyos materiales y procedimientos de ejecución se ajusten a lo prescrito en esta especificación.

Para la reparación del sistema se deberá colocar un parche de geotextil alrededor de la zona afectada, con costura realizada manualmente. Esto deberá hacerse antes de la colocación del geodrén dentro de la trinchera.

Sólo se permitirá la descarga de material de relleno en la trinchera, con previa autorización del supervisor.

3.5.5.6 MEDIDAS

La unidad de medida del geodrén circular con tubería será en metro lineal, de acuerdo a los planos de diseño y a esta especificación, a satisfacción del supervisor.

3.5.5.7 FORMA DE PAGO

El pago se hará al respectivo precio unitario del contrato por toda obra ejecutada, de acuerdo con los planos y esta especificación, y aceptada a satisfacción por el supervisor.

CAPÍTULO IV

DISEÑO Y APLICACIONES

4.1 METODOLOGÍAS DE DISEÑO

Desde la aparición de los geosintéticos como nuevos materiales a emplear en la ingeniería geotécnica, se han desarrollado distintas metodologías de diseño las cuales pueden clasificarse en cuatro tipos:

4.1.1 DISEÑO POR COSTOS Y DISPONIBILIDAD

El diseño con geotextiles basados en el costo y disponibilidad es simplista. Se toman los fondos ó recursos disponibles, se dividen por el área que necesita recubrirse y se calcula un máximo geotextil admisible según su precio unitario. El geotextil con las mejores propiedades es seleccionado dentro de un precio límite.

Este método (utilizado en los años setenta) es obviamente débil técnicamente y no debe seguirse por su alto riesgo en la operación de las obras y su desconocimiento a las normativas y requerimientos de cada geotextil.

4.1.2 DISEÑO POR EXPERIENCIA O MÉTODO EMPÍRICO

Basado exclusivamente en la experiencia, requiere un gran número de datos experimentales representativos previos.

Este método no es recomendable y su uso es muy delicado ya que es poco preciso, y desconoce el desarrollo tecnológico de los geosintéticos.

4.1.3 DISEÑO POR ESPECIFICACIONES

En la actualidad cada fabricante obtiene el valor de las propiedades de su producto, utilizando las normativas que rigen el país donde este ubicado; esto obviamente puede generar un gran número de criterios que hacen imposible el realizar comparación entre productos de uno u otro país. Por lo anterior, dos organismos la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y el comité TASK FORCE # 25, el cual lo conforman la AASHTO; la American Building Contractors (ABC) y la American Road Builders and Transportation Association (ARBTA) están tratando de unificar todas las propiedades de estos materiales.

Estos grupos han realizado esencialmente el mismo conjunto o recomendaciones para las propiedades mínimas de los geotextiles en las siguientes áreas:

- Separación (Para subrasante de suelo firme)
- Separación y Estabilización (Para subrasante de suelos blandos)
- Filtración (Geotextiles para drenaje)
- Control de Erosión (Debajo de rocas)

- Control de sedimentos (Cerramiento temporal de sedimentos)
- Control de la reflexión de grietas (Estructura de pavimentos)

Cuando se utiliza el método de diseño por especificación a menudo se listan los requerimientos mínimos de las propiedades del geotextil, mientras que comúnmente el fabricante lista los valores promedios por lote ó el valor mínimo promedio de las propiedades de los rollos. Comparando este valor de especificación con los valores listados por los organismos antes citados, no se está haciendo una comparación bajo el mismo criterio; esto porque el valor promedio es el resultado de los ensayos hechos por el fabricante de una propiedad en particular a su histórico de producción. Lo anterior puede ser una recopilación de miles de ensayos realizados a lo largo de varios meses ó años de producción para un tipo de geotextil. De esta forma el valor promedio del lote es considerablemente más alto que el valor mínimo como se ve en la Fig. 46 en donde el valor intermedio entre estos dos extremos es el valor mínimo promedio del rollo ó VMPR. El valor mínimo promedio del rollo es el promedio de un respectivo número de ensayos hechos con un número de rollos seleccionados del lote en cuestión, lo cual es un área limitada para evaluar una situación en particular. Este valor es probablemente dos desviaciones estándar menores que el promedio del lote. De esta forma se ve que el VMPR es el mínimo de una serie de valores promedio límites de un rollo. Estos valores son mostrados sistemáticamente en la Fig. 46. En la gráfica se puede ver que estadísticamente

más o menos el 16% de estos valores serán menores que $\bar{X} - S$; 2.5% será menor que $\bar{X} - 2S$, y 0.15% será menor que $\bar{X} - 3S$.

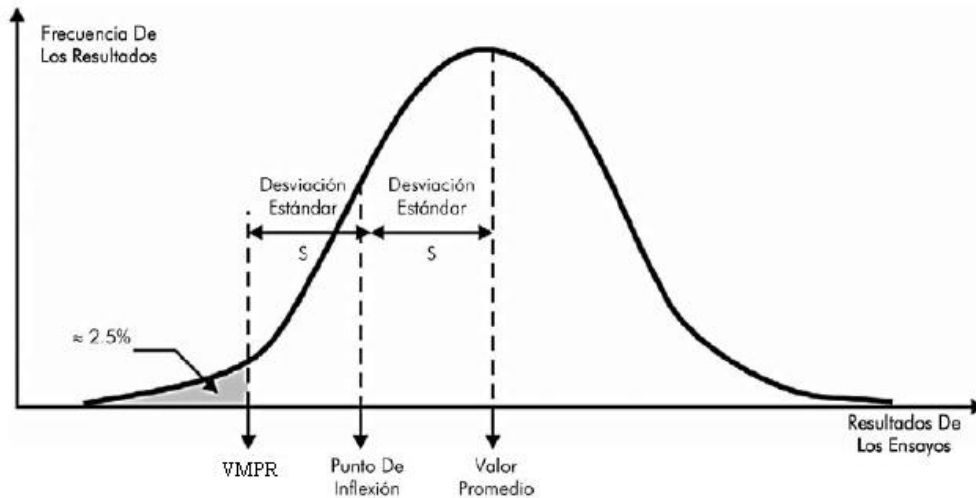


Fig. 46 Relaciones relativas de diferentes valores usados en la especificación de los geosintéticos y la literatura de los fabricantes.

Donde:

\bar{X} = Valor medio

S = Desviación estándar

Además de esto, el VMPR (Valor Mínimo Promedio por Rollo) con 2.5% de los valores siendo menores que $\bar{X} - 2S$ es también el 95% del nivel de confiabilidad (el otro 2.5% es mayor que $\bar{X} + 2S$ y esto obviamente no es una preocupación ya que los valores están por encima de lo requerido). Otra consideración que se está tratando de evaluar son los valores máximos, como por ejemplo el valor de la elongación máxima, para esto se está considerando el

lado derecho de la curva de la Fig. 46 y el valor comparable para VMPR será lógicamente el máximo del VMPR.

El valor medio \bar{X} se llega calculando $\Sigma X/N$, la desviación estándar se calcula como:

$$S = \sqrt{\left\{ \frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n-1} \right\}}$$

Donde:

\bar{X} = Valor medio

X_i = Valor medido

n = El número de mediciones

El coeficiente de variación V , o simplemente variación se calcula por medio de $(S/\bar{X}) \times (100)$. Esta variación debe ser lo mas baja posible, para mantener un buen control de calidad. Tanto la AASHTO, como el comité de TASK FORCE #25, recomendaron el uso del valor mínimo promedio por rollo para el diseño por especificación como para el listado de propiedades de los fabricantes.

En resumen, el método de diseño de especificación debe ser comparado bajo un mismo criterio. En este intento, si se lista los valores mínimos promedio de

los rollos, entonces la lista de fabricante de valores promedio deben ser reducidos con dos variaciones estándar (aproximadamente 5 a 20%) este promedio de valores de lote son tomados. Solamente el valor promedio mínimo de los rollos tomados por el fabricante pueden ser comparados con la especificación de valores VMPR uno a uno.

4.1.4 DISEÑO POR FUNCIÓN

Consiste en evaluar la función principal para la cual se especifica el geosintético (separación, refuerzo, drenaje, filtración ó protección) y basándose en ello, calcular los valores numéricos de la propiedad requerida. De esta forma se realiza una elección del geosintético atendiendo aspectos cualitativos y cuantitativos. En algunos casos se requieren cumplir varias funciones alternativamente, por lo tanto, la selección del geosintético a emplear será más segura si este puede desarrollar las funciones simultáneamente.

Para que los geosintéticos puedan proporcionar un grado de seguridad suficiente en el desarrollo de sus funciones, su fabricación a partir de las materias primas debe ser estrictamente controlada mediante la evaluación de sus propiedades durante el proceso de fabricación.

No obstante, la forma en que el geosintético desarrollará sus funciones no depende únicamente del proceso de fabricación, sino que dependerá en gran

parte de la correcta instalación en obra. De esto se deduce la necesidad de realizar una supervisión cuidadosa en la instalación del geosintético si se desea conseguir un completo desarrollo de sus funciones.

El factor de seguridad será el resultado de dividir el valor del ensayo típico de la propiedad relevante para la función principal (valor admisible), entre el valor requerido para dicha propiedad obtenido según algún método ó norma de diseño representativo de la realidad.

Según lo anterior:

$$FS = \frac{\text{Valor Admisible}}{\text{Valor Requerido}}$$

Si el factor de seguridad así obtenido es suficientemente mayor que la unidad, el geosintético seleccionado es el adecuado.

En resumen se pueden establecer los siguientes pasos a seguir en el desarrollo del diseño por función:

1. Evaluar la aplicación del geosintético considerando los materiales que van a estar en contacto con él.

2. Dependiendo de las condiciones en la obra, escoger un factor de seguridad adecuado.
3. Especificar la función primaria del geosintético.
4. Calcular numéricamente el valor de la propiedad requerida del geosintético basándose en su función primaria.
5. Obtener el valor de la propiedad permisible por ensayo.
6. Calcular el factor de seguridad como cociente del valor de la propiedad permisible entre el valor de la propiedad requerida.
7. Comparar el factor de seguridad obtenido con el deseado.
8. Si el factor de seguridad no es aceptable, reiniciar el proceso con un geosintético de características superiores.
9. Si el factor de seguridad es aceptable, comprobar si otras funciones del geosintético pueden ser críticas ó relevantes y escoger el más completo.

En el proceso de diseño por función, teniendo en cuenta los ensayos de caracterización en laboratorio en los que se apoya este método no son del todo representativos de las condiciones de comportamiento “in situ” del geosintético, el valor de la propiedad índice deberá dividirse según diversos factores de seguridad de la siguiente forma:

$$\text{Valor Admisible} = \frac{\text{Valor del Ensayo}}{\text{Factores de Reducción}}$$

Los factores de reducción varían considerablemente dependiendo básicamente de la función que vaya a desempeñar el geosintético. A continuación se explican y especifican los valores recomendados para aplicaciones de refuerzo, separación, aplicaciones de drenaje y protección para diferentes geosintéticos.

Posteriormente se especificaran los valores para cada una de las funciones a cumplir por los geosintéticos.

4.1.4.1 Factores de reducción para geosintéticos en separación y refuerzo

a. Daños por instalación: Este factor de reducción ha sido estudiado y cuantificado en un gran número de proyectos, teniendo en cuenta la naturaleza del suelo de subrasante, la del suelo de recubrimiento y la posibilidad de que

exista tránsito de maquinaria pesada sobre el geosintético en el periodo de instalación. Todas estas condiciones de campo hacen que el valor del factor de reducción por instalación no sea constante en todos los proyectos, por lo que para cada uno se debe estimar este factor. Existe también la opción de realizar pruebas de campo en el sitio del proyecto para observar el comportamiento del geosintético y de esta forma establecer un factor más acorde con el desempeño del material en el sitio del proyecto.

b. Fluencia o creep: Este factor se refiere a la deformación del material en el tiempo, sometido a una carga o esfuerzo constante. En general todos los tipos de geotextiles experimentan este efecto, con más o menor intensidad según la carga a la que este es sometido. Los ensayos más conocidos en el mundo para el estudio de este fenómeno son realizados en condición no confinada, donde se cuelga una pesa a una muestra de geosintético y se mide la elongación del material con el paso del tiempo; sin embargo, el estudio de este fenómeno ha encontrado que este efecto disminuye considerablemente bajo esfuerzos de confinamiento y según el tipo de geosintético.

Así como los geotextiles, la resistencia de las geomallas también se ve afectada por este efecto, sin embargo, para este tipo de geosintéticos el efecto es menor debido al espesor y rigidez del material.

Actualmente, no existe una unanimidad por las entidades oficiales que expiden normas para el diseño con este tipo de materiales, por lo que la experiencia y criterio del diseñador es fundamental en la escogencia de un factor que este acorde a las condiciones de cada proyecto.

c. Degradación Química y Biológica: Anteriormente para funciones de refuerzo y separación se tomaban por separado los factores de reducción químico y biológico. Según los trabajos realizados por R. Koerner⁸ se pudo demostrar que los agentes biológicos que atacan a las materias primas de los geosintéticos son casi nulos y no presentan ninguna afectación a las propiedades del material con el paso del tiempo.

Según lo anterior el factor por degradación biológica debería ser eliminado. Sin embargo se combinó con el factor de degradación química para evitar la confusión, de haber desaparecido completamente. Con respecto a la degradación química se deben determinar las condiciones ambientales específicas del sitio y tener presente para el diseño condiciones adversas como la presencia de solventes orgánicos, agua subterránea con pH muy bajo o muy alto, o cualquier sustancia presente en el lugar que amenace con la integridad del geosintético.

186_____

⁸ KOERNER R.M., Diseño con Geosintéticos, 5 ED. U.S.A., 2005.

Los valores mostrados para este factor se presentan en las TABLAS 33 y 34 y son menores comparados con los factores anteriormente utilizados; esto se debe a que este factor presenta menos impacto sobre la resistencia del geosintético con el paso del tiempo.

d. Costuras: Para aplicaciones de refuerzo donde se vean involucradas las costuras del geotextil, se puede incluir un factor de reducción adicional en la ecuación de diseño. El valor de este factor se determina usando el valor de resistencia a la tensión del geosintético contra dicho valor pero con la inclusión de la costura. La relación entre estas dos resistencias varían entre 1.0 a 3.0 y es independiente a la aplicación en la que se vaya a considerar. La AASHTO en la norma M288 - 05 recomienda que la resistencia a la tensión de la unión, debe ser mínimo el 90% de la resistencia a la tensión GRAB del geotextil que se esta cosiendo.

TABLA 33. Factores de reducción para geotextiles en aplicaciones de separación y refuerzo.

Área	Daños por instalación FR _{ID}	Fluencia FR _{FL}	Degradación Química/Biológica FR _{DOB}
Separación	1.1 a 2.5	1.5 a 2.5	1.0 a 1.5
Caminos no Pavimentados	1.1 a 2.0	1.5 a 2.5	1.0 a 1.5
Muros de Contención	1.1 a 2.0	2.0 a 4.0	1.0 a 1.5
Terraplenes sobre suelos blandos	1.1 a 2.0	2.0 a 3.5	1.0 a 1.5
Fundaciones	1.1 a 2.0	2.0 a 4.0	1.0 a 1.5
Estabilización de Taludes	1.1 a 1.5	2.0 a 3.0	1.0 a 1.5
Ferrocarriles	1.5 a 3.0	1.0 a 1.5	1.5 a 2.0

TABLA 34. Factores de reducción para geomallas en aplicaciones de refuerzo.

Área	Daños por instalación FR _{ID}	Fluencia FR _{FL}	Degradación Química/Biológica FR _{DOB}
Caminos no Pavimentados	1.1 a 1.6	1.5 a 2.5	1.0 a 1.6
Caminos Pavimentados	1.2 a 1.5	1.5 a 2.5	1.1 a 1.7
Terraplenes sobre suelos blandos	1.1 a 1.4	2.0 a 3.0	1.1 a 1.5
Estabilización de Taludes	1.1 a 1.4	2.0 a 3.0	1.1 a 1.5
Muros de Contención	1.1 a 1.4	2.0 a 3.0	1.1 a 1.5
Fundaciones	1.1 a 1.5	2.0 a 3.0	1.0 a 1.6

4.1.4.2 Factores de reducción para geotextiles en aplicaciones de drenaje

Los geotextiles son tal vez uno de los geosintéticos más versátiles debido a sus numerosas aplicaciones y funciones. La más conocida es la de filtración. Sin embargo con un espesor suficiente puede servir como material drenante.

En filtración, el flujo va perpendicular al plano del geotextil, mientras que para drenaje, el flujo va paralelo o por dentro del mismo. A continuación se mencionan los factores a tener en cuenta para el diseño por función para geotextiles en aplicaciones de filtración y drenaje.

a. Colmatación y taponamiento: Este factor de reducción compensa el bloqueo de los poros aguas arriba del geotextil por partículas de suelo las cuales reducen el flujo a través de los poros del geotextil. El rango de valores de éste factor se muestra en la TABLA 35, nótese que los valores para este factor son los más altos para aplicaciones de drenaje esto se debe a la incertidumbre del comportamiento del tipo de suelo del sitio y el tipo de geotextil

utilizado para la aplicación. El estudio de este fenómeno se ha realizado por medio de la medición y comparación de tasas de flujo para geotextiles vírgenes y exhumados, determinando la permitividad del material antes y después del contacto con un determinado tipo de suelo. Por lo general los valores más bajos para este factor son utilizados cuando el suelo del sitio del proyecto tiene un contenido mínimo de finos, mientras que los valores más altos generalmente aplican para suelos de grano fino. La recomendación que se puede dar para este factor es tener en cuenta el tipo de geotextil a utilizar frente al tipo de material presente en el lugar del proyecto.

b. Reducción de vacíos por creep o fluencia: Debido a que los geotextiles son sometidos a cargas de compresión, se debe incluir para la selección del geotextil un factor de reducción que tenga en cuenta la variación en el tiempo del paso del flujo a través del geotextil. Este es un fenómeno que se desarrolla a largo plazo y los ensayos para cuantificarlo los realiza el fabricante, según el ensayo de permitividad del Instituto de Investigación de geosintéticos (Geosynthetics Research Institute) GRI - GT1 el cual sirve para determinar el factor de reducción realizando ensayos a 1,000 horas teniendo en cuenta el gradiente y el esfuerzo a compresión al que es sometido el geotextil. Cuando se desea utilizar el geotextil como medio para la transmisión de agua se realizan ensayos de transmisividad a largo plazo. Sin embargo para ambas situaciones tanto para permitividad y para transmisividad, existe la opción de realizar

pruebas de campo para productos específicos y condiciones del sitio específicas.

c. Intrusión en los vacíos: Este factor compensa el comportamiento que tienen las partículas de suelo para entrar y ser retenidas dentro del geotextil, reduciendo el flujo a través del mismo.

d. Colmatación Química: Este fenómeno se tiene en consideración cuando el líquido a filtrar o a drenar posee químicos que puedan quedar atrapados dentro del geotextil colmatándolo o taponándolo. Aguas subterráneas altamente alcalinas pueden colmatar el geotextil con calcio o magnesio. Líquidos con cantidades mayores a los 5,000 mg/l de sólidos suspendidos totales requieren factores de reducción mayores.

e. Colmatación Biológica: Así como la colmatación química, la naturaleza del líquido a drenar también es tenida en cuenta. Para aplicaciones de drenaje el factor de reducción por colmatación biológica puede ser relevante en proyectos en los cuales se desee captar y drenar líquidos con alto contenido de microorganismos, como por ejemplo en sistemas de captación y drenaje de lixiviados en rellenos sanitarios o en el manejo de biosólidos. En dichas aplicaciones este factor de reducción ocasiona el uso de un alto factor de

reducción en el diseño. Líquidos con valores de DBO mayores a 5,000 mg/l requieren factores de reducción mucho mayores.

TABLA 35. Factores de reducción para geotextiles en aplicaciones de drenaje.

Área	Colmatación FR _{SCB}	Reducción de vacíos por Creep FR _{CR}	Intrusión en los vacíos FR _{IN}	Colmatación Química FR _{CC}	Colmatación Biológica FR _{BC}
Filtros en el espaldón de muros de contención	2.0 a 4.0	1.5 a 2.0	1.0 a 1.2	1.0 a 1.2	1.0 a 1.3
Sistema de subdrenaje	2.0 a 10.0	1.0 a 1.5	1.0 a 1.2	1.2 a 1.5	2.0 a 4.0
Filtros de control de erosión	2.0 a 10.0	1.0 a 1.5	1.0 a 1.2	1.0 a 1.2	2.0 a 4.0
Filtros en rellenos sanitarios	2.0 a 10.0	1.5 a 2.0	1.0 a 1.2	1.2 a 1.5	2.0 a 5.0
Drenaje por gravedad	2.0 a 4.0	2.0 a 3.0	1.0 a 1.2	1.2 a 1.5	1.2 a 1.5
Drenaje a presión	2.0 a 3.0	2.0 a 3.0	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3	1.1 a 1.3

4.1.4.3 Factores de reducción para geocompuestos en aplicaciones de drenaje.

Anteriormente se habló sobre los factores de reducción para geotextiles como medios filtrantes, es decir para aplicaciones de flujo a través del plano del geotextil. A continuación se mencionan los factores de reducción para geocompuestos, en los cuales su función primaria es la transmisión de flujo en el plano del mismo. Para los geocompuestos el factor de reducción por colmatación y taponamiento no es tenido en cuenta, debido a que este no es un factor que altere el drenaje de los fluidos dentro del sistema.

a. Reducción de vacíos por creep: Este criterio depende de las condiciones específicas del lugar donde se va instalar el geodrén y de los esfuerzos aplicados sobre el mismo. El núcleo o geored del geodrén se verá afectado por

el fenómeno de creep a la compresión, por lo que a largo plazo puede existir una reducción de la transmisividad del sistema debido a la disminución del espesor del mismo.

b. Intrusión en los vacíos: Considerando los espacios que existen en el núcleo del geocompuesto, en este caso del geodrén, el fenómeno de intrusión representa un factor significativo para el diseño. Las variables que afectan este fenómeno son el espaciamiento entre los tendones de la red, la rigidez de la misma y del geotextil de recubrimiento y el esfuerzo a la compresión que es aplicado sobre el sistema.

Los factores de reducción por creep y por intrusión en los vacíos, pueden ser minimizados, en caso de que el fabricante suministre al diseñador las gráficas realizadas para el ensayo de transmisividad y tasa de flujo del geocompuesto, en el cual se tienen en cuenta los efectos de los esfuerzos de compresión a los que es sometido el sistema y el gradiente hidráulico según la dirección del flujo y la cabeza hidráulica.

c. Colmatación química: Este fenómeno se tiene en consideración cuando el líquido a filtrar o a drenar posee químicos que puedan quedar atrapados dentro del geocompuesto colmatándolo o taponándolo. Aguas subterráneas altamente alcalinas pueden colmatar el geotextil o la geored con calcio o magnesio.

Líquidos con cantidades mayores a los 5,000 mg/l de sólidos suspendidos totales requieren factores de reducción mayores.

d. Colmatación Biológica: Así como la colmatación química, la naturaleza del líquido a drenar también es tomada en cuenta. Para aplicaciones de drenaje el factor de reducción por colmatación biológica puede ser relevante en proyectos en los cuales se desee captar y drenar líquidos con alto contenido de microorganismos, como por ejemplo en sistemas de captación y drenaje de lixiviados en rellenos sanitarios o en el manejo de biosólidos. En dichas aplicaciones este factor de reducción ocasiona el uso de un alto factor de reducción en el diseño. Líquidos con valores de DBO mayores a 5,000 mg/l requieren factores de reducción mucho mayores.

TABLA 36. Factores de reducción para geocompuestos en aplicaciones de drenaje.

Área	Reducción de vacíos por Creep FR _{CR}	Intrusión en los vacíos FR _{IN}	Colmatación Química FR _{CC}	Colmatación Biológica FR _{BC}
Campos deportivos	1.0 a 1.2	1.0 a 1.5	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3
Roturas capilares	1.1 a 1.3	1.0 a 1.2	1.1 a 1.5	1.1 a 1.3
Muros de contención, taludes escarpados	1.3 a 1.5	1.2 a 1.4	1.1 a 1.5	1.0 a 1.5
Colchones de drenaje	1.3 a 1.5	1.2 a 1.4	1.0 a 1.2	1.0 a 1.2
Drenajes de agua superficial para coronas de relleno	1.3 a 1.5	1.2 a 1.4	1.0 a 1.2	1.5 a 2.0
Colección de lixiviados primarios (rellenos sanitarios)	1.5 a 2.0	1.4 a 2.0	1.5 a 2.0	1.5 a 2.0
Colección de lixiviados secundarios (rellenos sanitarios)	1.5 a 2.0	1.4 a 2.0	1.5 a 2.0	1.5 a 2.0
Subdrenes para vías	1.2 a 1.8	1.5 a 3.0	1.1 a 5.0	1.0 a 1.2

4.2 APLICACIONES DE GEOSINTÉTICOS EN VIAS

4.2.1 SEPARACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES

4.2.1.1 INTRODUCCIÓN

En el área de diseño y construcción de carreteras uno de los problemas que se presentan con mayor frecuencia es el deterioro prematuro de las vías, causado por diversos factores relacionados con las características y propiedades de los materiales que conforman la estructura del pavimento y con las condiciones de carga que sobrepasan los valores de diseño. Desde el punto de vista estructural, la contaminación de la(s) capa(s) granular(es), la mezcla de los suelos de diferentes características y el comportamiento mecánico del suelo de subrasante son factores de gran influencia en el deterioro de las vías, lo que se traduce en una reducción de la capacidad portante de todo el sistema.

La utilización de geotextiles como una capa de separación entre los suelos de subrasantes y las capas granulares ha permitido mantener la integridad de los materiales y mejorar su funcionamiento, aumentando la vida útil de las estructuras. Esta capa de separación con geotextil elimina la instalación de un material adicional que se emplea en los diseños tradicionales que solo tiene en cuenta el proceso de contaminación que se produce al inicio del período de vida de servicio, y no tiene en cuenta el proceso de contaminación a largo plazo.

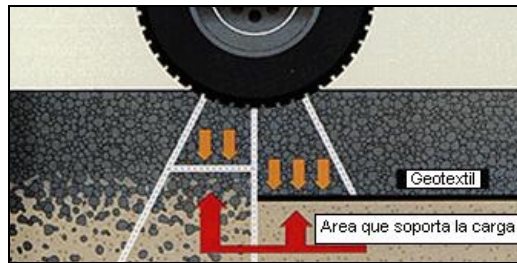


Fig 47. Función de separación de capas de suelo con geotextil.

Para que un geotextil cumpla correctamente la función de separación entre un suelo de subrasante y una capa de material granular, el CBR de la subrasante debe estar entre 3% y 10%.

En efecto, dentro de este rango se asume que la deformación del suelo de subrasante no es lo suficientemente importante para generar grandes esfuerzos de tensión en el geotextil, el cual se diseña como separación y no como refuerzo. Cuando el CBR es menor, del 3% el geotextil asume grandes deformaciones y comienza a absorber esfuerzos a tensión que lo inducen a trabajar como refuerzo, factor que afecta totalmente el diseño por separación. En los casos en que el CBR de la subrasante sea menor del 3% se debe hacer un diseño por refuerzo y verificar los criterios del diseño por separación cuando el geotextil se coloca entre dos materiales de diferentes características.

Para tener un concepto claro del funcionamiento del geotextil como separación en la interfaz subrasante - capas granulares, a continuación se hace una descripción del proceso que se desarrolla entre dos materiales de diferentes

características y comportamiento, y de cómo el geotextil se convierte en una barrera que permite mantener la integridad y el buen funcionamiento de los materiales, mejorando la resistencia y estabilidad de la estructura de la vía.

En el caso de las estructuras de pavimento, donde se coloca suelo granular (relleno, subbase, base) sobre suelos finos (subrasante) se presentan dos procesos en forma simultánea:

1. Migración de suelos finos dentro del suelo granular, disminuyendo su capacidad de drenaje.
2. Intrusión del suelo granular dentro del suelo fino, disminuyendo su capacidad portante (resistencia).

El geotextil se traduce en una barrera para migración de partículas entre dos tipos de suelo, facilitando la transmisión de agua. Se requiere entonces un geotextil que retenga las partículas de suelo, evite el lavado de finos por la acción del agua y que cumpla con resistencias necesarias para mantener la continuidad sin que ocurra ninguna falla por tensión, punzonamiento o estallido, bajo concentraciones de esfuerzos locales causados por irregularidades en el suelo de fundación.

4.2.1.2 METODOLOGÍA DE DISEÑO

4.2.1.2.1 GENERALIDADES

Este diseño permite escoger el tipo de geotextil adecuado para colocar en la interfaz subrasante - capa granular, que tiene como función principal la separación de suelos adyacentes con propiedades y características diferentes y la estabilización de la subrasante durante el periodo de vida útil de la estructura de una vía.

En el caso del diseño por separación, se comparan las resistencias del geotextil con el valor requerido en el diseño para una misma propiedad, obteniendo un factor de seguridad global FS_g .

$$FS_g = \frac{\text{Resistencia Admisible}}{\text{Resistencia Requerida}} \Rightarrow FS_g > 1$$

Donde:

Resistencia Admisible: Resistencia última del ensayo de laboratorio que simula las condiciones reales del proyecto sobre los factores de reducción.

Resistencia Requerida: Valor obtenido de una metodología de diseño que simula las condiciones reales del proyecto.

Para los casos en que se determine el factor de seguridad global como parámetro de diseño, se calcula entonces la resistencia requerida (diseño) en función de las especificaciones del geotextil que se vaya a utilizar.

$$\text{Resistencia Requerida} = \frac{\text{Resistencia Admisible}}{FS_g}$$

Las especificaciones de los geotextiles se evalúan bajo condiciones ideales de laboratorio, lo que en algunos casos representa altos valores numéricos para el diseño. Los valores obtenidos en el laboratorio se deben modificar para aplicarlos bajo las condiciones in situ de cada proyecto. Para tener en cuenta estos factores, se asume un factor de seguridad parcial FS_p que permite ajustar el valor último de laboratorio a las condiciones particulares del terreno, obteniendo un valor admisible que se aplicará en el diseño.

$$T_{adm} = \frac{T_{ult}}{FS_p} \quad (1)$$

$$FS_p = FR_{ID} \times FR_{DQB} \quad (2)$$

Donde:

T_{adm} = Resistencia admisible para emplear en el diseño

T_{ult} = Resistencia última obtenida en laboratorio

FS_p = Factor de seguridad parcial

FR_{ID} = Factor de reducción por daños de instalación

FR_{DQB} = Factor de reducción por degradación química y biológica

4.2.1.2.2 Resistencia al Estallido (Mullen Burst)

Entre las partículas del suelo granular que se colocan sobre el geotextil existen vacíos que permiten que el geotextil se introduzca entre ellas por la acción simultánea de las cargas de tráfico que son transmitidas hasta las capas granulares, al geotextil y al suelo de subrasante. Una vez sometido a esfuerzos, el suelo trata de empujar el geotextil por los vacíos de la capa granular. El geotextil que se coloca en la interfaz subrasante - capa granular debe cumplir una resistencia mínima para que no falle por estallido. El ensayo de resistencia al estallido método Mullen Burst norma ASTM D 3786-87 representa esta situación (ver 3.4.8)

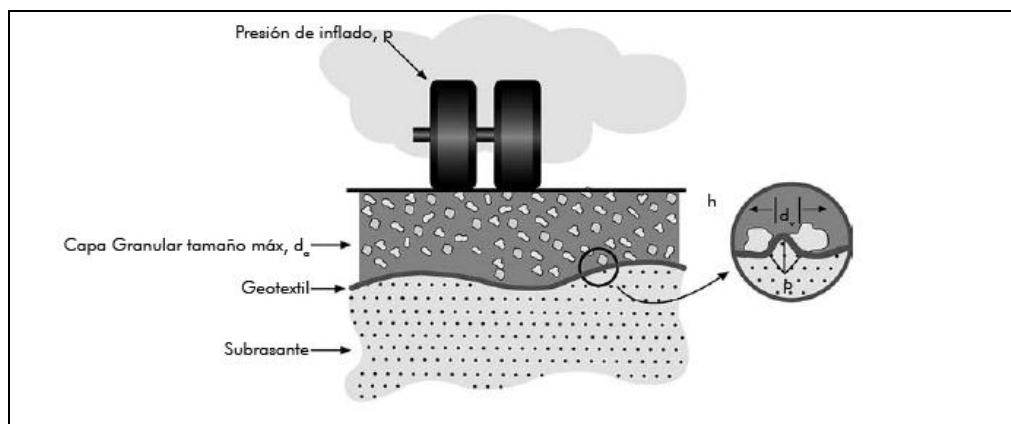


Fig. 48 Geotextil de separación - Resistencia al estallido

$$T_{req} = \frac{p' d_v [f(\varepsilon)]}{2} \quad (3)$$

$$T_{ult} = \frac{p_{test} d_{test} [f(\varepsilon)]}{2} \quad (4)$$

Donde:

T_{req} = Resistencia requerida del geotextil (KPa)

p' = Esfuerzo en la superficie del geotextil: $p' < p$ (KPa)

p = Presión de inflado (KPa)

d_v = Diámetro máximo de los vacíos $\cong 0.33 d_a$ (mm)

d_a = Diámetro máximo de las partículas de agregados (mm)

$f(\varepsilon)$ = Función de deformación (elongación) del geotextil

T_{ult} = Resistencia última del geotextil (KPa)

p_{test} = Presión del ensayo Mullen Burst (KPa)

d_{test} = Diámetro del diafragma - ensayo Burst (30.48 mm)

Método: Verificar si el geotextil que se va a utilizar es adecuado, con un T_{ult} conocido: calcular FS_g

$$FS_g = \frac{T_{adm}}{T_{req}} \quad (5)$$

$$T_{adm} = \frac{T_{ult}}{FS_p} \quad (6)$$

Reemplazando la ecuación (6) en la ecuación (5) y sustituyendo los valores de T_{req} y T_{ult} , se obtiene:

$$FS_g = \frac{p_{test} \times d_{test}}{FS_p \times p' \times d_v} \quad (7)$$

4.2.1.2.3 Resistencia a la Tensión GRAB

Otro factor que actúa sobre el geotextil es el esfuerzo de tracción que se genera en el geotextil en su plano de deformación. Esto ocurre cuando el geotextil está “atrapado” por una capa granular y un suelo de subrasante. Cuando una partícula superior es forzada contra dos partículas inferiores que están en contacto con el geotextil se genera un esfuerzo de tracción en su plano (Ver Fig. 42). El ensayo de tensión según el Método GRAB ASTM D4632-91, simula este proceso en el laboratorio, determinando la carga de rotura (Resistencia GRAB) del geotextil y su elongación correspondiente (deformación - elongación Grab) (ver 3.4.4). El geotextil se coloca en la interfaz subrasante - capa granular debe cumplir una resistencia mínima para que no falle por tensión.

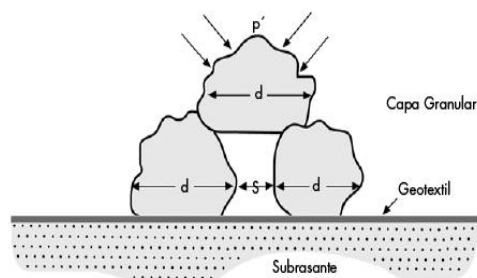


Figura 49. Geotextil de separación- Resistencia a la tensión (GRAB).

$$T_{req} = (p' \times 10^{-3})(d_v)^2 [f(\varepsilon)] \quad (8)$$

Donde:

T_{req} = Resistencia GRAB requerida (N)

p' = Presión aplicada (KPa)

d_v = Diámetro máximo de los vacíos: $d_v \cong 0.33 d_a$ (mm)

d_a = Diámetro máximo de las partículas de agregado (mm)

$f(\varepsilon)$ = Función de deformación (elongación) del geotextil

TABLA 37. Valores de $f(\varepsilon)$

$\varepsilon(\%)$	$f(\varepsilon)$	$\varepsilon(\%)$	$f(\varepsilon)$
0	-	25	0.55
2	1.47	30	0.53
4	1.23	35	0.52
6	1.08	40	0.51
8	0.97	45-70	0.50
10	0.90	75	0.51
12	0.80	90	0.52
14	0.73	100	0.53
16	0.69	110	0.54
18	0.64	120	0.55
20	0.58	130	0.56

Método: Verificar si el geotextil que se va a utilizar es adecuado, con un T_{ult} conocido; calcular FS_g .

$$T_{adm} = \frac{T_{ult}}{FS_p} \quad (9)$$

$$FS_g = \frac{T_{adm}}{T_{req}} \quad (10)$$

Reemplazando las ecuaciones (8) y (9) en la ecuación (10)

$$FS_g = \frac{T_{ult}}{FS_p \times p' \times 10^{-3} \times d_v^2 \times [f(\varepsilon)]} \quad (11)$$

Entonces la ecuación del factor de seguridad global es:

$$FS_g = \frac{T_{ult}}{FS_p \times p' \times 10^{-3} \times (0.33d_a)^2 \times [f(\varepsilon)]} \Rightarrow FS_g > 1$$

4.2.1.2.4 Resistencia al Punzonamiento

Además de cumplir la función de separación, el geotextil de separación debe resistir el proceso de instalación, sin que sus propiedades iniciales sufran modificaciones importantes. Así se garantiza el buen funcionamiento del geotextil durante la vida útil de la vía. Materiales punzonantes, piedras angulares, ramas de árboles, desechos de construcción y otro tipo de objetos que se encuentren sobre el suelo (subyacente) que quede en contacto con el geotextil, pueden romperlo y desgastarlo cuando se coloque la capa granular y se apliquen las cargas de tráfico sobre la estructura. Se debe calcular la fuerza vertical que actuara sobre el geotextil bajo estas condiciones, y verificar que el

geotextil que se coloque resista el punzonamiento que se genere. El ensayo de resistencia al punzonamiento ASTM D 4833-96, simula esta condición en laboratorio y permite calcular la máxima resistencia que tiene un geotextil bajo la acción del punzonamiento (ver 3.3.7),

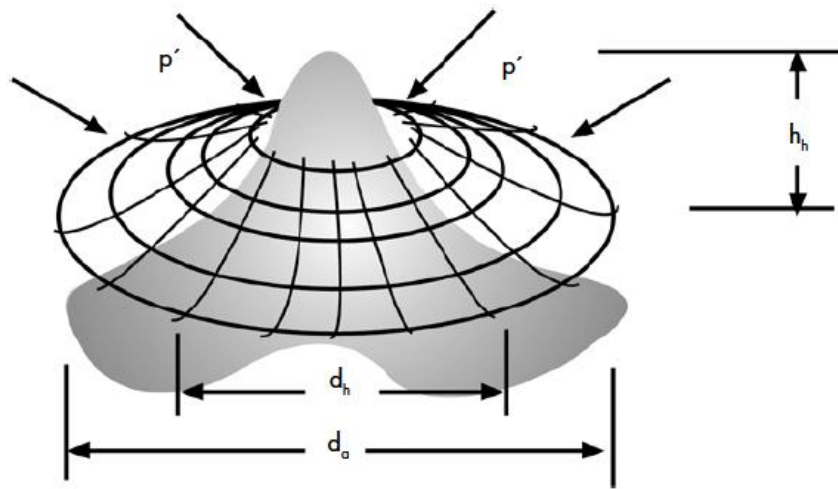


Fig 50. Punzonamiento causado por una partícula sobre el geotextil.

$$T_{req} = \frac{p' \times d_a^2 \times S_1 \times S_2 \times S_3}{39.36} \quad (12)$$

Donde:

T_{req} = Fuerza vertical que el geotextil debe resistir (N)

p' = Presión aplicada (KPa)

p = Presión de inflado (KPa)

d_a = Diámetro máximo de las partículas de agregado o de partículas angulares (mm)

$S_1 = h_h/d_a$. Factor de punzonamiento (empuje) del suelo o partículas subyacentes al geotextil.

$h_h =$ Altura de empuje: $h_h < d_a$

$S_2 = 0.31d_a$. Factor de escala para ajustar el diámetro del vástago de punzonamiento del ensayo ASTM D4833-96, (5/16 in) al diámetro de la actual partícula punzonante.

$S_3 = 1 - A_p/A_c$ de forma para ajustar la forma del vástago de punzonamiento del ensayo ASTM D4833-96, a la forma de la actual partícula punzonante.

$A_p =$ Área proyectada de la partícula.

$A_c =$ Área del menor círculo circunscrito.

TABLA 38. Valores de A_p / A_c .

Descripción	A_p / A_c
Arena de Ottawa	0.8
Grava	0.7
Roca Triturada	0.4
Roca extraída por medio de dinamita	0.3

Verificar si el geotextil que se va a utilizar es el adecuado, con T_{req} conocido; calcular FS_g .

4.2.1.2.5 Criterio de Retención (TAA)

El criterio de retención por tamaño de abertura aparente (TAA) permite determinar el tamaño de las aberturas del geotextil para evitar la migración de suelo fino hacia las capas granulares.

$$TAA < D_{85} \times B$$

Donde:

TAA = Tamaño de abertura aparente, dato suministrado por el fabricante.

Corresponde a la abertura de los espacios libres (en milímetros). Se obtiene tamizando unas esferas de vidrio de diámetro conocido, cuando el 5%, de un tamaño determinado de esferas pasa a través del geotextil, se define el TAA. Ensayo ASTM D4751-95. (Ver 3.4.6).

D_{85} = Tamaño de partículas (en milímetros) que corresponde al 85% del suelo que pasa al ser tamizado. Este dato se obtiene de la curva granulométrica del suelo en consideración.

B = Coeficiente que varia entre 1 y 3. Depende del tipo de suelo a filtrar, de las condiciones de flujo y del tipo del geotextil.

➤ Para arenas, arenas gravosas, arenas limosas y arenas arcillosas (con menos del 50% pasa tamiz N° 200), B es función del coeficiente de uniformidad C_u , donde $C_u = D_{60}/D_{10}$

$$2 < C_u \leq 4 \Rightarrow B = 0.5 \times C_u$$

$$4 < C_u \leq 8 \Rightarrow B = 8 / C_u$$

- Para suelos arenosos mal graduados: B entre 1.5 y 2
- Para suelos finos (mas del 50% pasa tamiz N° 200) B es función del tipo de geotextil.

$$\text{Para Tejidos: } B = 1 \Rightarrow TAA \leq D_{85}$$

$$\text{Para No Tejidos: } B = 1.8 \Rightarrow TAA \leq 1.8 \times D_{85}$$

- Para aplicaciones de separación, La AASHTO M-288-05 recomienda que los geotextiles deben cumplir:

$$TAA < 0.60 \text{ mm.}$$

4.2.1.2.6 Criterio de Permeabilidad

El coeficiente de permeabilidad k , se define como la propiedad hidráulica que tiene un geotextil, para permitir un adecuado paso de flujo, perpendicular a su plano.

Para la función de separación los geotextiles deben cumplir lo siguiente:

$$k_{\text{del geotextil}} > k_{\text{del suelo}}$$

Donde:

$$k = \psi \times t$$

ψ = Permitividad del geotextil.

t = Espesor nominal del geotextil.

En los casos en que se presente un nivel freático muy alto o condiciones críticas de humedad de la subrasante, se debe utilizar un geotextil con alta transmisividad que permite el drenaje a través de su plano, (geotextiles no tejidos punzonados por agujas). En estos casos se recomienda incorporar un sistema de subdrenaje lateral para abatir el nivel freático.

4.2.1.3 EJEMPLO DE DISEÑO

Para la construcción de una vía nueva se requiere colocar un geotextil de separación en la interfaz subrasante - subbase granular. La vía tendrá un ancho de calzada de 7.30 m (ancho carril 3.65 m) y bermas - cuneta de 1.80 m, para un ancho total de corona de 10.90 m. El tránsito promedio diario (TPD) para el primer año de servicio es de 3,000 vpd y el tránsito de diseño para un periodo de 10 años es $N = 6 \times 10^6$ ejes equivalentes a 8.20 ton. La presión de inflado es de 100 psi = 690 kPa.

El suelo de subrasante está compuesto por limos arcillosos (ML), con una permeabilidad $k = 2.5 \times 10^{-6}$ cm/s. Se estableció un CBR de diseño de 3.5%, para una estructura de pavimento flexible compuesta por subbase y base granular conformados por materiales angulares y capa asfáltica.

Determinar el tipo de geotextil para usar como separación en la interfaz subrasante - subbase granular, para el siguiente caso:

Para un geotextil no tejido teniendo una subbase granular de tamaño máximo:

$$d_a = 2.5''$$

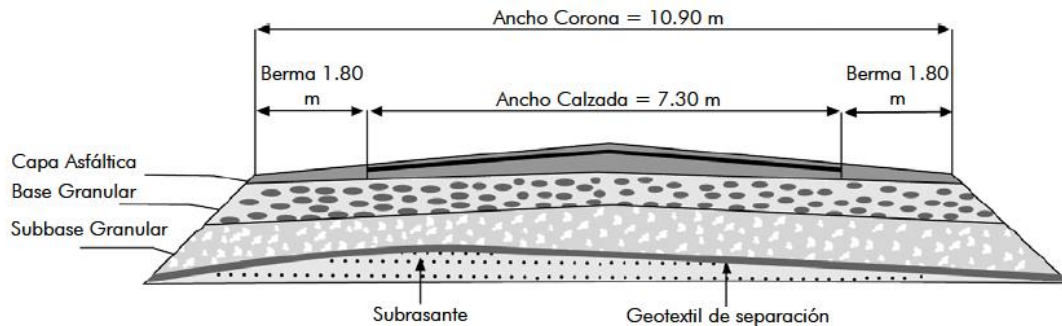


Fig. 51 Sección transversal de la estructura de pavimento.

De acuerdo a la norma AASHTO M - 288-05 para la función de separación debe utilizarse un geotextil clase II (Ver TABLA 11) con los siguientes VMPR:

- Resistencia a la tensión método GRAB: 700 N
- Resistencia al estallido Mullen Burst: 1300 kPa
- Resistencia al punzonamiento: 250 N

Con estos datos se revisan las especificaciones técnicas de materiales geotextiles proporcionada por los diferentes fabricantes, se revisan de acuerdo a la metodología de diseño presentada y se elige aquel que cumpla de manera óptima con los factores de seguridad. Para fines de ejemplificar el caso tomaremos las especificaciones técnicas de geotextiles no tejidos

proporcionadas por geosintéticos PAVCO de la empresa AMANCO S.A. de C.V.

(Ver Anexos)

El geotextil que utilizaremos es el NT 2500 que presenta las siguientes características:

TABLA 39. Propiedades Geotextil PAVCO NT2500

Propiedad	Norma de ensayo	VMPR
Requerimiento Propiedades de resistencia.		
Resistencia a la tensión GRAB	ASTM D 4632	730 N
Resistencia al punzonamiento	ASTM D 4833	390 N
Resistencia al estallido Mullen	ASTM D 3786	2000 Kpa
Requerimiento Propiedades Hidráulicas		
Tamaño de abertura aparente (TAA)	ASTM D4751	0.150 mm. (Tamiz 120)
Permeabilidad	ASTM D 4491	36×10^{-2} cm/s

a) Resistencia al Estallido (Mullen Burst)

$$p' = 100\text{psi} = 690 \text{ KPa}$$

$$d_a = 2.5'' = 63.5\text{mm}$$

$$T_{adm} = \frac{T_{ult}}{FS_p}$$

$$FS_p = FR_{ID} \times FR_{FL} \times FR_{DQB}$$

$$FR_{ID} = 2.0$$

$$FR_{FL} = 1.5$$

$$FR_{DQB} = 1.0$$

$$FS_p = 2.0 \times 1.5 \times 1.0$$

$$FS_p = 3.0$$

$$T_{ult} = \frac{p_{test} d_{test} [f(\varepsilon)]}{2}$$

$$T_{ult} = \frac{2,000 \times 30.48 \times 0.50}{2} = 15,240$$

$$T_{adm} = \frac{15,240}{3} = 5,080$$

$$T_{req} = \frac{p' d_v [f(\varepsilon)]}{2}$$

$$d_v = 0.33 \times d_a = 0.33 \times 63.5$$

$$d_v = 20.955$$

$$T_{req} = \frac{690 \times 20.955 \times 0.5}{2} = 3,613.87$$

$$FS_g = \frac{T_{adm}}{T_{req}}$$

$$FS_g = \frac{5,080}{3,613.87}$$

$$FS_g = 1.41 > 1.0 \Rightarrow ok$$

b) Resistencia GRAB

$$T_{adm} = \frac{T_{ult}}{FS_p}$$

$$T_{ult} = 730N$$

$$T_{adm} = \frac{730}{3} = 243.33N$$

$$T_{req} = (p' \times 10^{-3})(d_v)^2 [f(\varepsilon)]$$

$$T_{req} = (690 \times 10^{-3})(20.955)^2 [0.5]$$

$$T_{req} = 151.49N$$

$$FS_g = \frac{T_{adm}}{T_{req}}$$

$$FS_g = \frac{243.33N}{151.49N}$$

$$FS_g = 1.61 > 1.0 \Rightarrow ok$$

c) Resistencia al punzonamiento

$$T_{adm} = \frac{T_{ult}}{FS_p}$$

$$T_{ult} = 390N$$

$$T_{adm} = \frac{390}{3} = 130N$$

$$T_{req} = \frac{p' \times d_a^2 \times S_1 \times S_2 \times S_3}{39.36}$$

$$S_1 = 0.40$$

$$S_2 = \frac{0.31}{63.5} = 0.00488$$

$$S_3 = 1 - 0.4 = 0.60$$

$$T_{req} = \frac{690 \times 4032.25 \times 0.40 \times 0.00488 \times 0.60}{39.36}$$

$$T_{req} = 82.78N$$

$$FS_g = \frac{T_{adm}}{T_{req}}$$

$$FS_g = \frac{130N}{82.78N}$$

$$FS_g = 1.57 > 1.0 \Rightarrow ok$$

d) Criterio de Retención (TAA)

Para aplicaciones de separación, La AASHTO M - 288-05 recomienda que los geotextiles deben cumplir: $TAA < 0.60$ mm.

Tamaño de abertura aparente de geotextil NT2500 = 0.125 mm < 0.60 mm.

CUMPLE

e) Criterio de Permeabilidad

$$k_{geotextil} > k_{suelo}$$

$$k_{geotextil} = 36 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$$

$$k_{suelo} = 2.5 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$$

$$k_{geotextil} \gg k_{suelo} \Rightarrow ok$$

4.2.1.4 EJEMPLO DE RELACIÓN BENEFICIO - COSTO

Evaluar la reducción del índice de serviciabilidad en función de las cargas equivalentes sin la instalación de un geotextil como elemento de separación, y determinar el incremento en costos por efectos de la contaminación presentada en una vía principal que fue diseñada con la siguiente estructura de pavimento flexible:

Espesor de la carpeta asfáltica = 7.5 cm

Espesor de la base granular = 30 cm

Espesor de la subbase granular = 40 cm

Ancho de la calzada = 7.30 m

Longitud del tramo = 2.5 km

CBR de la subrasante = 3%

Solución:

Basándose en la metodología AASHTO para el cálculo de pavimentos flexibles, y asumiendo que la estructura de la vía tiene un sistema de drenaje adecuado, se calcula el número estructural de la siguiente forma:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Donde:

a_i = Coeficiente de la capa.

D_i = Espesor de la capa.

m_i = Coeficiente de drenaje de la capa i

Para realizar el cálculo del número estructural (SN) se puede hacer uso de un programa computacional, en este caso se utilizó el programa del Método AASHTO para el diseño de pavimentos desarrollado por el Ing. Luis S. Vásquez de la Universidad de Manizales, Colombia. El resultado se muestra a continuación:

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vásquez

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)

Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento: Flexible Rígido

Confiableabilidad (R) y desviación estándar (So): 95% Zr = -1.645 So = 0.45

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial = 4.2 PSI final = 2.5

Tránsito de diseño: W18 = 503674

Pavimento flexible

Capa	Módulo de elasticidad (psi)	Coefficiente de capa (a _i)	Coefficiente de drenaje (m _i)	SN necesario	Espesor D (plg.)	Espesor D* (plg.)	SN* dispuesto
1	¿E/a?	0.40	1.0	¿m?	2.95	3.0	1.18
2	¿E/a?	0.14	1.0	¿m?	11.80	12.0	1.65
3	¿E/a?	0.10	1.0	¿m?	15.70	16.0	1.41
4	4500 MR						4.24

W18 real = 533180

Botones: Diseñar, Ver informe, Salir

Para nuestra estructura se obtiene un valor de **SN = 4.24**

Los datos utilizados en los coeficientes de capa a_1 , a_2 , a_3 y los coeficientes de drenaje m_1 , m_2 , m_3 se tomaron de la TABLA 40 y la TABLA 41 respectivamente, donde se coloca los valores recomendados por AASTHO.

TABLA 40. Coeficientes de capa recomendados por la AASTHO

	Material	CBR %	Rango a _i [1/pul]
a ₁	Capa de Asfalto	> 100	0.40 – 0.44
	Base Asfáltica	> 100	0.30 – 0.40
a ₂	Material Granular Bien Graduado	Piedra Picada de dureza alta	80 – 100
		Piedra Picada de dureza media	60 – 80
		Grava de río	40 – 70
		Mezcla de arena y grava	20 – 50
a ₃	Base Granular	Arena limpia	10 – 30
			0.06 – 0.10

TABLA 41. Coeficientes de drenajes para pavimentos flexibles (m_x).

Calidad del drenaje	P=% de tiempo en que el pavimento esta expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	>25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.90	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos, SIECA, 2002

Con el número estructural calculado, determinamos el número de ejes equivalentes que es capaz de soportar la estructura. Para el cálculo se utilizó el programa de Ecuación de la guía AASHTO 93.

Parámetros para el cálculo:

Confiabilidad: 95% (Para autopistas y vías principales)

Desviación global: 0.45 (Pavimentos flexibles y construcciones nuevas)

Modulo Resiliente: CBR Subrasante x 1,500 = 3 x 1,500 = 4,500psi

Índice de serviciabilidad inicial: 4.0 (Bueno)

Índice de serviciabilidad final: 2.5 (Para autopistas y vías principales)

Del cálculo se obtiene un valor estimado de 594,584 ejes equivalentes.

Para evaluar la contribución del geotextil como separación entre la capa de subbase y la subrasante, reducimos el coeficiente estructural de la capa de subbase en un 50%⁹ debido a la contaminación que existiría en esta con material de la subrasante. Teniendo en cuenta lo anterior, procedemos a calcular el nuevo SN de la estructura de la vía.

Capa	Módulo de elasticidad (psi)	Coefficiente de capa (ai)	Coefficiente de drenaje (mi)	SN necesario	Espesor D (plg.)	Espesor D* (plg.)	SN* dispuesto
1	$\frac{1}{2}E/a^2$	0.44	1.0	$\frac{1}{2}m?$	2.95	3.0	1.18
2	$\frac{1}{2}E/a^2$	0.14	1.0	$\frac{1}{2}m?$	11.80	12.0	1.65
3	$\frac{1}{2}E/a^2$	0.05	1.0	$\frac{1}{2}m?$	15.70	16.0	0.79
4	4500	MR					3.62

W18 real: 202564

218 _____
⁹ Robert Koerner "Diseño con Geosintéticos", 2005.

El número estructural reducido de la vía es **3.62**, con este valor se calcula el nuevo número de ejes equivalentes, conservando los valores recomendados por AASHTO.

El valor de ejes equivalentes obtenidos es 230,439 y haciendo la relación entre los valores de las cargas equivalentes de la estructura inicial y la afectada por la contaminación, encontramos que la reducción es igual a:

$$1 - \left[\frac{230,439}{594,584} \right] = 61\%$$

Finalmente se calcula el material adicional necesario, para mantener las condiciones iniciales de la vía (SN = 4.24), teniendo un coeficiente estructural de la subbase reducido en un 50%:

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)

Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento: Flexible Rígido

Confianabilidad (R) y desviación estándar (So): 95 % Zr = -1.645

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial 4.2, PSI final 2.5

Tránsito de diseño: W18 500000

So: 0.45

Pavimento flexible

Capa	Módulo de elasticidad (psi)	Coefficiente de capa (a)	Coefficiente de drenaje (m)	SN necesario	Espesor D (plg.)	Espesor D* (plg.)	SN* dispuesto
1		¿E/a?	0.44	1.0	¿m?	2.95	3.0
2		¿E/a?	0.14	1.0	¿m?	11.8	12.0
3		¿E/a?	0.05	1.0	¿m?	28.10	28.5
4	4500	MR					4.24

W18 real: 526585

Botones: Diseñar, Ver informe, Salir

El espesor de la capa base aumenta en 12.40 pulgadas, si tomamos en cuenta la contaminación de la capa de subbase con material de suelo de subrasante.

Viendo gráficamente las dos situaciones evaluadas tenemos:

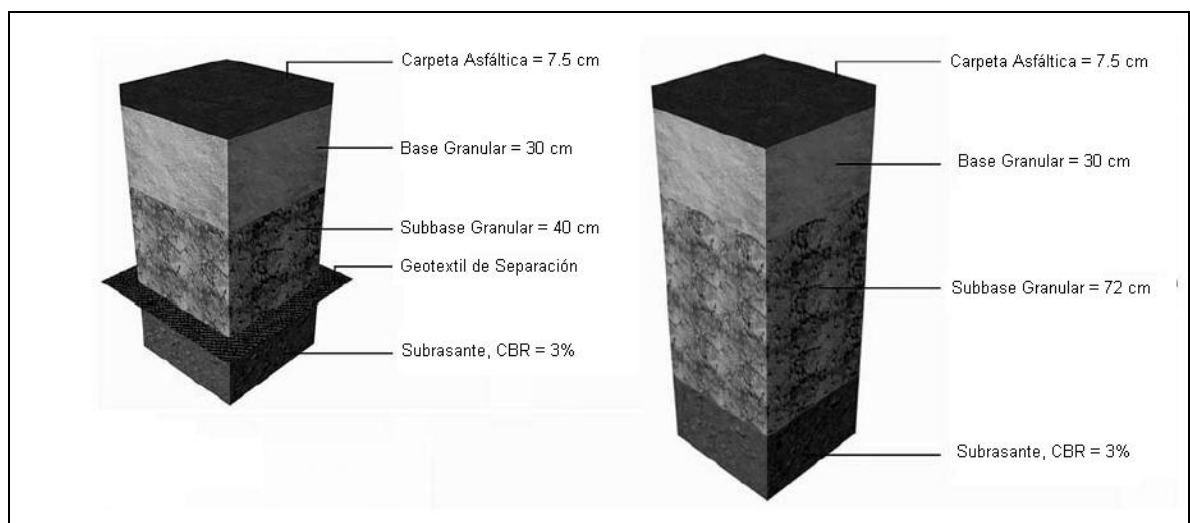


Fig. 52 Comparación de espesores de estructura con y sin geotextil.

Haciendo la comparación de costos de las dos estructuras de la vía, tenemos:

TABLA 42. Estructura de la vía sin geotextil.

Capas de la estructura de la vía	Unidad	Espesor (m)	Cantidad total en el tramo	Precio Unitario (US\$)	Precio Total (US\$)
Carpeta Asfáltica	m ³	0.075	1368.75	25.00	34,218.75
Base Granular	m ³	0.30	5475	14.50	79,387.50
Subbase Granular	m ³	0.72	13140	9.60	126,144.00
				TOTAL	239,750.25

TABLA 43. Estructura de la vía con geotextil.

Capas de la estructura de la vía	Unidad	Espesor (m)	Cantidad total en el tramo	Precio Unitario (US\$)	Precio Total (US\$)
Carpeta Asfáltica	m ³	0.075	1368.75	25.00	34,218.75
Base Granular	m ³	0.30	5475	14.50	79,387.50
Subbase Granular	m ³	0.40	7300	9.60	70,080.00
Geotextil	m ²	-	18250	1.35	24,637.50
				TOTAL	208,323.75

NOTA: Los precios listados corresponden al año 2009 y no se contempla acarreo de material.

El ahorro en costos gracias a la instalación de un geotextil como elemento de separación en esta estructura es de USD \$31,426.50.

Es importante tener en cuenta que si se utiliza un espesor de material granular adicional para reemplazar el uso del geotextil, no se garantizará con esto que la estructura no presente una pérdida de funcionalidad debido al proceso de contaminación a lo largo del periodo de diseño de la vía.

4.2.2 REFUERZO EN VÍAS CON GEOMALLAS BIAXIALES COEXTRUÍDAS

4.2.2.1 INTRODUCCIÓN

Los pavimentos se caracterizan por ser sistemas multicapa, los cuales están diseñados para absorber y disipar los esfuerzos generados por el tráfico, por lo general estas estructuras poseen capas de mejor calidad cerca de la superficie donde las tensiones son mayores. Tradicionalmente un pavimento trabaja distribuyendo la carga aplicada hasta que llegue a un nivel aceptable para la subrasante. La estructura general de un pavimento esta conformada por una capa de rodadura ya sea rígida (concreto de cemento Pórtland) o flexible (concreto de cemento asfáltico) apoyada sobre una capa de base que puede ser piedra partida, grava bien graduada o materiales estabilizados (con cementos, cal o asfalto) y una de subbase con material de menor calidad.

Existen diferentes metodologías de diseño para pavimentos flexibles incluyendo métodos empíricos, métodos limitando la fuerza de corte, métodos limitando la deflexión, métodos regresivos y métodos mecánicos - empíricos. El método AASHTO es un método de regresión basado en resultados empíricos obtenidos por la AASHTO Road Test en los años 50.

4.2.2.2 METODOLOGÍA DE DISEÑO

La metodología que se presenta se basa en la versión de 1,993 del método de diseño de pavimentos flexibles de la AASHTO. La cual ha sido modificada para explicar la contribución estructural de las geomallas biaxiales coextruídas, según la investigación desarrollada por Filippo Montanelli, Aigen Zhao y Pietro Rimoldo, Ingenieros investigadores de TENAX CORP.

La modificación del método de la AASHTO empleando geomallas biaxiales coextruídas para refuerzo de pavimentos flexibles, se realizó con base en ensayos de laboratorio y verificaciones en campo a escala real por los autores mencionados.

Los datos recolectados fueron analizados y con base a ellos se desarrolló una metodología aplicable a geomallas de alto módulo de tensión y caracterizadas por su capacidad de trabazón con los agregados y alta resistencia en sus juntas.

4.2.2.3 MECANISMOS DE REFUERZO GENERADOS POR LAS GEOMALLAS

A través de múltiples investigaciones (Giroud y Noiray, 1,981; Giroud et al. 1,985; Berg et al, 2,000), se ha encontrado que los 3 mecanismos principales de refuerzo que proporciona una geomalla biaxial son los siguientes:

4.2.2.3.1 Confinamiento lateral de la base o subbase

El cual se logra a través de la fricción y trabazón de la geomalla con el agregado. Esto se presenta debido a que los módulos de los materiales granulares son dependientes del estado de esfuerzos, al aumentar el confinamiento lateral, aumenta el módulo de la capa granular sobre la geomalla.

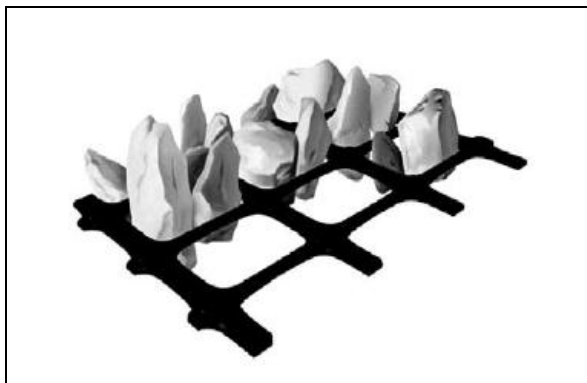


Fig. 53 Confinamiento lateral generado por la geomalla en un material granular.

4.2.2.3.2 Mejoramiento de la capacidad portante

Se logra desplazando la superficie de falla del sistema de la subrasante blanda hacia la capa granular de mucha más resistencia. Este mecanismo tiende a tener mayor validez en vías sin pavimentar o cuando el estado de esfuerzos sobre la subrasante es alto.

4.2.2.3.3 Membrana tensionada

Este efecto se origina en la propiedad por la cual un material flexible elongado, al adoptar una forma curva por efecto de la carga, el esfuerzo normal sobre su cara cóncava es mayor que el esfuerzo sobre la cara convexa, lo cual se

traduce en que bajo la aplicación de carga el esfuerzo vertical transmitido por la geomalla hacia la subrasante es menor que el esfuerzo vertical transmitido hacia la geomalla. Sin embargo, este mecanismo solo ocurre a niveles de deformación demasiado altos como los que ocurren en vías sin pavimentar después de un número de repeticiones de carga elevado.

De acuerdo con lo anterior, el mecanismo de mayor importancia para las estructuras viales es el confinamiento lateral, mediante el cual se alcanzarían 4 beneficios principales:

- **Restricción del desplazamiento lateral de los agregados de la base o subbase.**

La colocación de una o varias capas de la geomalla dentro o en el fondo de la capa de base permite la interacción por cortante entre el agregado y la geomalla, a medida que la base trata de desplazarse lateralmente. La carga por cortante es transmitida desde el agregado de la capa granular hacia la geomalla y la coloca en tensión. La alta rigidez de la geomalla actúa para retardar el desarrollo de la deformación por tensión en el material adyacente a esta, situación que se generará constantemente en la zona donde se encuentra un diferencial de tipos de estructura. Una deformación lateral más pequeña de la base o subbase se traduce en menor deformación vertical de la superficie de la vía.

- **Aumento del confinamiento y de la resistencia de la base o subbase en la vecindad del refuerzo.**

Se espera un incremento en la rigidez de la capa granular cuando se desarrolla una adecuada interacción entre esta y la geomalla. Un aumento en el módulo de la base resultaría también en menores deformaciones verticales dinámicas recuperables de la superficie de la vía, implicando una reducción en la fatiga del pavimento.

- **Mejoramiento en la distribución de esfuerzos sobre la subrasante.**

En sistemas estratificados, cuando existe un material menos rígido por debajo de la base o subbase, un aumento en el módulo de la capa de base o subbase resulta en una distribución de los esfuerzos verticales más amplia sobre la subrasante. En términos generales, el esfuerzo vertical en la subbase o subrasante directamente por debajo de la geomalla y de la carga aplicada debe disminuir a medida que aumenta la rigidez de la base. Esto se refleja en una deformación superficial menor y más uniforme.

- **Reducción del esfuerzo y deformación por corte sobre la subrasante.**

La disminución de la deformación por corte transmitida desde la base o subbase hacia la subrasante a medida que el cortante de la base

transmite las cargas tensionales hacia el refuerzo, sumado a los menores esfuerzos verticales genera un estado de esfuerzos menos severo que lleva a una menor deformación vertical de la subrasante.

4.2.2.4 ENSAYO A ESCALA REAL DE UNA ESTRUCTURA REFORZADA CON GEOMALLA BIAXIAL COEXTRUÍDA.

Las conclusiones y los resultados empíricos fueron obtenidos durante el análisis de una estructura de pavimento con secciones reforzadas y no reforzadas, utilizadas para realizar el ensayo de pavimento a escala real.

Las variables que se estudiaron fueron las siguientes: Resistencia de la subrasante (CBR), espesor de la capa de grava, tipo de geosintético, número de ejes equivalentes (ESAL).

Para verificar la capacidad de refuerzo de la geomalla en la base, se construyó una vía con una sección de 210 m aplicando procesos de laboratorio para poder obtener datos confiables y reproducibles para mediciones “in situ” y para realizar la comparación entre secciones reforzadas y no reforzadas.

La vía es similar a un semi-óvalo que tiene secciones rectilíneas de 36 y 20 m de longitud y curvas con un radio de 17 m como se muestra en la Fig. 54.

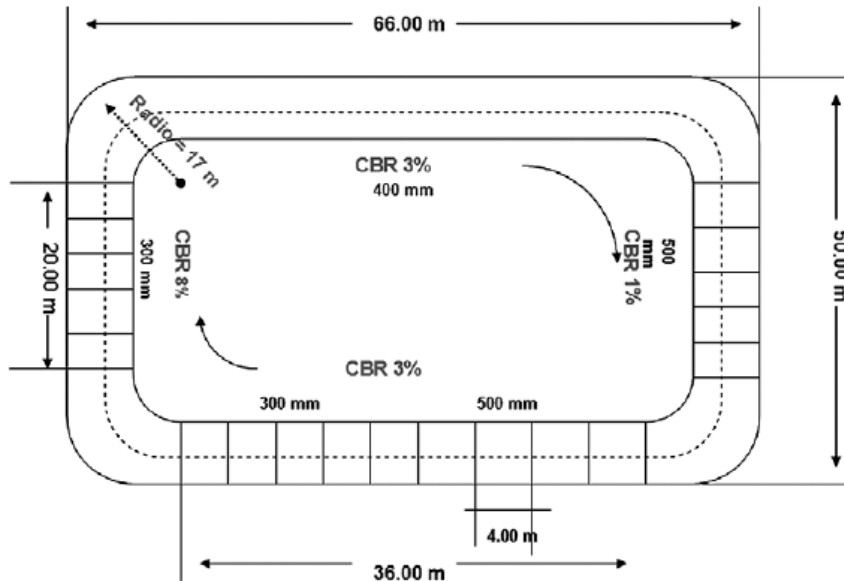


Fig. 54 Vista de planta de la sección típica de la vía utilizada en el ensayo.

El borde extremo de las curvas fueron realizadas ligeramente dando un efecto de “parabólica” para facilitar el paso de los vehículos en las curvas evitando la desaceleración.

Para analizar varias condiciones, se tomaron diferentes valores de CBR en la subrasante (1%, 3% y 8%).

Las dimensiones de las capas de refuerzo fueron de 2.2 m por 4.6 m para dejar 0.20 m de traslapo a lo largo de la vía en el eje central y 0.30 m de traslapo a lo ancho de la sección de la vía entre capas de refuerzo adyacentes. Más de 56 secciones diferentes fueron instaladas con y sin refuerzo, teniendo diferentes valores de resistencia en la subrasante, y espesores de base. Para la sección típica de la vía se excavó una zanja donde se colocó una subrasante de

espesor 0.7 m y CBR de 1%,3% y 8%. Posteriormente, se colocó la geomalla y por último se rellenó con espesores entre 0.3 m y 0.5 m con grava seleccionada y debidamente compactada. Para la capa de concreto asfáltico se mantuvo un espesor constante de 7.5 cm a lo largo de toda la sección de la vía.

Más de 160 ejes equivalentes fueron aplicados por un vehículo que transitaba en un sólo sentido. El vehículo seguía un camino definido por las líneas centrales demarcadas en la carpeta asfáltica, de esta forma se garantizaba que las llantas circularan siempre por el mismo lugar.

El vehículo utilizado en el ensayo, fue un camión estándar con eje Tandem en la parte trasera y un eje sencillo en la parte delantera. Los ejes fueron cargados con 90 KN y 45 KN respectivamente. El camión mantenía una velocidad constante de 20 Km/h a lo largo de su trayecto, de esta forma cada vuelta era completada cada 60 segundos aproximadamente.

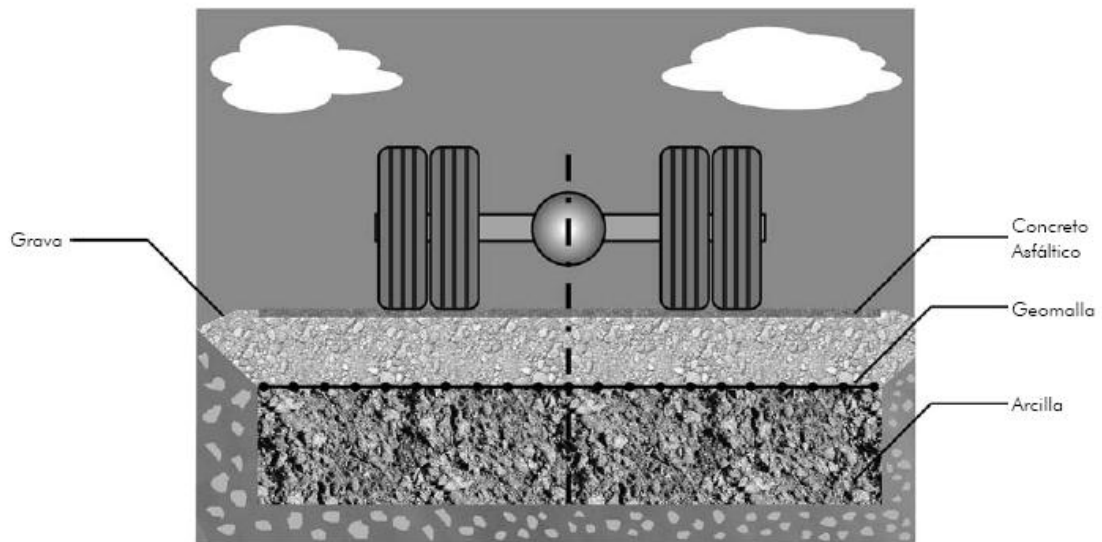


Fig. 55 Vista en corte de la sección típica de la vía de ensayo.

Las conclusiones obtenidas en el ensayo de las secciones reforzadas y no reforzadas, fueron realizadas a través de gráficos (en función de la resistencia del suelo de la subrasante, número de ciclos y coeficiente de las capas) estos gráficos permiten a los ingenieros diseñar correctamente, estructuras de pavimento flexible utilizando refuerzo con geomallas biaxiales coextruídas.

Los datos empíricos conseguidos se pueden aplicar exclusivamente a los tipos de geomalla TENAX aquí especificados:

- Geomallas TENAX LBO SAMP (geomallas rígidas con valores de esfuerzo y módulo de resistencia altas, caracterizadas por una excelente capacidad de efecto “interlock”).

Los tipos de geomalla considerados han sido divididos en dos clases basándose en los valores de su resistencia a la tensión:

- Tipo A, con un valor de resistencia a la tensión de 20 KN/m
- Tipo B, con un valor de resistencia a la tensión de 30 KN/m

En el Gráfico 2 se especifican las curvas de iso-deformaciones las cuales muestran el incremento en la vida útil de servicio de la vía con una estructura reforzada. Por medio de esta gráfica se evalúa el aumento de la vida útil de diseño (en términos del incremento del número de pasadas) al instalarse una geomalla TENAX como refuerzo en la sección de la vía.

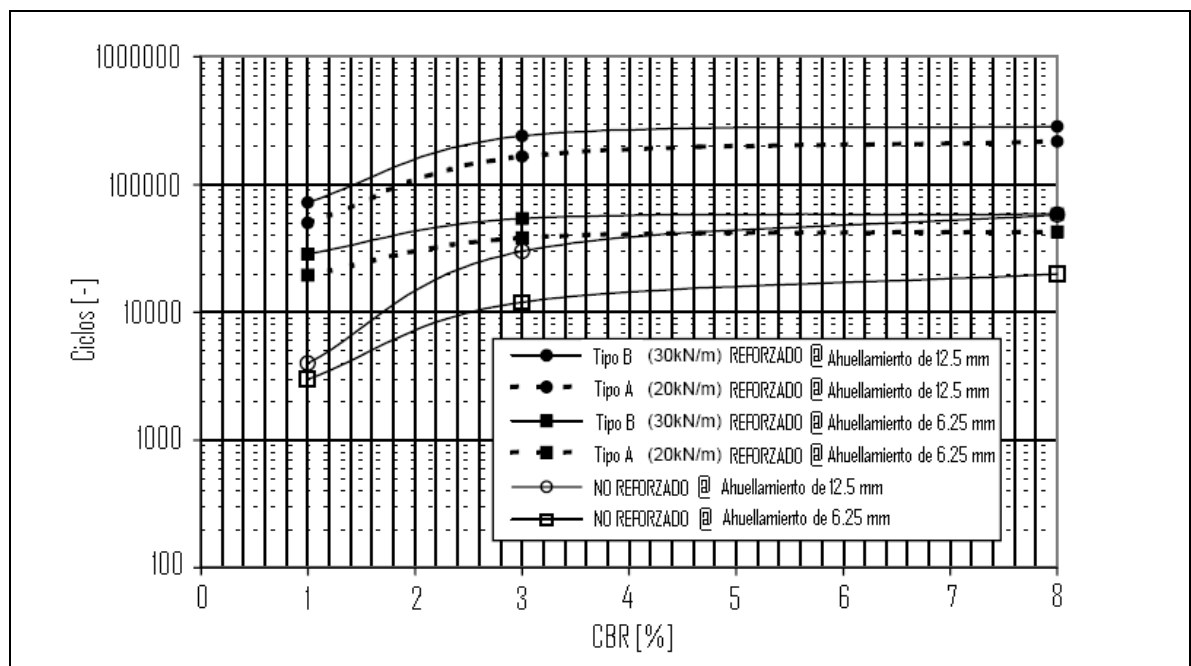


Gráfico 2. CBR Vs. Número de ciclos en secciones reforzadas y no reforzadas en el fondo de la vía.

4.2.2.5 MÉTODO AASHTO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES REFORZADOS CON GEOMALLAS BIAXIALES COEXTRUÍDAS.

El método AASHTO para pavimentos flexibles, se basa en la capacidad estructural de un conjunto de capas de espesores y calidades determinadas, expresado en el Número Estructural, SN, el cual es un valor abstracto que expresa la resistencia que requiere un pavimento construido sobre una subrasante con un módulo resiliente M_R .

La ecuación utilizada para el diseño, derivada de la información obtenida empíricamente por la AASHTO Road Test en 1972, con algunas modificaciones luego de investigaciones adicionales, es la siguiente:

$$\text{Log}_{10}W_{18} = Z_R S_o + 9.39 \text{Log}_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \text{Log}_{10} M_R - 8.07 \quad (1)$$

Donde:

SN = Número Estructural requerido.

W_{18} = Número de aplicaciones de carga de 80 KN (8.2 Ton).

Z_R = Desviación estándar normal.

S_o = Error estándar combinado de la predicción de tránsito y de la predicción de comportamiento.

ΔPSI = Diferencia entre el índice de servicio inicial (pi) y el final (pf).

M_R = Módulo Resiliente (psi).

El número estructural requerido se convierte en los espesores reales de concreto asfáltico, base y subbase multiplicado cada uno, por los coeficientes de capa respectivos representando el esfuerzo relativo de los materiales de construcción y la capacidad de drenaje. La ecuación de diseño usada es la siguiente:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad (2)$$

Donde:

a_i = Coeficiente correspondiente a la capa i

D_i = Espesor correspondiente a la capa i

m_i = Coeficiente de drenaje de la capa i .

Los subíndices 1, 2 y 3 se refieren a la capa de concreto asfáltico, base y subbase, respectivamente. Los coeficientes de capa son basados en el módulo resiliente del suelo M_R y son determinados con base en cálculos de esfuerzos y deformaciones en un sistema de pavimento multicapas.

La contribución estructural de una geomalla en un sistema de pavimentos flexible puede cuantificarse con el incremento al esfuerzo del coeficiente de la capa de la base de la vía.

Por lo anterior, la ecuación (2) se convierte ahora en:

$$SN = a_1D_1 + a_2(LCR)D_2m_2 + a_3D_3m_3 \quad (3)$$

Donde LCR (Layer Coefficient Ratio) tiene un valor superior a uno. Este valor es determinado basándose en los resultados de laboratorio y en pruebas de campo en sistemas de pavimentos flexibles con y sin utilización de las geomallas, como se describe en la ecuación (4). SN_r (número estructural de la sección reforzada) y SN_u (número estructural de la sección no reforzada) utilizados en la ecuación (4) fueron evaluados bajo condiciones de pavimento iguales.

$$LCR = \frac{SN_r - SN_u}{a_2D_2} + 1 \quad (4)$$

Basándose en la ecuación se puede calcular el valor de LCR el cual se obtuvo de los ensayos realizados a la sección típica de la vía. En el gráfico 3 se presenta el LCR basado en los ensayos empíricos en pavimentos con y sin refuerzo de geomallas. El valor de LCR oscila entre 2 a 1.5 dependiendo básicamente del valor de CBR de la subrasante, ESAL y profundidad de ahuellamiento de la vía.

Como se indica en la grafica la contribución estructural de la geomalla de refuerzo es casi constante cuando el valor de CBR de la subrasante es superior

a 3% mientras que para un valor de 1% en el CBR de la subrasante la contribución estructural de la geomalla es significativamente más alta.

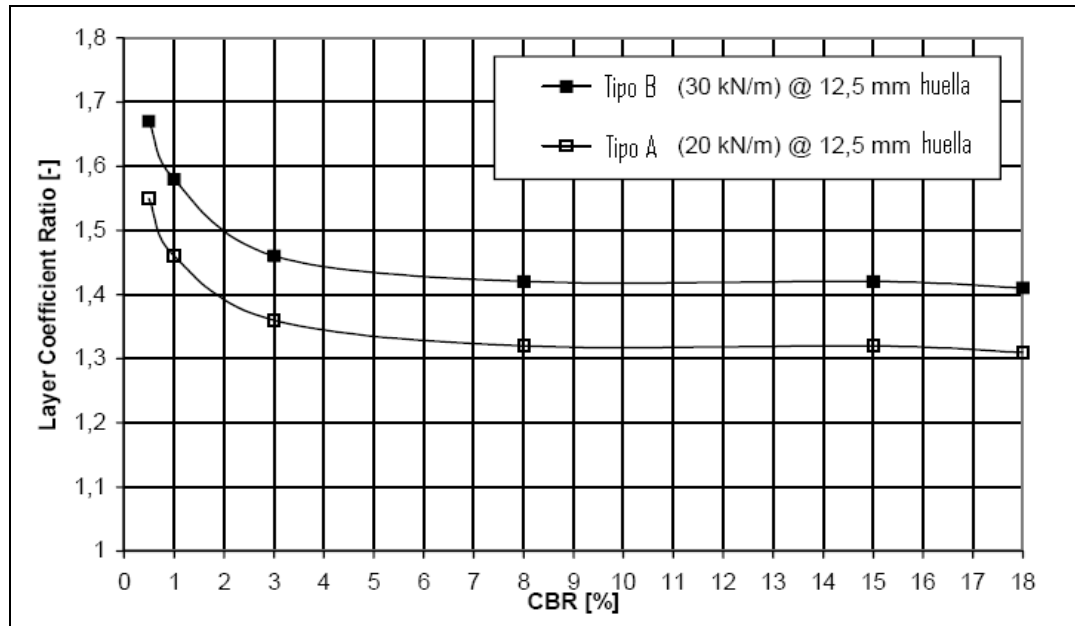


Gráfico 3. LCR Vs. CBR de la subrasante.

La reducción en espesor de la base puede ser evaluada con el uso de una geomalla mediante la ecuación (5), asumiendo que no existe una capa de sub-base.

$$D_2 = \frac{SN_r - a_1 D_1 m_2}{LCR a_2 m_2} \quad (5)$$

4.2.2.6 EJEMPLO DE DISEÑO

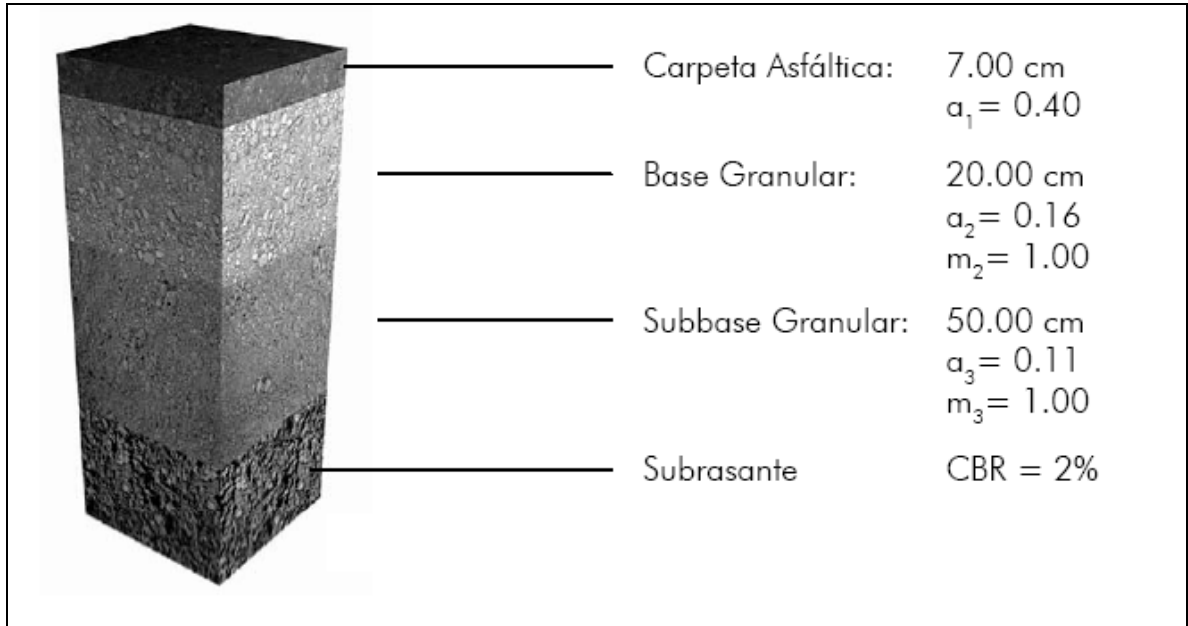


Fig. 56. Conformación de capas de la estructura del pavimento.

Se plantea la posibilidad de emplear geomalla biaxial coextruída para obtener disminuciones en los espesores de la sección mostrada en la figura.

1. Cálculo del número estructural según metodología AASHTO de la estructura inicial entregada por los diseñadores del proyecto.

Utilizando la ecuación (2) y con los valores mostrados, se obtiene el número estructural de la estructura original o sin refuerzo.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

$$SN = 0.40 \times 2.76 + 0.16 \times 7.87 \times 1.00 + 0.11 \times 19.69 \times 1.00$$

$$SN = 4.53$$

2. Cálculo de la estructura sustituyendo la base granular.

Una vez calculado el número estructural inicial, se realiza una sustitución de la base granular por subbase granular, determinando espesores equivalentes obteniendo el mismo valor numérico del número estructural inicial. Este nuevo espesor se denomina D_3' .

$$SN = 4.53$$

$$SN = a_1 D_1 + a_3 D_3' m_3$$

$$4.53 = 0.40 \times 2.76 + 0.11 \times D_3' \times 1.00$$

$$D_3' = \frac{4.53 - 0.40 \times 2.76}{0.11 \times 1.00}$$

$$D_3' = 31.10 \text{ in} \cong 80.0 \text{ cm}$$

3. Cálculo del nuevo espesor de la capa de subbase con refuerzo

Empleando una geomalla de 20 KN/m (Tipo A), en este caso aportado por la geomalla biaxial para una subrasante con CBR = 2%, se obtiene del gráfico 3 un valor de LCR o coeficiente de aporte de la geomalla a la capa granular de la estructura de:

$$LCR = 1.39$$

Para incluir el aporte de la geomalla dentro de la estructura de pavimento y obtener una disminución de espesor, se debe mantener constante a través de los cálculos realizados el valor inicial del número estructural.

$$SN_r = SN$$

$$SN_r = 4.53$$

A continuación se realiza el cálculo del nuevo espesor de la capa granular con el refuerzo incluido como parte integral de la estructura según la ecuación (3).

$$SN_r = a_1 D_1 + a_3 LCR D_{3r} m_3$$

$$D_{3r} = \frac{SN_r - a_1 D_1}{a_3 LCR m_3}$$

$$D_{3r} = \frac{4.53 - 0.40 \times 2.76}{0.11 \times 1.39 \times 1.00}$$

$$D_{3r} = 22.41 \text{ in} \cong 57 \text{ cm}$$

4. Cálculo del aporte estructural de la capa reforzada.

Una vez hallado el nuevo espesor de la capa granular, por la utilización de la geomalla, se calcula el número estructural de la misma.

$$a_3 \times D_{3r} \times m_3 = 0.11 \times 22.41 \times 1.00 = 2.47$$

5. Cálculo de nuevos espesores de base y subbase granular.

Como la estructura seguirá manteniendo la misma conformación de materiales de base y subbase, se deben calcular los nuevos espesores de dichas capas en función del número estructural de la capa de subbase obtenido en el paso anterior y con sus coeficientes de capa respectivos.

$$SN_{CG} = a_2 D_{2r} m_2 + a_3 D_{3r} m_3$$

$$2.47 = 0.16 \times D_{2r} \times 1.00 + 0.11 \times D_{3r} \times 1.00$$

Debido a que se tienen dos incógnitas y una sola ecuación, se debe realizar un proceso de iteración para obtener unos espesores de capa razonables para la estructura. Para el espesor de la base granular no se recomienda que este valor se encuentre por debajo de los 15 cm o 6 pulgadas. Para la solución del problema, se deja constante el espesor de la base granular, que para este caso se emplea el espesor mínimo recomendado de 15 cm y se despeja de la ecuación el espesor de la subbase granular.

$$SN_{CG} = a_2 D_{2r} m_2 + a_3 D_{3r} m_3$$

$$2.47 = 0.16 \times 0.15 \times 1.00 + 0.11 \times D_{3r} \times 1.00$$

$$D_{3r} = 13.73in \cong 35.00cm$$

6. Análisis de la disminución de espesor debido a la inclusión de la geomalla biaxial.

Espesor de la estructura reducido:

Base granular: **5 cm.**

Subbase granular: **15 cm.**

Espesor total reducido de la estructura: **20 cm.**

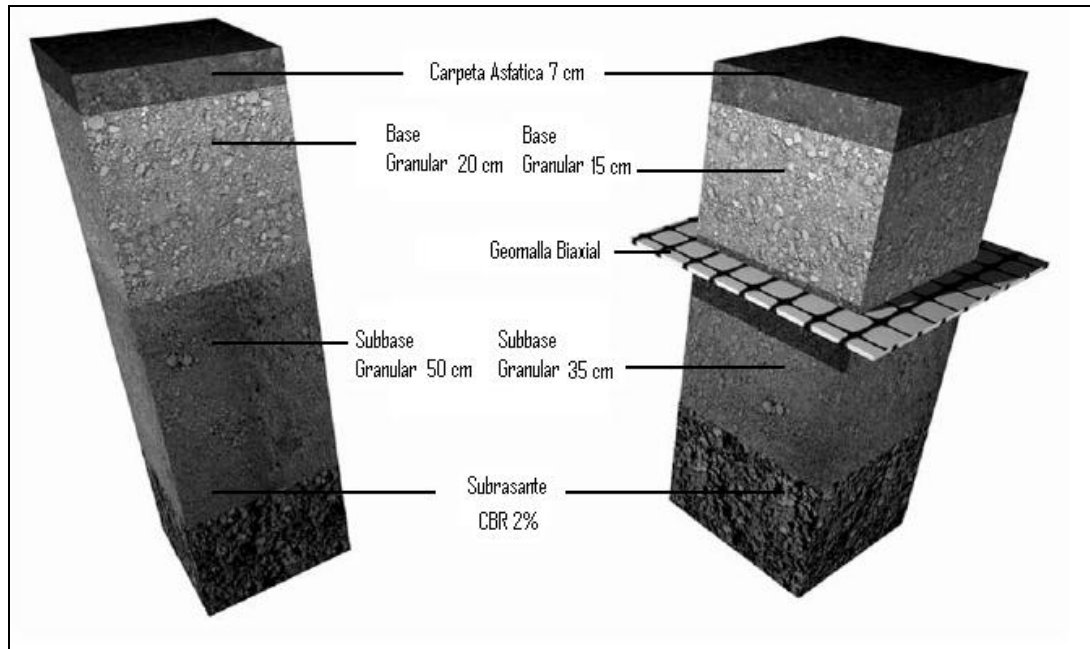


Fig. 57 Comparación de espesores de pavimento con y sin refuerzo de geomalla.

4.2.3 REFUERZO DE TALUDES DE TERRAPLENES

4.2.3.1 INTRODUCCIÓN

Los principales elementos de construcción empleados por el hombre son los materiales térreos, conformados por suelos y rocas. No sólo con los suelos y las rocas se construye si no también sobre ellos y dentro de ellos.

Está comprobado que en muchos casos las propiedades geomecánicas de los materiales pétreos no satisfacen las características deseables para diferentes aplicaciones, es así en donde estos materiales requieren de diferentes procesos y tratamientos especiales para modificar su comportamiento a las condiciones deseadas.

Desde la antigüedad, se han colocado materiales naturales como pieles de animales, o fibras vegetales sobre los suelos blandos o incrustados dentro de éstos con el objetivo de construir estructuras de suelo reforzado.

Por ejemplo en las vías de las civilizaciones romanas se han encontrado vestigios de telas y pieles utilizados para propósitos de refuerzo; en la década de los años 60 se inicia la utilización de los primeros textiles para fines ingenieriles, pero fue hasta los años 70 en donde se inició la fabricación y aplicación de materiales textiles especiales para la ingeniería y es entonces donde adoptan el nombre de geotextiles.

Los geotextiles y en general los geosintéticos complementan las falencias que presentan los materiales térreos, permitiendo obtener excelentes ventajas técnicas y económicas en la construcción de muros en suelo reforzado, taludes reforzados, terraplenes sobre suelos blandos, sistemas de subdrenaje etc.

Los suelos al igual que el concreto presentan una buena resistencia a la compresión pero son deficientes cuando se trata de asumir esfuerzos de tracción, por tal motivo cuando los suelos son combinados con elementos que sean capaces de absorber esfuerzos de tracción como son los geotextiles se puede lograr estructuras de suelo reforzadas.

En la construcción de las diferentes obras civiles se hacen necesarios grandes movimientos de tierra para la adecuación de terrenos, esto genera la necesidad de la construcción de terraplenes. Las caras del terraplén se conocen con el nombre de taludes.

La utilización de geotextiles tejidos de refuerzo en la construcción de terraplenes ofrece ventajas técnicas y económicas, como son la construcción de taludes artificiales con inclinaciones mayores a la del ángulo de reposo, permitiendo así considerables ahorros en volumen de material y menor área para la construcción, también la utilización de geotextiles en terraplenes ofrece la posibilidad de construcción de estos sobre suelos de baja capacidad portante.

Con base en lo anterior la utilización de geotextiles tejidos de refuerzo para terraplenes se divide en dos aplicaciones:

1. Refuerzo interno. (Construcción de los taludes del terraplén)
2. Refuerzo del suelo de fundación.

Cuando las condiciones de fundación son satisfactorias y se requiere la construcción de inclinaciones del o de los taludes del terraplén mayores a las

del ángulo de reposo del suelo que va a conformar el terraplén, es necesario el diseño de éstos taludes, reforzados con geotextil tejido.

4.2.3.2 BENEFICIOS DE LA UTILIZACIÓN DE GEOTEXTILES EN LA CONSTRUCCIÓN DE TALUDES DE TERRAPLENES REFORZADOS.

La utilización de geotextiles tejidos en la construcción de los taludes en terraplenes presenta beneficios técnicos y económicos tales como:

- a) **Reducción del volumen del terreno:** el geotextil como refuerzo nos permite la construcción de taludes con un ángulo de inclinación mayor lo cual reduce considerablemente la sección transversal.

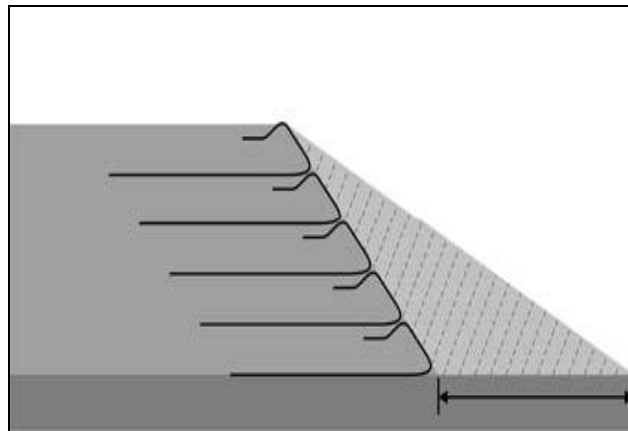


Fig. 58 Reducción del volumen del terreno.

- b) **Alternativa para evitar la construcción de muros de contención rígidos:** al reforzar el talud con geotextil podemos evitar la construcción de muros de diferentes tipos, para dar estabilidad a los taludes se utiliza únicamente el geotextil.

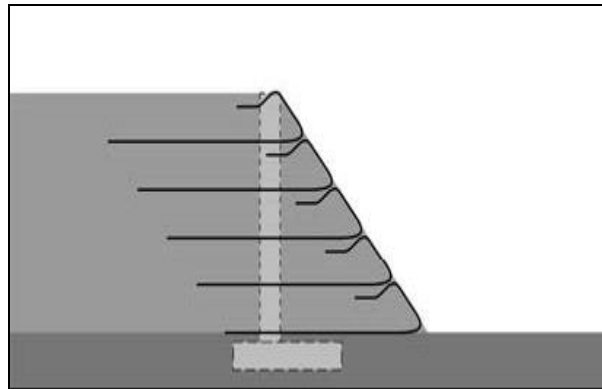


Fig. 59 Alternativa para evitar la construcción de muros de contención rígidos.

- c) **Obtención de área plana adicional:** al reforzar al talud con geotextiles, se puede ampliar la corona del talud ya que el ángulo de inclinación aumenta; para obtener una mayor área de rodadura en las vías o para la colocación de vallas de protección en carreteras.

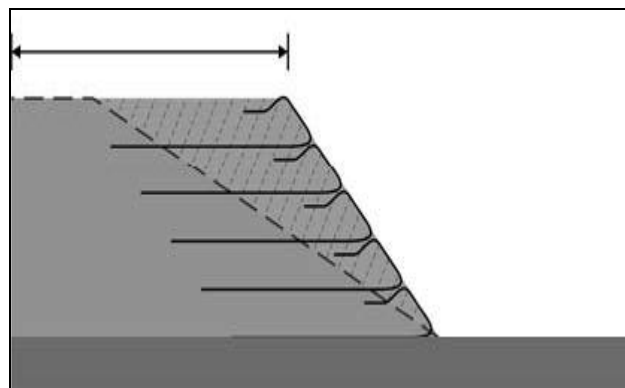


Fig. 60 Obtención de área plana adicional.

d) **Reconstrucción de taludes en deslizamientos:** también podemos aplicar el geotextil para la reconstrucción de taludes que han fallado por deslizamiento.

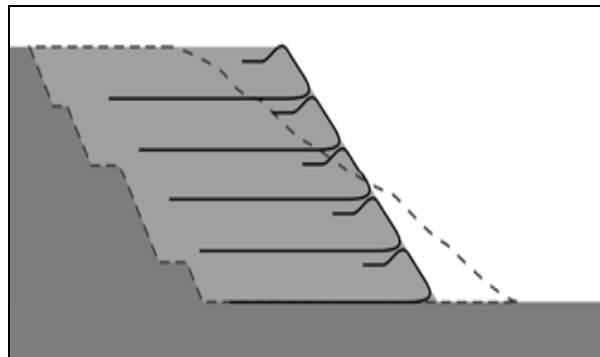


Fig. 61 Reconstrucción de taludes en deslizamientos.

4.2.3.3 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Se considera diseño al refuerzo interno a la determinación del geotextil necesario a colocarse distribuido en capas, de tal manera que el factor de seguridad a la falla aumente, y el terraplén sea internamente estable.

La metodología consiste en determinar por los métodos clásicos de equilibrio límite el factor de seguridad de la superficie potencial de falla (más crítica o más probable) que presentan los taludes del terraplén. Este factor de seguridad es el cociente entre las fuerzas resistentes y las fuerzas movilizantes.

Los geotextiles tejidos al tener la capacidad de asumir esfuerzos de tracción, desarrollan fuerzas resistentes por detrás de la superficie de falla, gracias al

esfuerzo de corte que se genera entre el geotextil y el suelo, tal efecto hace que se desarrolle una fuerza estabilizadora adicional a las determinadas normalmente y como resultado final el factor de seguridad ante la falla aumenta.

Una vez determinado el factor de seguridad del talud reforzado con la superficie potencial de falla en estudio, se hace necesario revisar el factor de seguridad de la superficie potencial de falla para las condiciones de refuerzo ya establecidas.

Las aplicaciones del geotextil de refuerzo son consideradas críticas si es necesaria la movilización del refuerzo a la tracción para estabilizar los taludes del terraplén de tal forma que el factor de seguridad de la superficie potencial de falla aumente hasta un valor confiable.

El refuerzo en el talud del terraplén es considerado típicamente no crítico si el factor de seguridad para el talud no reforzado es mayor a 1.1 y el refuerzo es usado para incrementar el factor de seguridad hasta un valor confiable.

Existen varios programas de estabilidad de taludes disponibles para computador, los cuales son una herramienta que facilitan encontrar las superficies potenciales de falla.

Para diseñar taludes reforzados se recomienda llevar a cabo la siguiente metodología:

1. Establecer las dimensiones geométricas y condiciones de carga del terraplén.
2. Conocer el perfil estratigráfico del suelo de fundación, y determinar las propiedades geomecánicas de los suelos de fundación.
3. Determinar las propiedades geotécnicas de los suelos a usar en la construcción del terraplén.
4. Establecer los parámetros de diseño del geotextil a usar como refuerzo. (Resistencia a la tracción método tira ancha, criterios de durabilidad, interacción suelo - refuerzo).
5. Determinar el factor de seguridad del talud no reforzado.
6. Determinar el refuerzo necesario para estabilizar el talud.
7. Chequear la estabilidad externa.
8. Establecer los sistemas de drenaje y subdrenaje del terraplén.

4.2.3.4 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.

1) Establecer las dimensiones geométricas y condiciones de carga

Geometría y condiciones de cargas:

- Altura del terraplén, H .
- Ángulo del o de los taludes del terraplén, β
- Establecer las cargas externas que tendrán el terraplén tales como sobrecargas (Q), (q), cargas vivas,
- diseño sísmico, aceleración αg .

2) Conocer el perfil estratigráfico del suelo de fundación, y determinar las propiedades geotécnicas.

Es muy importante conocer el perfil estratigráfico, propiedades geotécnicas de los suelos de fundación encontrados: Gradación e índice de plasticidad, C_u , ϕ_u y/o C' , ϕ' y parámetros de consolidación para el cálculo de los asentamientos (C_c , C_r' , C_v y, ϕ_p'), con el objetivo de revisar las condiciones de fundación del terraplén, se aclara que en esta metodología de diseño se suponen condiciones óptimas de cimentación.

De presentarse problemas de inestabilidad por malas condiciones de cimentación es necesario estudiar alternativas de estabilización tales como:

refuerzo de base de terraplenes con geotextil, reemplazo de materiales, cimentación profunda, etc.

Localizar la altura de la del nivel freático NF y las condiciones de presencia de agua.

Para terraplenes de reparaciones de taludes se debe identificar la superficie de falla así como la causa de la inestabilidad.

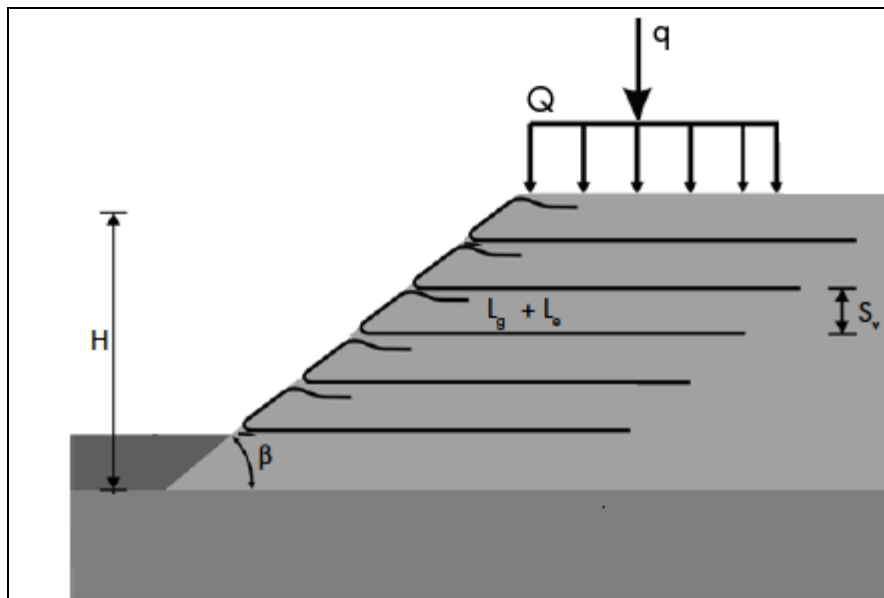


Fig. 62 Esquema del terraplén.

3) Establecer las propiedades geomecánicas del suelo que se utilizará para la conformación del terraplén.

Normalmente los materiales usados en la construcción de terraplenes reforzados son de tendencia granular, aunque en varios casos se han

construido muros y terraplenes reforzados con materiales que tienen más del 50% de suelo fino.

El uso de altos porcentajes de suelo fino como material de construcción de terraplenes depende de la tolerancia a la deformación que se le permita, también la plasticidad que este suelo presenta, juega un papel muy importante, pues es un parámetro que indica la facilidad de manipulación que pueda tener el suelo en el proceso de compactación necesario en la conformación del terraplén.

A manera de recomendación y con base en la especificación AASHTO se presenta una descripción del tipo de suelo que puede utilizarse en la construcción de terraplenes.

Parámetros:

1. Índice de plasticidad ≤ 20
2. Granulometría:

TABLA 44. Gradación para terraplenes recomendada por la AASHTO

Tamiz (mm)	% Pasa
100	100 - 75
4,75	100 - 20
0,475	0 - 60
0,075	5 - 50

Del suelo a usar se debe determinar:

- Gradación e índice de plasticidad.
- Propiedades para la compactación del Proctor modificado, densidad máxima y humedad óptima de compactación (γ_{dmax} , $\omega_{\text{óptima}}$).
- Parámetros de resistencia al corte, C_u , ϕ_u y C' , ϕ' .

4) Establecer los parámetros de diseño del geotextil de refuerzo

a. Obtener la resistencia a la tracción disponible del geotextil (T_{adm}) como:

$$T_{adm} = \frac{T_{ult}}{FS}$$

$$FS = FR_{ID} \times FR_{FL} \times FR_{DQB}$$

Donde:

T_{ult} = Resistencia última del geotextil.

T_{adm} = Resistencia a la tracción disponible del geotextil.

FR_{ID} = Factor de reducción por daños de instalación.

FR_{FL} = Factor de reducción por fluencia o Creep.

FR_{DQB} = Factor de reducción por degradación química y biológica.

b. Determinar la resistencia Pullout:

A este parámetro se le aplica un factor de seguridad de 1.5 para suelos granulares y de 2.0 para suelos cohesivos.

$$FS_p = \frac{P_R}{T_{req}}$$

$$FS_p = \frac{(2 \times L_e \times F \times \alpha \times \sigma_v)}{T_{req}}$$

Donde:

T_{req} = Resistencia Pullout requerida.

P_R = Resistencia Pullout por unidad de ancho de refuerzo.

L_e = Longitud de empotramiento, (Longitud del geotextil detrás de la superficie de falla).

F = Factor de resistencia Pullout.

α = Factor de transferencia de esfuerzo por efecto de escala.

σ_v = Esfuerzo vertical total.

5) Análisis de estabilidad de los taludes del terraplén sin refuerzo

Debe realizarse un análisis de estabilidad de los taludes del terraplén sin refuerzo. Cuando la inclinación de las caras o taludes del terraplén no son simétricas o las condiciones de frontera son diferentes es necesario hacer análisis de estabilidad a los dos taludes del terraplén.

Los análisis de estabilidad se realizan con metodología convencional por medio de análisis de equilibrio límite en donde se determina el factor de seguridad más crítico de las superficies potenciales de falla y la zona crítica a reforzar así como los momentos movilizantes.

Varios programas de computador son disponibles fácilmente, estos son una herramienta que facilita la determinación de las superficies potenciales de falla y la zona crítica a reforzar.

No sólo se debe analizar la superficie de falla más crítica, también la zona de falla conformada por todas aquellas superficies de falla que presentan un factor de seguridad menor a 1.

6) Diseño del refuerzo necesario para la estabilidad del talud.

Teniendo en cuenta las superficies de falla con factores de seguridad menores a 1.5, determinados en un programa de estabilidad de taludes ó trazando superficies de falla y aplicando la ecuación de equilibrio límite como:

$$FS = \frac{\sum \text{Momento Resistente}}{\sum \text{Momento Desestabilizante}}$$

$$FS = \frac{\tau \times L_{sf} \times R}{W \times X \times q \times d}$$

Donde:

τ = Resistencia al corte del suelo.

L_{sf} = Longitud de la superficie de falla.

R = Radio.

W = Peso del segmento de tierra.

q = Sobrecarga.

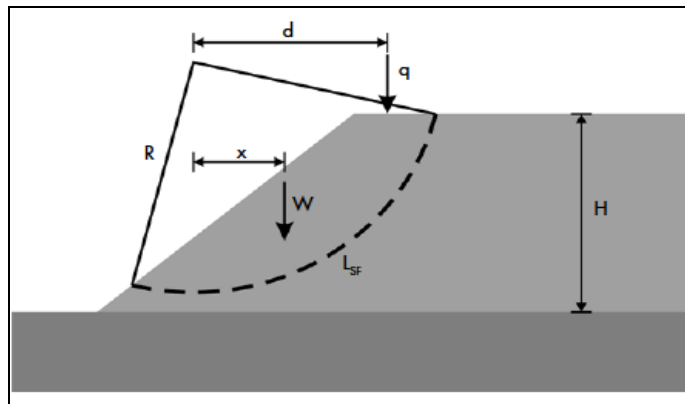


Fig. 63 Esquema de superficie de falla.

Para la superficie de falla que se está diseñando el refuerzo, se debe calcular el momento desestabilizante M_D y el momento resistente M_R .

Como:

$$M_D = W \times x + q \times d$$

$$M_R = M_D \times FS_U$$

$$M_R = (W \times x + q \times d) \times FS_U$$

Donde:

FS_U = Calculado en el programa de estabilidad u obtenido manualmente trazando superficies de falla.

Determinar la fuerza total a la tensión que suministra el refuerzo T , requerida para obtener el factor de seguridad de talud reforzado $FS_R = 1.5$:

$$T_{total} = \frac{FS_R \times M_D - M_R}{R}$$

$$T_{total} = \frac{FS_R \times M_D - FS_U \times M_R}{R}$$

$$T_{total} = \frac{(FS_R - FS_U) \times M_D}{R}$$

Donde:

FS_R = Factor de seguridad requerido (Normalmente es 1.5)

FS_U = Factor de seguridad del talud sin refuerzo

R = Radio de la superficie de falla

La fuerza necesaria que debe suministrar cada capa de geotextil es T_g :

$$T_g = \frac{T_{total}}{\text{Espacimientos Requeridos}}$$

Se debe repetir lo anterior hasta obtener una distribución adecuada.

Para taludes con alturas bajas ($H < 6$ m) es conveniente asumir una distribución uniforme del refuerzo y usar T_{total} para determinar el espaciamiento del refuerzo.

Para taludes altos ($H > 6$ m) divida el talud en dos zonas de refuerzo ($T_{superior}$ y $T_{inferior}$) o en tres zonas de refuerzo ($T_{superior}$, T_{medio} y $T_{inferior}$) de iguales dimensiones y use la siguiente distribución de T:

Para dos zonas:

$$T_{superior} = 3/4 T_{total}$$

$$T_{medio} = 1/4 T_{total}$$

Para tres zonas:

$$T_{superior} = 1/2 T_{total}$$

$$T_{medio} = 1/3 T_{total}$$

$$T_{inferior} = 1/6 T_{total}$$

7) Determinar el espaciamiento vertical del refuerzo S_v .

Para cada zona, calcule la tensión de diseño del refuerzo, T_{adm} requerida para cada capa basada en asumir el espaciamiento S_v . Si la resistencia a la tensión es conocida, calcule el espaciamiento vertical y el número de capas de refuerzo, N , requerida para cada zona como:

$$T_g = T_{adm} \times R_c$$

$$T_g = \frac{T_{zona} \times S_v}{H_{zona}}$$

Donde:

R_c = Porcentaje de cubrimiento del refuerzo ($R_c = 1$ para planos continuos).

T_{zona} = Resistencia máxima a la tensión requerida para cada zona; T_{zona} igual a T_{total} para taludes bajos ($H < 6$ m).

S_v = Espaciamiento vertical del refuerzo.

H_{zona} = Altura de la zona y es igual en la parte superior, media e inferior para taludes altos ($H > 6$ m).

Determinar la longitud de empotramiento requerida L_e .

$$L_e = \frac{T_{adm} \times FS}{F \times \alpha \times \sigma_v \times 2}$$

Donde:

F = Factor de resistencia del ensayo pullout, si no se tiene disponible el ensayo pullout use para geotextiles $F = 2/3 \tan \phi$.

Donde ϕ es el ángulo de fricción interna. Usar ϕ y C' , diseño a largo plazo y C_u y/o ϕ de ensayos no consolidados no drenados ó consolidados drenados para revisión a corto plazo.

α = Factor de transferencia recomendable usar valor de 0.8 a 1.0.

L_e = Longitud de empotramiento, mínima de 1m.

8) Chequeo a la estabilidad externa

- **Chequeo al deslizamiento**

Se debe determinar el factor de seguridad al deslizamiento el cual debe ser mayor a 1.5. De no ser así se debe ampliar la base y la longitud del refuerzo del terraplén.

$$FS_D = \frac{\sum \text{Fuerzas Horizontales Resistentes}}{\sum \text{Fuerzas Horizontales Desestabilizantes}}$$

$$FS_D = \frac{(W + P_a \times \text{sen} \phi) \tan \delta_{sg}}{P_a \times \cos \phi}$$

$$W = \frac{1}{2} L^2 * \gamma * \tan \beta \quad \Rightarrow \text{Para } L < H$$

$$W = \frac{L \times H - H^2}{2 \times \tan \beta} \times \gamma \quad \Rightarrow \text{Para } L > H$$

Donde:

F_{SD} = Factor de seguridad al deslizamiento (> 1.5)

L = Longitud del refuerzo en la capa inferior

H = Altura del talud.

P_a = Presión activa de tierra.

δ_{sg} = Ángulo de fricción entre el suelo de fundación y el geotextil.

β = Ángulo del talud.

- **Chequeo a la estabilidad global o estabilidad general**

El efecto de la construcción de un terraplén genera una sobrecarga en el sitio en donde se está colocando, por tal motivo es necesario revisar la estabilidad general o global del sitio con el objeto de garantizar la estabilidad del lugar o de la obra.

Este análisis se realiza por métodos clásicos de estabilidad considerando superficies de falla y evaluando factores de seguridad o probabilidades de falla.

- **Capacidad portante**

Se debe calcular la capacidad portante última y admisible del terreno con el objetivo de compararla con la presión de contacto. Estimar la magnitud del asentamiento, usando métodos tradicionales de la geotecnia.

4.2.3.5 EJEMPLO DE DISEÑO

Se requiere construir un terraplén de 6 metros de altura sobre el cual se desea construir una estructura de pavimento la cual transmite una sobrecarga de $q = 10 \text{ kPa}$.

1. Condiciones geométricas del talud.

$$H = 6.0 \text{ m}$$

$$\beta = 45^\circ$$

$$q = 10 \text{ Kpa}$$

2. Propiedades geomecánicas del suelo de fundación.

El perfil estratigráfico presenta un estrato de 10 metros conformado por un limo arenoso arcilloso de consistencia dura, de baja plasticidad.

$$\gamma_t = 19 \text{ KN/m}^3$$

$$\omega_{natural} = 18 \%$$

$$LL = 42 \%$$

$$LP = 23 \%$$

$$IP = 19 \%$$

$$C_U = 12.7 \text{ kPa}$$

$$\phi' = 27^\circ$$

$$C' = 10 \text{ kPa}$$

3. Propiedades geomecánicas del suelo que se utilizará para conformar el terraplén.

$$IP = 20 \%$$

$$\gamma_t = 21 \text{ KN/m}^3$$

$$\omega_{optima} = 14 \%$$

$$\phi' = 30^\circ$$

$$C' = 1 \text{ KPa}$$

TABLA 45 Granulometría del material a utilizar en el terraplén.

Tamiz (mm)	% Pasa
19,0	100
9,50	80
4,75	65
2,00	50
0,425	35
0,075	25

4. Parámetros de diseño del refuerzo

Según la AASHTO M - 288-05 los requerimientos para la propiedad de geotextiles en estabilización son los de CLASE 1 (Ver TABLA 11) y para este ejemplo en particular nos auxiliamos de las especificaciones de geotextiles proporcionadas por geosinteticos PAVCO S.A. de C.V. (Ver ANEXOS) y los que cumplen las requerimientos son los siguientes:

Los geotextiles de refuerzo son T1700, T2100, T2400 y TR4000.

Factor de seguridad parcial:

$$FS = FR_{ID} \times FR_{FL} \times FS_{DQB}$$

$$FS = 1.2 \times 2.5 \times 1.0 = 3.0$$

• Geotextil tejido 2100:

$$T_{ult} = 30 \text{ KN/m}$$

$$T_{adm} = \frac{T_{ult}}{FS}$$

$$T_{adm} = \frac{30 \text{ KN/m}}{3.0}$$

$$T_{adm} = 10 \text{ KN/m}$$

• Geotextil tejido 2400:

$$T_{ult} = 35 \text{ KN/m}$$

$$T_{adm} = \frac{T_{ult}}{FS}$$

$$T_{adm} = \frac{35 \text{ KN/m}}{3.0}$$

$$T_{adm} = 11.67 \text{ KN/m}$$

$$T_{adm} \cong 11.7 \text{ KN/m}$$

5. Análisis de estabilidad del talud sin refuerzo.

Es más preciso y más fácil utilizar algún programa de estabilidad. Es importante tener en cuenta que cuando se realice el análisis de estabilidad se debe tener en cuenta las propiedades geomecánicas de los dos suelos, las del suelo de fundación y las del material que se utilizará para construir los terraplenes, con el objetivo de analizar las diferentes superficies de falla.

No sólo se debe tener en cuenta la superficie de falla crítica si no también todas aquellas superficies de falla que su factor de seguridad sea menor a 1.5.

6. Diseño del refuerzo necesario para la estabilidad del talud

- Cálculo de momentos, M_D y M_R .

$$M_D = W \times x + q \times d$$

$$W = 17.02 \text{ m}^2 \times 21 \text{ KN/m}^3 = 357.4 \text{ KN/m}.$$

$$x = 4.13 \text{ m.}$$

$q = 17.7 \text{ KN/m}$ (la sobrecarga es de 10 KN/m^2 , la parte que está dentro de la superficie de falla es de 1.77 m , lo que se hace es determinar una carga puntal que es de 17.7 KN/m equivalente a la carga distribuida).

$$d = 6.51 \text{ m.}$$

$FS_U = 0.998$ Factor de seguridad más desfavorable menor que 1.5. (Calculado con un programa computacional de estabilidad de taludes).

$$M_D = 357.4 \times 4.13 + 17.7 \times 6.51 = 1,591.3 \text{ KN-m/m}$$

$$M_R = M_D \times FS_U = 1,591.3 \times 0.998 = 1,588.1 \text{ KN-m/m,}$$

$$R = 7.56 \text{ m}$$

$$T_{total} = \frac{(FS_R - FS_U) \times M_D}{R}$$

$$T_{total} = \frac{(1.5 - 0.998) \times 1,591.3}{7.56} = 105.7 \text{ KN/m}$$

• **Determinación de la distribución de los refuerzos:**

Se recomienda por aspectos constructivos espesores de capa entre 25 y 50 cm. y como es un terraplén de 6 m de altura se recomienda una distribución uniforme.

$$T_g = \frac{T_{total}}{N}$$

$$T_g = \frac{105.7 \text{ KN/m}}{12} = 8.8 \text{ KN/m}$$

El geotextil tejido T2100 presenta un T_{adm} de 10 KN/m

$N = 105.7/10 \approx 11$ capas pero teniendo en cuenta la recomendación constructiva de un espesor máximo de 50 cm. se recomiendan 12 capas espaciadas 50 cm.

• Determinación de la longitud de empotramiento L_e :

$$L_e = \frac{T_{adm} \times FS}{F \times \alpha \times \sigma'_v \times 2}$$

$$FS = 1.5$$

$$T_{adm} = 10 \text{ KN/m}$$

$$F = 2/3 \tan \phi = 0.385$$

$$\alpha = 0.9$$

σ'_v = Esfuerzo vertical, es función de la profundidad ($\gamma \times h$)

Una tabulación de las longitudes para cada capa se muestra la siguiente tabla:

TABLA 46. Resultados de espesores de capa y longitud del geotextil.

No. Capa	Z (m)	S _v (m)	L _o (m)	L _g (m)	L _e (m)	L _e min. (m)	L _T (m)	L _T Usar* (m)
12	0,5	0,5	1	2,2	2,1	1	5,8	6,0
11	1	0,5	1	2,5	1	1	5,0	6,0
10	1,5	0,5	1	2,8	0,7	1	5,3	6,0
9	2	0,5	1	3,1	0,5	1	5,6	6,0
8	2,5	0,5	1	3,3	0,4	1	5,8	6,0
7	3	0,5	1	3,4	0,3	1	5,9	6,0
6	3,5	0,5	1	3,5	0,3	1	6,0	6,0
5	4	0,5	1	3,5	0,3	1	6,0	6,0
4	4,5	0,5	1	3,4	0,2	1	5,9	6,0
3	5	0,5	1	3,2	0,2	1	5,7	6,0
2	5,5	0,5	1	2,6	0,2	1	5,1	6,0
1	6	0,5	1	0,8	0,2	1	3,3	6,0

* La longitud total de las capas de refuerzo deben ser aproximadas a un múltiplo de 0.5m superior al valor máximo de todas las capas para facilitar su proceso constructivo. Estas longitudes deben ser revisadas una vez sea evaluada la estabilidad externa y global del talud.

Donde:

S_v = Espesor de la capa.

L_o = Longitud del doblez use 1.0 m.

L_g = Longitud geométrica que va desde la cara del terraplén hasta la superficie de falla.

L_e = Longitud de empotramiento detrás de la superficie de falla.

L_T = Longitud total, la cual es la suma de $S_v + L_o + L_g + L_e$

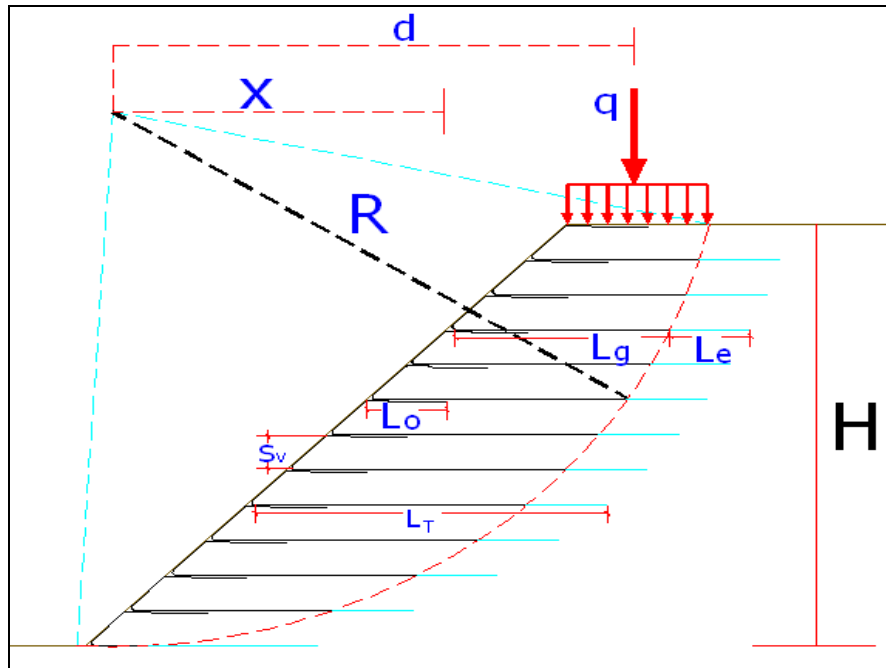


Fig. 64 Esquema de distribución de longitudes del geotextil en el talud.

• **Chequeo al deslizamiento**

Una vez realizado el diseño de las capas de refuerzo del talud se revisa la estabilidad al deslizamiento del talud reforzado teniendo en cuenta la longitud de la capa inferior del refuerzo. El factor de seguridad al deslizamiento se calcula de la siguiente forma:

$$W = \left(7m \times 6m - \frac{36m^2}{2 \times \tan 45} \right) \times 21KN/m^3 \quad \Rightarrow \text{Para } L > H$$

$$W = 504.0KN/m$$

El empuje generado en el espaldón del talud es:

$$P_a = \frac{1}{2} \times K_a \times \gamma_t \times H^2$$

K_a : Coeficiente de presión activa en el espaldón del talud. Para suelos cohesivos $K_a = 0.33$.

$$P_a = \frac{1}{2} \times 0.33 \times 21 \text{KN} / \text{m}^3 \times (6\text{m})^2$$

$$P_a = 124.74 \text{KN} / \text{m}$$

El factor de seguridad es:

$$FS_D = \frac{(504 + 124.74 \times \text{Sen}30) \times \tan 21.6}{124.74 \times \cos 30} = 2.076$$

$$FS_D = 2.08 > 1.5$$

Posteriormente se debe realizar el chequeo a la estabilidad global teniendo en cuenta las condiciones particulares del sitio del proyecto. Finalmente se debe realizar los diseños del sistema de drenaje y subdrenaje los cuales son de vital importancia para la estabilidad de la estructura a largo plazo.

4.2.4 SISTEMAS DE SUBDRENAJE PARA VÍAS CON GEOTEXTIL Y MATERIAL GRANULAR.

4.2.4.1 GENERALIDADES

Un buen sistema de drenaje y/o subdrenaje está íntimamente relacionado con una mayor durabilidad de las obras. De hecho, la vida útil de las vías depende en gran parte del periodo de tiempo en que el exceso de agua esté presente en su estructura.

El buen diseño de un sistema de drenaje que involucre la utilización de geotextiles en las obras civiles, será sin lugar a duda, un aporte fundamental en la calidad de dichas obras, ya que el exceso de agua en algunos suelos, especialmente los de grano fino afecta los parámetros de resistencia, susceptibilidad en los cambios volumétricos y los mecanismos de transmisión de presiones aplicadas.

4.2.4.2 INTRODUCCIÓN

Lo que tradicionalmente en la ingeniería se ha llamado filtros, realmente es un sistema de drenaje o subdrenaje. Un sistema de drenaje subsuperficial eficiente y estable, es necesario que esté compuesto por un medio filtrante y otro drenante.

Entendiendo por medio filtrante, el elemento que retiene el suelo pero permite el paso del agua, función que desempeña el geotextil. El medio drenante es el encargado de transportar el agua que pasa a través del filtro, función que desempeña cualquier medio poroso que bien puede ser natural o sintético. Un sistema de drenaje es la suma de los dos procesos anteriores.

El objetivo de los subdrenes para vías es evitar la inundación interna de la estructura, captando, conduciendo o evacuando el agua que pueda entrar en la estructura del pavimento.

Para lograr el buen diseño de un subdrén, se debe tener en cuenta cuatro aspectos fundamentales:

1. Determinar la ubicación y profundidad de las líneas de subdrenaje o subdrenes, que pueden correr longitudinal o transversalmente con respecto al eje de la vía. También es conveniente tener en cuenta el diseño de sistemas de captación de agua, que aseguren la rápida llegada del agua al subdrén, verificando la velocidad de llegada. En la mayoría de los casos es recomendable especificar un sistema de drenaje planar, que puede estar compuesto por: geotextil - geored - geotextil; un material granular limpio de gradación abierta protegido por un geotextil, que cumpla la función de filtro; o por un geotextil de espesor

considerable que tenga propiedades de drenaje planar. Lo anterior se debe a que los suelos de subrasante en la mayoría de los casos presentan permeabilidades muy bajas, al igual que las bases granulares después de ser sometidas a un proceso de compactación.

2. Estimar el caudal más crítico, para una longitud de diseño, el cual es la sumatoria de los caudales de aporte, que provienen del agua subterránea y del agua infiltrada. El agua de infiltración proviene de aguas lluvia, que se infiltran directamente a través de la carpeta del pavimento o a través del suelo aledaño al tramo de vía en consideración.
3. Dimensionar la sección transversal del subdrén capaz de conducir la suma de los caudales de aporte, con una velocidad de evacuación adecuada.
4. Tener un buen sistema de filtración, lo cual asegura una mayor vida útil del sistema de drenaje y por consiguiente de la estructura del pavimento. El uso de los geotextiles ha venido desplazando los sistemas tradicionales de filtración, debido principalmente al aumento de la vida útil del sistema de drenaje, facilidad de instalación, reducción de costos totales de la construcción y en general por ser un sistema constructivo ambientalmente eficiente.

4.2.4.3 METODOLOGÍA DE DISEÑO DE SUBDRENES

4.2.4.3.1 Determinación de la ubicación de las líneas de subdrenaje o Subdrenes.

Las líneas de subdrenaje o subdrenes, deben correr de tal manera que intercepten el agua lo más perpendicularmente posible. Lo anterior quiere decir, que en tramos donde la pendiente longitudinal sea mayor que la pendiente de bombeo, es más eficiente colocar subdrenes transversales. Esto debido a que el agua se moverá en dirección de la suma vectorial o resultante de las pendientes. Por ejemplo en un tramo con una pendiente longitudinal del 4% y una pendiente de bombeo del 2%, la resultante forma un ángulo de 63° con respecto al eje horizontal, en esa dirección se moverá el agua Ver Fig. 65. Si este ángulo es menor a 45° las líneas de subdrenaje deben correr paralelas al eje (subdrenes longitudinales), si es mayor a 45° las líneas de subdrenaje deben correr normal al eje (subdrenes transversales).

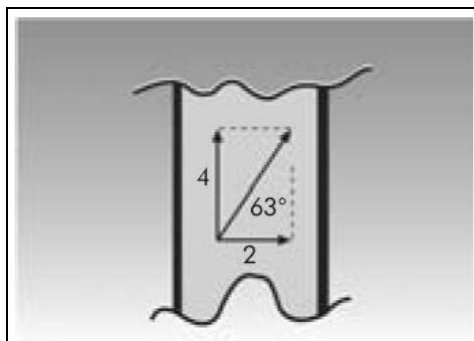


Fig. 65 Suma vectorial de pendientes de una calzada.

4.2.4.3.2 Caudal de diseño

Para diseñar subdrenes laterales en una vía, se debe considerar primero la distancia entre alcantarillas, o los sitios en donde los subdrenes realizan la descarga de agua. Para establecer las distancias de los tramos de los subdrenes, se debe tener en cuenta que cada tramo conserve, en lo posible, características similares. Por ejemplo igual pendiente, condiciones geomorfológicas similares o condiciones geométricas de la vía similares. Entre más largo sea el recorrido del agua dentro de un subdrén, mayor tendrá que ser su capacidad de transporte, debido a que a lo largo del subdrén se van sumando caudales de aporte.

Posteriormente se identifica las posibles fuentes a tener en cuenta para el cálculo del caudal total. Los subdrenes son sistemas que se utilizan para retirar el agua infiltrada o subterránea que ha entrado en la estructura. También existen métodos que evitan la entrada de agua a la estructura de un pavimento, estos son básicamente los que manejan el agua de escorrentía como son: zanjas de coronación, trincheras drenantes, cunetas, etc.

Los posibles caudales de aporte, que conforman el caudal total, los cuales pueden afectar la estructura de un pavimento son:

- El caudal generado por la infiltración de agua lluvia.
- El caudal generado por el abatimiento del nivel de agua subterránea.

- El caudal proveniente de taludes adenaños.

a) Caudal por infiltración ($Q_{infiltracion}$)

El agua lluvia cae directamente en la carpeta del pavimento. Una parte de éste inevitablemente se infiltra en la estructura del pavimento debido a que las carpetas de pavimento, tanto rígidias como flexibles, no son impermeables.

Por lo tanto el caudal de infiltración se calcula de la siguiente forma:

$$Q_{infiltracion} = I_R \times B \times L \times F_i \times F_R$$

Donde:

I_R = Precipitación máxima horaria de frecuencia anual, registrada en la zona del proyecto.

B = Para subdrenes longitudinales, B es la semibanca del ancho (ancho de la vía/2).

L = Longitud del tramo de drenaje.

F_i = Factor de infiltración. Ver TABLA 47.

F_R = Factor de retención base, refleja el hecho de que las bases, dada su permeabilidad, entregan lentamente el agua al subdren. Ver TABLA 48.

TABLA 47. Valores recomendados de F_i para subdrenes.

TIPO DE CARPETA	F_i
Carpetas asfálticas muy bien conservadas	0.3
Carpetas asfálticas normalmente conservadas	0.4
Carpetas asfálticas pobremente conservadas	0.5
Carpeta de concreto de cemento Portland	0.67

TABLA 48. Valores recomendados de F_R para subdrenes.

TIPO DE BASE	F_R
Bases bien graduadas, en servicio de 5 años o más.	1/4
Bases bien graduadas, en servicio de menos de 5 años	1/3
Bases de graduación abierta, en servicio de 5 años o más.	1/3
Bases de graduación abierta, en servicio de menos de 5 años	1/2

b) Caudal por abatimiento del nivel freático: (Q_{NF})

En sitios donde el nivel freático o el agua proveniente a presión alcancen una altura tal, que supere el nivel de subrasante afectando a la estructura del pavimento, es necesario abatir este nivel de manera que no genere inconvenientes por excesos de agua. El cálculo de este caudal se basa en los siguientes parámetros:

$$Q_{NF} = K \times i \times A_a$$

$$i = (N_d - N_f) / B$$

$$A_a = (N_d - N_f) \times L$$

Donde:

K = Es el coeficiente de permeabilidad del suelo adyacente.

i = Es el gradiente hidráulico.

N_d = Cota inferior del subdrén. Ver Fig. 66.

N_f = Cota superior del nivel freático. Ver Fig. 66.

A_a = Es el área efectiva para el caso de abatimiento del nivel freático.

$B =$ Para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la vía. Para el caso de los subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes.

$L =$ Longitud del tramo de drenaje.

Una vez estimados los caudales de aporte al sistema se obtiene el caudal de diseño:

$$Q_F = Q_{infiltracion} + Q_{NF}$$

El caudal por el abatimiento del nivel freático en la mayoría de los casos se presenta a los dos lados de la sección transversal del subdrén, el caudal de diseño (Q_{NF}) debe ser duplicado.

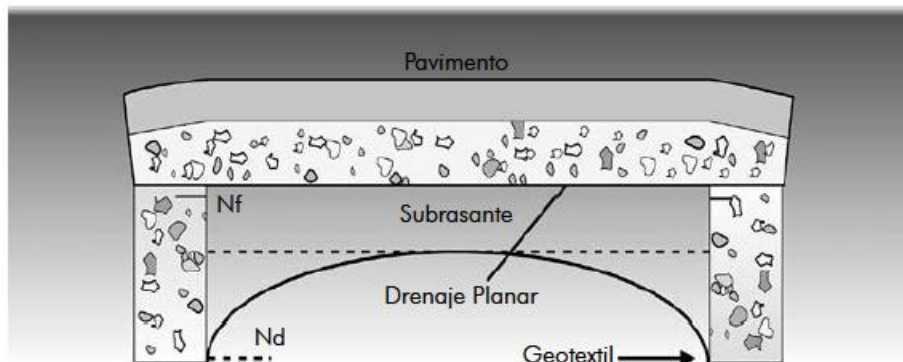


Fig. 66 Sección transversal del sistema de subdrenes laterales en una vía.

4.2.4.3.3 Dimensionamiento de la sección transversal

Teniendo el caudal final Q_F , el cual es la suma de los caudales calculados, se realiza el siguiente procedimiento:

$$Q_F = V \times i \times A$$

Donde:

Q_F = Caudal final.

V = Velocidad de flujo, la cual depende de los caudales calculados, se realiza el siguiente procedimiento. (Ver gráfico 4).

i = Gradiente hidráulico para el caso de subdrenes es = 1.

A = Área de la sección transversal del subdrén, normalmente se fija el ancho y se despeja su altura.

Una vez obtenida la sección transversal del subdrén, se puede calcular su perímetro. La longitud de desarrollo del geotextil corresponde al perímetro más el traslapo (puede tomarse de 0.25 - 0.35 m).

Para el caso en que se necesite aumentar la eficiencia de los subdrenes es recomendable usar tubería perforada, forrada con geotextil, dentro del subdrén, de esta manera se aumenta la eficiencia de drenaje, permitiendo el paso a un caudal mayor en una misma sección transversal. El diámetro de la tubería a usar se puede estimar haciendo uso de la ecuación de Manning.

Por tanteo se asume un diámetro de tubería y se rectifica si cumple la siguiente igualdad:

$$Q_F = \left(\frac{1}{n}\right)AR^{2/3}S^{1/2}$$

Donde:

Q_F = Caudal final calculado.

n = Coeficiente de Manning. Para tubería perforada usualmente es 0.013.

A = Área del tubo.

R = $\frac{AT}{P_t}$ (Área Total / Perímetro total) a tubo lleno.

S = Pendiente del subdrén.

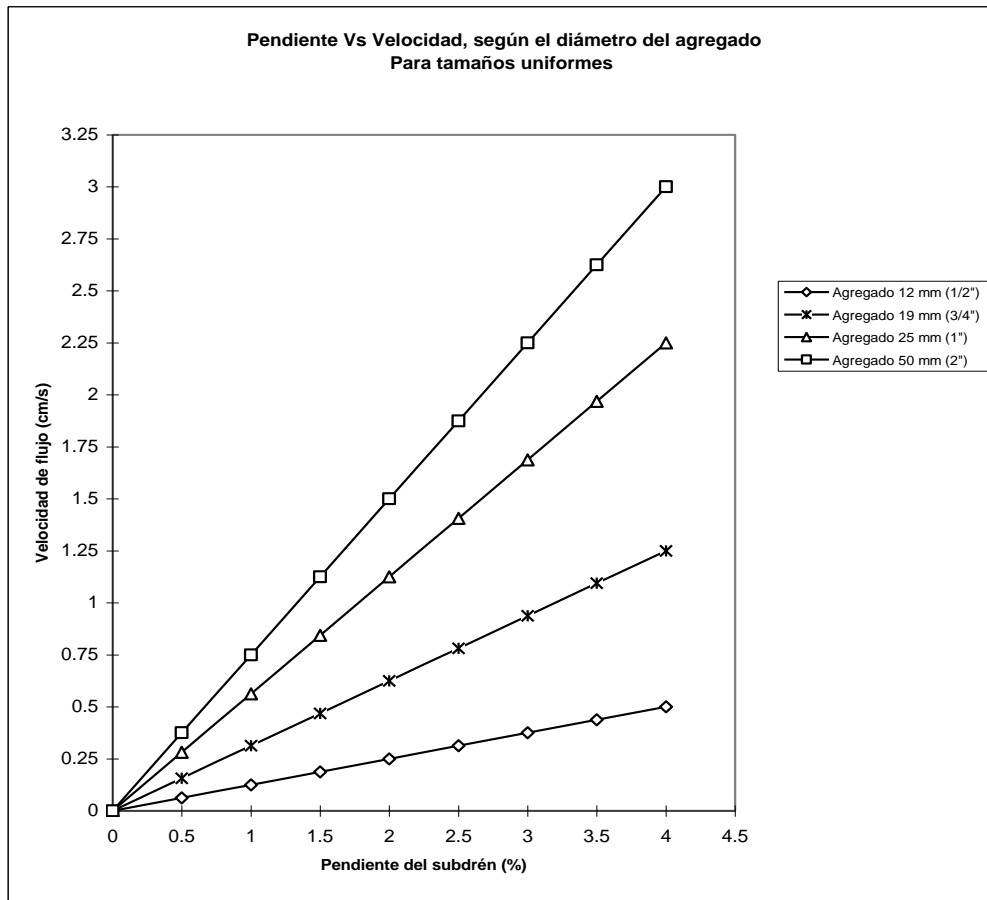


Gráfico 4. Pendiente Vs. Velocidad, según el tamaño del agregado
(Para agregados de tamaño uniforme)

La línea superior de flujo o nivel freático no debe sobrepasar en ningún momento la cota de subrasante, con este criterio se debe establecer la profundidad del subdrén N_d .

4.2.4.3.4 Determinación del tipo de geotextil a usar en el filtro

El filtro evita una excesiva migración de partículas de suelo y simultáneamente permite el paso del agua, lo anterior implica que el geotextil debe tener una abertura aparente máxima adecuada para retener el suelo, cumpliendo simultáneamente con un valor mínimo admisible de permeabilidad, que permita el paso del flujo de una manera eficiente. Para llegar a la selección del geotextil no solo hay que tener en cuenta lo anterior, sino además, la resistencia a la colmatación, supervivencia y durabilidad.

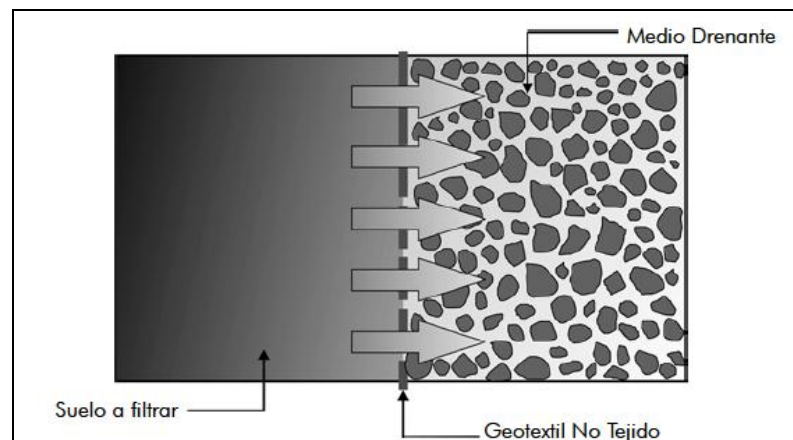


Fig. 67 Paso del agua a través del sistema de filtración.

Todos estos criterios se explican brevemente a continuación:

Retención (TAA): Asegura que las aberturas sean lo suficientemente pequeñas para evitar la migración del suelo hacia el medio drenante o hacia donde se dirige el flujo.

Colmatación: Es el resultado de taparse algunos de sus vacíos por la penetración de partículas de suelo fino, con una incidencia en la reducción de la permeabilidad por lo tanto el geotextil deberá tener un número mínimo de vacíos o una alta porosidad.

Supervivencia: El geotextil debe tener unos valores mínimos de resistencia mecánica con el objeto que soporte las actividades de instalación y manipulación. Estas propiedades son: resistencia a la tensión, resistencia al punzonamiento, resistencia al estallido, resistencia al rasgado.

Permeabilidad: Debe permitir un adecuado flujo del agua a través del geotextil considerando su habilidad para esto.

Durabilidad: Es la resistencia que debe tener un geotextil en el tiempo, bien sea por ataque químico, biológico o por intemperismo.

La metodología de diseño, consiste en revisar, cuales de los geotextiles, satisfacen las características hidráulicas y mecánicas que resulten de la revisión de los criterios de diseño que se presentan a continuación:

➤ **Criterio de retención**

De acuerdo con lo establecido en “Geotextiles Engineering Manual” de la Federal Highway Administration (FHWA) y basados en los criterios de retención de Christopher y Holtz (1989), Carroll (1983), un geotextil debe cumplir con la siguiente condición:

$$TAA < D_{85} \times B$$

Donde:

TAA = Tamaño de abertura aparente, dato proveniente del ensayo ASTM D - 4751 y puede ser utilizado el suministrado por el fabricante. Corresponde a la abertura de los espacios libres (en milímetros). Se obtiene tamizando unas esferas de vidrio de diámetros conocidos, cuando el 5% de un tamaño determinado de esferas que pasa a través del geotextil, se define del $D_{9,5}$ o el TAA .

D_{85} = Tamaño de partículas (en milímetros). Cuando al tamizar un suelo pasa el 85% de este. Este dato se obtiene de la curva granulométrica del suelo en consideración.

B = Coeficiente que varía entre 1 y 3. Depende del tipo de suelo a filtrar, de las condiciones de flujo y del tipo de geotextil.

- Para arenas, arenas gravosas, arenas limosas y arenas arcillosas (con menos de 50% que pasa el tamiz No. 200) B es función del coeficiente de uniformidad C_u , de la siguiente manera:

$$C_u < 2 \text{ ó } C_u \geq 8 \rightarrow B = 1$$

$$2 \leq C_u \leq 4 \rightarrow B = 0.5 \times C_u$$

$$4 < C_u < 8 \rightarrow B = 8 / C_u$$

$$\text{Donde: } C_u = D_{60} / D_{10}$$

- En suelos arenosos mal graduados usar B entre 1.5 y 2.
- Para suelos finos, (mas de 50% pasa el tamiz No 200) B es función del tipo de geotextil.
- Para geotextiles no tejidos punzonados por agujas use $B = 3$

La AASHTO Task Force No 25 (1,986), recomienda que los geotextiles mínimo deben cumplir:

$$D_{95} < 0.3 \text{ mm}$$

➤ **Criterio de permeabilidad**

El coeficiente de permeabilidad es la propiedad hidráulica por medio de la cual el geotextil permite un adecuado paso de flujo perpendicular al plano del mismo, para revisar la permeabilidad del geotextil se debe tener en cuenta lo siguiente:

Para condiciones de flujo estable o flujo laminar y suelos no dispersivos, con porcentajes de finos no mayores al 50% y de acuerdo con el criterio de Schober y Teindl (1,979); Wates (1,980); Carroll (1,983); Christopher y Holtz (1,985) y numerosos otros:

$$K_g \geq K_s$$

Donde:

K_g = permeabilidad del geotextil.

K_s = permeabilidad del suelo

Para condiciones de flujo crítico, altos gradientes hidráulicos y buscando un correcto desempeño a largo plazo reduciendo riesgo, colmatación se recomienda usar el criterio de Carroll (1,983); Christopher y Holtz (1,985):

$$K_g \geq 10 \times K_s$$

➤ **Criterio de Colmatación**

En aplicaciones críticas o en proyectos que involucren suelos muy finos se recomienda realizar ensayos de colmatación con los suelos del sitio, la norma que describe este ensayo es la ASTM D - 5101 - 90.

Este criterio considera la posibilidad de taparse algunos de sus vacíos debido a incrustación de partículas de suelo. Por lo tanto el geotextil debe tener un porcentaje mínimo de espacios vacíos.

Los geotextiles con una mayor resistencia a la colmatación, son los geotextiles no tejidos punzonados por agujas, en los cuales el riesgo a que se taponen gran parte de sus orificios es muy bajo debido al espesor que poseen y a los altos valores de porosidad que presentan. Los geotextiles no tejidos unidos por temperatura o calandrados, son mucho más delgados y rígidos, razón por la cual se parecen en su comportamiento a los geotextiles tejidos, Leuttich (1,993).

Los geotextiles tejidos tienen baja porosidad y el riesgo de colmatación es muy alto, con la consecuencia de una pérdida súbita en la permeabilidad. Razón por la cual no se recomiendan usar como filtros en sistemas de drenaje.

De acuerdo con el criterio de Chistopher y Holtz, 1,985; R. Koerner, 1,990, los geotextiles usados como medios filtrantes deben tener una porosidad $> 50\%$.

➤ **Criterio de supervivencia**

El geotextil en el proceso de instalación y a lo largo de su vida útil puede estar sometido a unos esfuerzos, los cuales deben ser soportados por el mismo, de tal manera que no afecten drásticamente sus propiedades hidráulicas y físicas.

En la tabla No.47 se presentan las propiedades mínimas que se deben cumplir.

S.M. Leuttich, J.P. Giroud, R.C. Bachus 1,992.

TABLA 49. Especificaciones generales de construcción de carreteras.

	Resistencia a la tensión, método Grab, ASTM D 4632 N	Elongación. ASTM D 4632	Resistencia de la costura. ASTM D 4632 N	Resistencia al punzonamiento. ASTM D 4833 N	Resistencia al estallido. Mullen Burst. ASTM D 3786 Kpa	Resistencia al rasgado trapezoidal. ASTM D 4533 N
Condiciones severas de instalación, con altos esfuerzos de contacto.	700	N/A	630	250	1300	630

➤ **Criterio de durabilidad**

Los geotextiles por ser un material fabricado en polipropileno no son biodegradables, son altamente resistentes al ataque químico como a los lixiviados.

No se recomienda el uso de los geotextiles como filtros en sitios donde vayan a quedar expuestos a los rayos ultravioleta por un tiempo prolongado. Donde por razones de instalación y funcionamiento los geotextiles estén expuestos al ataque de los rayos ultravioleta, estos deberán estar fabricados por compuestos, que les proporcionen una alta resistencia a la degradación UV.

4.2.4.3.5 Cálculo hidráulico para la selección del geotextil

En el caso en donde los geotextiles sean usados como: recubrimiento de tubos que a su vez se encuentran en un medio drenante en espaldones de estructuras de contención que involucren suelos de alta permeabilidad o en general cuando se usan como medios filtrantes para grandes caudales, se debe revisar la cantidad de flujo volumétrico que puede pasar por unidad de área (tasa de flujo), en el plano normal al geotextil (permitividad = K/t , donde K es la permeabilidad y t es el espesor del geotextil), frente a la cantidad de flujo volumétrico a evacuar por metro lineal. Para lo cual se realiza el siguiente procedimiento:

1. Teniendo el caudal que se requiere pasar por el filtro, el cual es el caudal calculado por metro lineal de subdrén, se calcula la permitividad requerida del geotextil, haciendo uso de la ecuación de Darcy.

$$Q_F = K \times i \times A$$
$$Q_F = K \times \frac{\Delta h}{t} \times A$$
$$\frac{K}{t} = \frac{q}{(\Delta h \times H)}$$
$$\psi_{requerida} = \frac{q}{(\Delta h \times H)}$$

Donde:

$\psi_{requerida}$ = permitividad requerida del geotextil, K/t

q = Caudal a evacuar calculado por metro lineal (teniendo el caudal final y la longitud del tramo en consideración $q = Q_F / L$).

Δh = Cabeza hidráulica, esto es igual a la altura del geodrén

H = Altura del subdrén

2. Calcule la permitividad disponible, la cual se obtiene de la permitividad entregada por el fabricante (Norma ASTM D - 4491-05), dividida por unos factores de seguridad.

$$\psi_{disponible} = \psi_{requerida} / (FS_{SCB} \times FS_{IN} \times FS_{CR} \times FS_{CC} \times FS_{BC})$$

Donde:

FS_{SCB} = Factor de reducción por colmatación y taponamiento.

FS_{IN} = Factor de reducción por intrusión.

FS_{CR} = Factor de reducción por creep o fluencia.

FS_{CC} = Factor de reducción por colmatación química.

FS_{BC} = Factor de reducción por colmatación biológica.

Factores de reducción para geotextiles en aplicaciones de drenaje.

Los geotextiles son tal vez uno de los geosintéticos más versátiles debido a sus numerosas aplicaciones y funciones. La más conocida es la de filtración. Sin embargo con un espesor suficiente puede servir como material drenante. En filtración, el flujo va perpendicular a al plano del geotextil, mientras que para drenaje, el flujo va paralelo o por dentro del mismo. A continuación se

mencionan los factores a tener en cuenta para el diseño por función para geotextiles en aplicaciones de filtración y drenaje.

Colmatación y taponamiento (FS_{SCB}): Este factor de reducción compensa el bloqueo de los poros aguas arriba del geotextil por partículas de suelo las cuales reducen el flujo a través de los poros del geotextil. El rango de valores de éste factor se muestra en la TABLA 50, Por lo general los valores más bajos para este factor son utilizados cuando el suelo del sitio del proyecto tiene un contenido mínimo de finos, mientras que los valores más altos generalmente aplican para suelos de grano fino.

Intrusión en los vacíos (FS_{IV}): Este factor compensa el comportamiento que tienen las partículas de suelo para entrar y ser retenidas dentro del geotextil, reduciendo el flujo a través del mismo.

Reducción de vacíos por creep o fluencia (FS_{CR}): Debido a que los geotextiles son sometidos a cargas de compresión, se debe incluir para la selección del geotextil un factor de reducción que tenga en cuenta la variación en el tiempo del paso del flujo a través del geotextil.

Colmatación Química (FS_{CC}): Este fenómeno se tiene en consideración cuando el líquido a filtrar o a drenar posee químicos que puedan quedar atrapados dentro del geotextil colmatándolo o taponándolo. Aguas subterráneas altamente alcalinas pueden colmatar el geotextil con Calcio o Magnesio. Líquidos con cantidades mayores a los 5,000 mg/l de sólidos suspendidos totales requieren factores de reducción mayores.

Colmatación Biológica (FS_{BC}): Así como la colmatación química, la naturaleza del líquido a drenar también es tenido en cuenta. Para aplicaciones de drenaje el factor de reducción por colmatación biológica puede ser relevante en proyectos en los cuales se desee captar y drenar líquidos con alto contenido de microorganismos, como por ejemplo en sistemas de captación y drenaje de lixiviados en rellenos sanitarios o en el manejo de biosólidos. En dichas aplicaciones este factor de reducción ocasiona el uso de un alto factor de reducción en el diseño. Líquidos con valores de DBO mayores a 5,000 mg/l requieren factores de reducción mucho mayores.

TABLA 50. Factores de reducción para geotextiles en aplicaciones de drenaje

Área	Colmatación FS_{SCB}	Reducción de vacíos por Creep FS_{CR}	Intrusión en vacíos FS_{IN}	Colmatación Química FS_{CC}	Colmatación Biológica FS_{BC}
Filtros en espaldones de muros de contención	2.0 a 4.0	1.5 a 2.0	1.0 a 1.2	1.0 a 1.2	1.0 a 1.3
Sistemas de subdrenaje	2.0 a 10.0	1.0 a 1.5	1.0 a 1.2	1.2 a 1.5	2.0 a 4.0
Filtros de control de erosión	2.0 a 10.0	1.0 a 1.5	1.0 a 1.2	1.0 a 1.2	2.0 a 4.0
Filtros de rellenos sanitarios	2.0 a 10.0	1.5 a 2.0	1.0 a 1.2	1.2 a 1.5	2.0 a 5.0
Drenajes por gravedad	2.0 a 4.0	2.0 a 3.0	1.0 a 1.2	1.2 a 1.5	1.2 a 1.5
Drenaje a presión	2.0 a 3.0	2.0 a 3.0	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3	1.1 a 1.3

3. Calcule el factor de seguridad final.

$$FS = \psi_{disponible} / \psi_{requerida}, \text{ el cual debe ser mayor de 1.}$$

4.2.4.4 EJEMPLO DE DISEÑO

Subdrén longitudinal de una vía

Se requiere diseñar los subdrenes longitudinales en una vía. El tramo seleccionado para este ejemplo, tiene una longitud de 50 metros y una pendiente longitudinal del 1%, el ancho de la vía es de 10.5 m. Luego de la exploración del subsuelo, se detectó el nivel freático a una profundidad de 0.50 metros a partir del nivel original. En el diseño de la estructura del pavimento se estableció que se excavará 0.4 m y se remplazará colocando una base granular, compactada al 95% del proctor modificado. Sobre dicha base se

colocará una carpeta de pavimento rígido de 20 cm de espesor. El material de la subrasante es un limo arenoso (ML), el cual presenta las siguientes características:

Permeabilidad (K) = 0.0025 cm/s (Obtenida por ensayos in-situ).

D_{85} = 0.085 mm (Dato extraído de la curva granulométrica del suelo).

1. Diseñar la sección transversal del subdrén.
2. Establecer que características hidráulicas y mecánicas debe tener el geotextil a usar en el filtro.
3. ¿Que recomendaciones constructivas hay que tener en cuenta?

Solución:

1. Se calcula el caudal que puede llegar al subdrén.

- Caudal de infiltración

$$Q_{\text{infiltracion}} = I_R \times B \times L \times F_i \times F_R$$

$I_R = 60 \text{ mm/h} = 0.00167 \text{ cm/s}$ (Obtenido de gráficos de curvas de intensidad - duración - frecuencia).

$B = 525 \text{ cm}$ (Semibanca)

$L = 5,000 \text{ cm}$.

$$F_i = 0.67 \text{ (TABLA 47)}$$

$$F_R = 1/3 \text{ (TABLA 48)}$$

$$Q_{\text{infiltracion}} = 0.00167 \text{ cm/s} \times 525 \text{ cm} \times 5,000 \text{ cm} \times 0.67 \times 1/3 = \mathbf{979 \text{ cm}^3/\text{s}}$$

- Caudal del nivel freático

$$Q_{NF} = K \times i \times A_a$$

$$i = (N_d - N_f) / B$$

$$A_a = (N_d - N_f) \times L$$

$$i = (1.0 - 0.5) / 5.25 = 0.095$$

$$K = 0.0025 \text{ cm/s}$$

$$A_a = 50 \text{ cm} \times 5000 \text{ cm} = 250000 \text{ cm}^2$$

$$Q_{NF} = 0.0025 \text{ cm/s} \times 0.095 \times 250000 \text{ cm}^2 = 59.4 \text{ cm}^3/\text{s}$$

El nivel freático se encuentra a los dos lados de la sección transversal de subdrén.

Entonces:

$$Q_{NF} = 59.4 \text{ cm}^3/\text{s} \times 2 = \mathbf{118.8 \text{ cm}^3/\text{s}}$$

- Caudal Final:

$$Q_F = Q_{\text{infiltracion}} + Q_{NF} = 979 + 118.8 = \mathbf{1097.8 \text{ cm}^3/\text{s}}$$

- Dimensionamiento de la sección transversal del subdrén:

$$Q_F = V \times i \times A$$

El agregado disponible para colocar como material drenante, es una grava, la cual tiene un tamaño uniforme de 19 mm (3/4”).

Del Gráfico 4 se obtiene la velocidad, entrando con la pendiente del subdrén y el tamaño del agregado.

$$V = 0.32 \text{ cm/s}$$

$$i = 1$$

$$A = (1097.8 \text{ cm}^3/\text{s}) / (0.32 \text{ cm/s}) = 3430.6 \text{ cm}^2$$

Se fija el ancho, el cual por lo general corresponde al ancho de la pala de la retroexcavadora y se calcula la longitud que cumpla con el área encontrada. En

el caso en que la trinchera sea excavada a mano se recomienda un ancho mínimo de 60 cm.

$$A = L \times \text{ancho}$$

$$A = 3430.6 \text{ cm}^2$$

$$\text{ancho} = 60 \text{ cm}$$

$$L = 3430.6/60 = 57.2 \text{ Aprox. } 60 \text{ cm.}$$

Sección Transversal: 60 x 60 cm.

2. Se revisa cuales de los geotextiles cumplen según los criterios de diseño.

• **Criterio de retención:**

$$D_{95} \text{ ó } TAA < B \times D_{85}$$

$B = 3$ para los no tejidos punzonados

$$D_{85} = 0.085 \text{ mm}$$

$$TAA < 3 \times 0.085 \text{ mm}$$

$$\underline{TAA < 0.255 \text{ mm}}$$

• **Criterio de permeabilidad**

Como es un suelo fino, se debe cumplir $K_g \geq 10 \times K_s$

$$K_s = 0.0025 \text{ cm/s}$$

$$K_g \geq 0.025 \text{ cm/s}$$

La porosidad de los geotextiles no tejidos punzonados por agujas son superiores al 80%, por lo tanto estos geotextiles cumplen con este criterio. Los geotextiles tejidos y los no tejidos termounidos o calandrados no cumplen con este criterio.

• **Criterio de supervivencia:**

Se deben revisar las propiedades mecánicas del geotextil frente a los requerimientos físicos según norma AASHTO M - 288-05. Ver TABLA 10.

3. Recomendaciones constructivas

- El material filtrante, deberá tener un tamaño entre el tamiz No. 30 y 3" (76.2 mm), deberá ser limpio no tener material fino, durable, las partículas pueden ser angulares o redondeadas, y debe cumplir con la siguiente gradación:

TABLA 51. Granulometría para material filtrante.

Tamaño Partículas	Porcentaje que pasa
3"	100
2 1/2"	70 – 100
2"	60 – 100
1 1/2"	50 – 100
1"	35 – 80
3/4"	30 – 65
1/2"	25 – 50
3/8"	20 – 45
1/4"	15 – 35
No. 4	12 – 30
No. 8	6 – 20
No. 16	0 – 10
No. 30	0 - 2

- El geotextil deberá cubrir totalmente el perímetro del subdrén o filtro, acomodándolo correctamente a la base de la trinchera y la parte inferior de las paredes laterales asegurando un contacto íntimo entre el geotextil y el material adyacente, dejando por encima una cantidad de tela necesaria para que una vez acomodada el material filtrante, se cubra la totalidad del subdrén, con un traslape de 30 cm.
- Durante el transporte y el almacenamiento, los geotextiles deberán cubrirse con empaques que los proteja de la acción de los rayos ultravioleta, barro, polvo, pinturas, etc.
- Cuando se manejen grandes caudales en donde la capacidad de los subdrenajes se ve limitada, se recomienda colocar un tubo perforado dentro del subdrén.
- Para el caso en donde los subdrenes están conectados a una caja de inspección, el geotextil debe penetrar en las paredes de forma que se evite el paso de partículas finas de suelo. Otra alternativa es la de amarrar el geotextil al tubo de entrada a la caja de inspección.

Se recomienda llenar la siguiente tabla resumen para el diseño de subdrenes:

TABLA 52. Tabla Resumen diseño de Subdrén.

PROYECTO:	Tramo de Ejemplo
TIPO DE SUBDREN:	Subdrén longitudinal
LONGITUD:	30 m
PENDIENTE LONGITUDINAL:	1%
SECCION TRANSVERSAL:	50 x 50 cm
COTA DEL NIVEL A EXCAVAR:	0.70 m
PERIMETRO + TRASLAPO (Ancho del Rollo):	240 cm
Requerimientos mínimos que debe tener el geotextil a usar como filtro.	
Tamaño de apertura aparente:	< 0.25
Permeabilidad:	> = 0.025
Porosidad:	> 50% (> 50%)
Resistencia a la tensión (Método Grab):	700 N (ASTM D4632)
Resistencia al punzonamiento:	250 N (ASTM D4833)
Resistencia al estallido Mullen Burst:	1300 kPa (ASTM D3786)
Resistencia al rasgado trapezoidal:	250 N (ASTM D4533)
Geotextiles no tejidos que cumplen con lo anterior:	Geotextiles Clase II.

Se deben revisar los valores requeridos de resistencia mecánica y de propiedades hidráulicas del geotextil, frente a las especificaciones de los geotextiles, con el objeto de seleccionar cuales de ellos cumplen y por último especificar la referencia del geotextil a usar.

4.2.5 SISTEMAS DE SUBDRENAJE CON GEODREN PARA VÍAS.

4.2.5.1 GENERALIDADES

El agua siendo un elemento fundamental para la existencia de la vida, es también la principal causa de los problemas en la ingeniería geotécnica y una de las causas más relevantes del deterioro prematuro de las obras civiles. Es por eso que es necesaria la construcción de obras de drenaje adecuadas para cada caso. Un correcto manejo de los fluidos debe involucrar procesos de captación, conducción y evacuación, los cuales son de igual importancia.

Cuanto más rápido se capte el agua en las obras civiles, se garantiza una mayor durabilidad de éstas. Esto debido a que el exceso de agua en los suelos afecta sus propiedades geomecánicas, los mecanismos de transferencia de carga, incrementos de presiones de poros, subpresiones de flujo, presiones hidrostáticas y afecta la susceptibilidad a los cambios volumétricos.

La utilización del geodrén es una excelente alternativa para el manejo de los fluidos, porque permite captarlos y conducirlos de una manera rápida y eficiente, disminuyendo notablemente el tiempo de construcción de los subdrenes por su facilidad de instalación, dando como resultado una disminución de costos frente a otras alternativas convencionales; al reemplazar

la explotación y transporte de materiales pétreos no renovables, disminuyendo el fuerte impacto ambiental.

Por tal motivo, los geodrenes representan una novedosa solución de ingeniería en obras de infraestructura y en obras del sector predial.

4.2.5.2 INTRODUCCIÓN

Lo que tradicionalmente en la ingeniería se ha llamado filtros, realmente es un sistema de drenaje o subdrenaje. Un sistema de drenaje eficiente y estable es necesario que esté compuesto por un medio filtrante y otro drenante. Para el caso de sistemas de drenaje con geodrén, la función de filtración (retener el suelo permitiendo el paso del agua) la desempeña el geotextil No Tejido punzonado por agujas. El medio drenante es el encargado de captar y conducir el agua que pasa a través del filtro, función realizada por un elemento sintético que se conoce con el nombre de geored. El geodrén planar es un geocompuesto que combina dos geosintéticos (geotextiles y geored). Cuando se le coloca un tubo de drenaje para evacuar los fluidos captados se le denomina geodrén planar con tubería. (Ver Fig. 68) Para lograr un buen diseño de un sistema de drenaje usando geodrén, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos fundamentales:

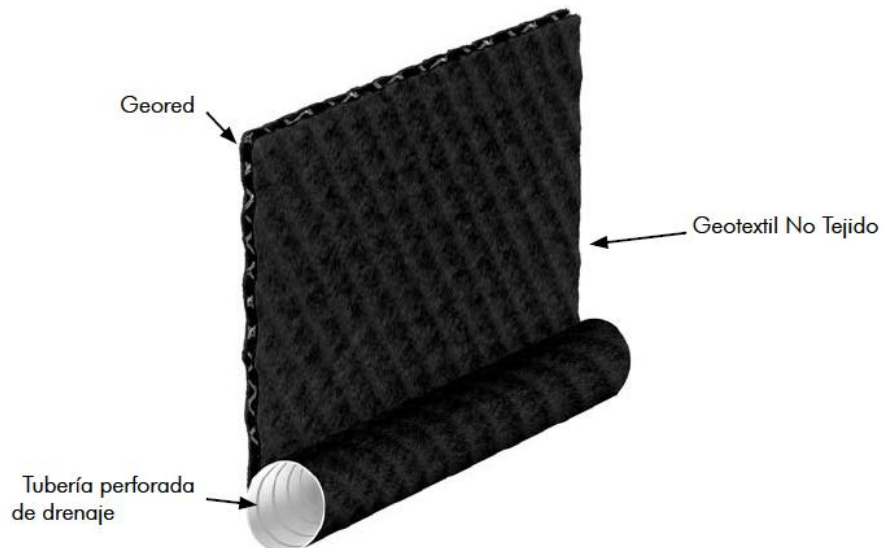


Fig. 68 Elementos que conforman el geodrén.

1. Establecer el sitio o los sitios más convenientes en donde se requieran captar los fluidos.
2. Estimar el caudal crítico para un tramo de diseño, el cual es la sumatoria de los caudales de aporte que provienen del agua subterránea e infiltrada superficialmente.
3. Establecer el geotextil a usar en el sistema de filtración. El uso de los geotextiles ha venido desplazando los sistemas tradicionales de filtración, debido principalmente al aumento de la vida útil del sistema de drenaje, facilidad de instalación y reducción de los costos totales de la construcción. Adicionalmente los geotextiles son materiales de alta calidad que se fabrican siguiendo unos procesos normalizados, con el fin de lograr unas resistencias

mecánicas y propiedades hidráulicas establecidas según normas internacionales.

4. Establecer el sistema de evacuación de los líquidos que capta el geodrén. Es necesario que este sistema sea un tubo especial para drenaje.

4.2.5.3 METODOLOGIA DE DISEÑO

4.2.5.3.1 Sitios en donde se requieren captar los fluidos.

Las líneas de subdrenaje o drenes deben correr de tal manera que intercepten el agua lo más perpendicularmente posible.

Entre más cortas sean las líneas de flujo menor va ser el tiempo en que una estructura de pavimento permanezca saturada, razón por la cual se recomienda colocar geodrén planar en el contacto estructura de pavimento – subrasante. En este caso el gradiente hidráulico será igual a 1 y la máxima distancia que deberá recorrer el agua será el espesor de la estructura de pavimento, la línea superior de flujo por abatimiento del nivel freático no llegaría a la estructura de pavimento.

Además el geodrén planar cumple la función de separar los materiales seleccionados de la estructura con el suelo de subrasante, impidiendo la contaminación. Ver Fig. 69 y 70.

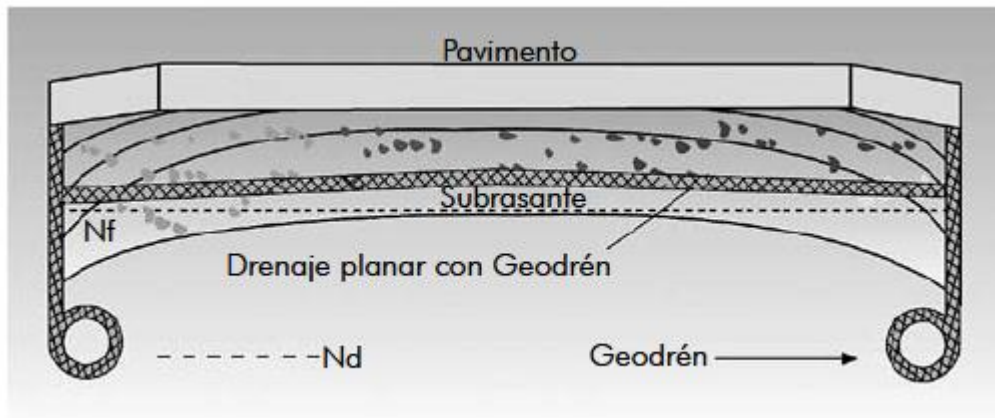


Fig. 69 Trayectoria de las líneas de flujo con geodrén para drenaje planar.

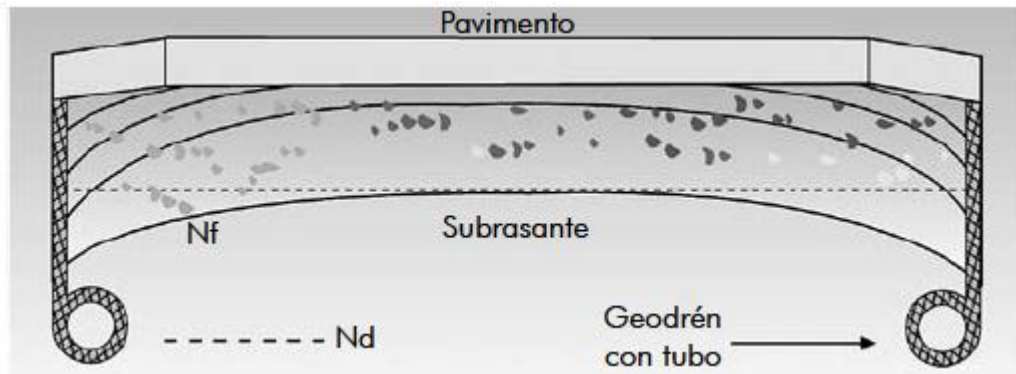


Fig. 70 Trayectoria de las líneas de flujo.

La profundidad del subdrén debe ser tal, que la línea superior de flujo generada por abatimiento del nivel freático no toque la estructura de pavimento. Para el caso de muros en suelo reforzado, gaviones, muros en concreto, presas, diques, sótanos, cimentaciones y zonas ajardinadas, es indispensable la colocación de sistemas de drenaje con el fin de mantener disipadas las presiones hidrostáticas y/o subpresiones de flujo. Para estos casos el geodrén planar presenta excelentes ventajas, principalmente por la gran área geométrica

que se puede llegar a tener en contacto con los suelos y su gran capacidad de recibir grandes caudales. (Ver ejemplos de diseño).

4.2.5.3.2 Caudal de diseño

a) Caudal por infiltración ($Q_{infiltracion}$)

El agua lluvia cae directamente en la carpeta del pavimento. Una parte de éste inevitablemente se infiltra en la estructura del pavimento debido a que las carpetas de pavimento, tanto rígidas como flexibles, no son impermeables.

Por lo tanto el caudal de infiltración se calcula de la siguiente forma:

$$Q_{infiltracion} = I_R \times B \times L \times F_i \times F_R$$

Donde:

I_R = Precipitación máxima horaria de frecuencia anual, registrada en la zona del proyecto

B = Para subdrenes longitudinales, B es la semibanca del ancho (ancho de la via/2).

L = Longitud del tramo de drenaje.

F_i = Factor de infiltración. TABLA 53.

F_R = Factor de retención base, refleja el hecho de que las bases, dada su permeabilidad, entregan lentamente el agua al subdrén. TABLA 54.

TABLA 53. Valores recomendados de F_i para geodrenes

TIPO DE CARPETA	F_i
Carpetas asfálticas muy bien conservadas	0.3
Carpetas asfálticas normalmente conservadas	0.4
Carpetas asfálticas pobremente conservadas	0.5
Carpeta de concreto de cemento Portland	0.67

TABLA 54. Valores recomendados de F_R para geodrenes

TIPO DE BASE	F_R
Bases bien graduadas, en servicio de 5 años o más.	1/4
Bases bien graduadas, en servicio de menos de 5 años	1/3
Bases de graduación abierta, en servicio de 5 años o más.	1/3
Bases de graduación abierta, en servicio de menos de 5 años	1/2

b) Caudal por abatimiento del nivel freático: (Q_{NF})

En sitios donde el nivel freático o el agua proveniente a presión alcancen una altura tal, que supere el nivel de subrasante afectando a la estructura del pavimento, es necesario abatir este nivel de manera que no genere inconvenientes por excesos de agua. El cálculo de este caudal se basa en los siguientes parámetros:

$$Q_{NF} = K \times i \times A_a$$

$$i = (N_d - N_f) / B$$

$$A_a = (N_d - N_f) \times L$$

Donde:

K = Es el coeficiente de permeabilidad del suelo adyacente.

i = Es el gradiente hidráulico.

N_d = Cota inferior del subdrén. Ver Fig. 69.

N_f = Cota superior del nivel freático. Ver Fig 69.

A_a = Es el área efectiva para el caso de abatimiento del nivel freático.

B = Para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la vía. Para el caso de los subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes.

L = Longitud del tramo de drenaje.

Una vez estimados los caudales de aporte al sistema se obtiene el caudal de diseño:

$$Q_F = Q_{infiltracion} + Q_{NF}$$

El caudal por el abatimiento del nivel freático en la mayoría de los casos se presenta a los dos lados de la sección transversal del subdrén, el caudal de diseño (Q_{NF}) debe ser duplicado.

Es de recordar que los subdrenes se deben construir para que intercepten el agua lo más perpendicularmente posible. Lo anterior quiere decir, que en tramos de diseño de subdrenes, en donde las pendientes longitudinales sean

mayores a las pendientes de bombeo, es más eficiente colocar subdrenes transversales.

$$Q_F = Q_{infiltracion} + Q_{NF}$$

4.2.5.3.3 Evaluación del geotextil a usar en el geodrén

El filtro evita una excesiva migración de partículas de suelo y simultáneamente permite el paso del agua, lo anterior implica que el geotextil debe tener una abertura aparente máxima adecuada para retener el suelo, cumpliendo simultáneamente con un valor mínimo admisible de permeabilidad que permita el paso del flujo de una manera eficiente. Para llegar a la selección del geotextil no sólo hay que tener en cuenta lo anterior, sino además, la resistencia a la colmatación, supervivencia y durabilidad, todos estos criterios se explican brevemente a continuación:

Retención: Asegura que las aberturas sean lo suficientemente pequeñas para evitar la migración del suelo hacia el medio drenante o hacia donde se dirige el flujo.

Permeabilidad: Debe permitir un adecuado flujo del agua a través del geotextil considerado su habilidad para esto.

Colmatación: Es el resultado del taponamiento de algunos de sus vacíos por la penetración de partículas de suelo fino, con una incidencia en la reducción de la permeabilidad, por lo tanto el geotextil deberá que tener un número mínimo de vacíos o una alta porosidad.

Supervivencia: El geotextil debe tener unos valores mínimos de resistencia mecánica con el objetivo que soporte las actividades de instalación y manipulación. Estas propiedades son: resistencia a la tensión, resistencia al punzonamiento, resistencia al estallido y resistencia al rasgado.

Durabilidad: Es la resistencia que debe tener un geotextil en el tiempo, bien sea por ataque químico, biológico o por intemperismo.

La metodología de diseño consiste en revisar, cual de los geotextiles satisface las características hidráulicas y mecánicas que resulten de la revisión de los criterios de diseño que se presentan a continuación.

- **Criterio de retención**

De acuerdo con lo establecido en “Geotextiles Engineering Manual” de la Federal Highway Administration (FHWA) y basados en los criterios de retención de Christopher y Holtz (1989), Carroll (1,983), un geotextil debe cumplir con la siguiente condición:

$$TAA < D_{85} \times B$$

Donde:

TAA = Tamaño de abertura aparente, dato proveniente del ensayo ASTM D 4751 y puede ser utilizado el suministrado por el fabricante. Corresponde a la abertura de los espacios libres (en milímetros). Se obtiene tamizando unas esferas de vidrio de diámetros conocidos, cuando el 5% de un tamaño determinado de esferas que pasa a través del geotextil, se define del D_{95} o el TAA .

D_{85} = Tamaño de partículas (en milímetros). Cuando al tamizar un suelo pasa el 85% de este. Este dato se obtiene de la curva granulométrica del suelo en consideración.

B = Coeficiente que varía entre 1 y 3. Depende del tipo de suelo a filtrar, de las condiciones de flujo y del tipo de geotextil.

- Para arenas, arenas gravosas, arenas limosas y arenas arcillosas (con menos de 50% que pasa el tamiz No. 200) B es función del coeficiente de uniformidad C_u , de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} C_u < 2 \text{ ó } C_u \geq 8 & \rightarrow B = 1 \\ 2 \leq C_u \leq 4 & \rightarrow B = 0.5 \times C_u \end{aligned}$$

$$4 < C_u > 8: \rightarrow B = 8 / C_u$$

$$\text{Donde: } C_u = D_{60} / D_{10}$$

En suelos arenosos mal gradados usar B entre 1.5 y 2.

Para suelos finos, (mas de 50% pasa el tamiz No. 200) B es función del tipo de geotextil.

$$\text{Para Tejidos: } B = 1 \quad \Rightarrow \quad TAA \leq D_{85}$$

$$\text{Para No Tejidos: } B = 1.8 \quad \Rightarrow \quad TAA \leq 1.8 * D_{85}$$

Para geotextiles no tejidos punzonados por agujas use B = 3

La AASHTO Task Force No. 25 (1986), recomienda que los geotextiles mínimo deben cumplir:

Según Christopher y Holtz, para suelos cohesivos con un índice de plasticidad mayor a 7, el valor del Tamaño de Abertura Aparente debe ser de:

$$TAA < 0.3 \text{ mm}$$

- **Criterio de permeabilidad**

El coeficiente de permeabilidad es la propiedad hidráulica por medio de la cual el geotextil permite un adecuado paso de flujo perpendicular al plano del mismo, para revisar la permeabilidad del geotextil se debe tener en cuenta lo siguiente:

Para condiciones de flujo estable o flujo laminar y suelos no dispersivos, con porcentajes de finos no mayores al 50% y de acuerdo con el criterio de Schober y Teindl (1,979); Wates (1,980); Carroll (1,983); Cristopher y Holtz (1,985) y otros:

$$K_g > K_s$$

Donde:

K_g = permeabilidad del geotextil.

K_s = permeabilidad del suelo

Para condiciones de flujo crítico, altos gradientes hidráulicos y buscando un correcto desempeño a largo plazo reduciendo riesgo, colmatación se recomienda usar el criterio de Carroll (1983); Chistopher y Holtz (1985):

$$K_g > 10 \times K_s$$

- En estas condiciones también se recomienda colocar una capa de arena media a gruesa.

- **Criterio de Colmatación**

En aplicaciones críticas o en proyectos que involucren suelos muy finos se recomienda realizar ensayos de colmatación con los suelos del sitio, la norma que describe este ensayo es la ASTM D - 5101 - 90.

Este criterio considera la posibilidad de taparse algunos de sus vacíos debido a incrustación de partículas de suelo. Por lo tanto el geotextil debe tener un porcentaje mínimo de espacios vacíos.

Los geotextiles con una mayor resistencia a la colmatación, son los geotextiles no tejidos punzonados por agujas, en los cuales el riesgo a que se taponen gran parte de sus orificios es muy bajo debido al espesor que poseen y a los altos valores de porosidad que presentan. Los geotextiles no tejidos unidos por temperatura o calandrados, son mucho más delgados y rígidos, razón por la cual se parecen en su comportamiento a los geotextiles tejidos, Leuttich (1,993).

Los geotextiles tejidos tienen baja porosidad y el riesgo de colmatación es muy alto, con la consecuencia de una pérdida súbita en la permeabilidad. Razón por la cual no se recomiendan usar como filtros en sistemas de drenaje. De acuerdo con el criterio de Chistopher y Holtz, 1,985; R. Koerner, 1,990, los geotextiles usados como medios filtrantes deben tener una porosidad: > 50%.

- **Criterio de durabilidad**

Los geotextiles por ser un material fabricado en polipropileno no son biodegradables, son altamente resistentes al ataque químico como a los lixiviados.

No se recomienda el uso de los geotextiles como filtros en sitios donde vayan a quedar expuestos a los rayos ultravioleta por un tiempo prolongado. Donde por razones de instalación y funcionamiento los geotextiles estén expuestos al ataque de los rayos ultravioleta, estos deberán estar fabricados por compuestos, que les proporcionen una alta resistencia a la degradación UV.

4.2.5.3.4 Cálculo hidráulico para la selección del geodrén.

En el caso en donde los geotextiles sean usados como: Recubrimiento de tubos que a su vez se encuentran en un medio drenante en espaldones de estructuras de contención que involucren suelos de alta permeabilidad o en general cuando se usan como medios filtrantes para grandes caudales, se debe revisar la cantidad de flujo volumétrico que puede pasar por unidad de área (tasa de flujo), en el plano normal al geodrén, frente a la cantidad de flujo volumétrico a evacuar por metro lineal. Para lo cual se realiza el siguiente procedimiento:

$$\psi = K / t$$

Donde:

ψ : Permitividad (s^{-1})

K : Es la permeabilidad del geocompuesto (m/s).

t : Es el espesor del geotextil

1. Teniendo el caudal que se requiere pasar por el filtro, el cual es el caudal calculado por metro lineal de subdrén, se calcula la permitividad requerida del geotextil, haciendo uso de la ecuación de Darcy.

$$Q_F = K \times i \times A$$

$$Q_F = K \times \frac{\Delta h}{t} \times A$$

$$\frac{K}{t} = \frac{q}{(\Delta h \times H)}$$

$$\psi_{requerida} = \frac{q}{(\Delta h \times H)}$$

Donde:

$\psi_{requerida}$ = permitividad requerida del geotextil, K / t

q = Caudal a evacuar calculado por metro lineal (teniendo el caudal final y la longitud del tramo en consideración $q = Q_F / L$).

Δh = Cabeza hidráulica, esto es igual a la altura del geodrén

H = Altura del subdrén

2. Calcule la permitividad admisible, la cual se obtiene de la permitividad entregada por el fabricante (Norma ASTM D4491-05), dividida por unos factores de seguridad.

$$\psi_{admisible} = \psi_{requerida} / FS_{IN} \times FS_{CR} \times FS_{CC} \times FS_{BC}$$

FS_{CR} = Factor de reducción por creep o fluencia.

FS_{IN} = Factor de reducción por intrusión.

FS_{CC} = Factor de reducción por colmatación química.

FS_{BC} = Factor de reducción por colmatación biológica.

Factores de reducción para geocompuestos en aplicaciones de drenaje.

En los párrafos anteriores se habló sobre los factores de reducción para geotextiles como medios filtrantes, es decir para aplicaciones de flujo a través del plano del geotextil. A continuación se mencionan los factores de reducción para geocompuestos, en los cuales su función primaria es la transmisión de flujo en el plano del mismo. Para los geocompuestos el factor de reducción por colmatación y taponamiento no es tenido en cuenta, debido a que este no es un factor que altere el drenaje de los fluidos dentro del sistema.

Reducción de vacíos por creep (FS_{CR}): Este criterio depende de las condiciones específicas del lugar donde se va instalar el geodrén y de los esfuerzos aplicados sobre el mismo. El núcleo o geored del geodrén se verá afectado por el fenómeno de creep a la compresión, por lo que a largo plazo puede existir una reducción de la transmisividad del sistema debido a la disminución del espesor del mismo.

Intrusión en los vacíos (FS_{IN}): Considerando los espacios que existen en el núcleo del geocompuesto, en este caso del geodrén, el fenómeno de intrusión representa un factor significativo para el diseño. Las variables que afectan este fenómeno son el espaciamiento entre los tendones de la red, la rigidez de la

misma y del geotextil de recubrimiento y el esfuerzo a la compresión que es aplicado sobre el sistema.

Los factores de reducción por creep y por intrusión en los vacíos, pueden ser minimizados, en caso de que el fabricante suministre al diseñador las gráficas realizadas para el ensayo de transmisividad y tasa de flujo del geocompuesto, en el cual se tienen en cuenta los efectos de los esfuerzos de compresión a los que es sometido el sistema y el gradiente hidráulico según la dirección del flujo y la cabeza hidráulica.

Colmatación Química (FS_{CC}): Este fenómeno se tiene en consideración cuando el líquido a filtrar o a drenar posee químicos que puedan quedar atrapados dentro del geocompuesto colmatándolo o taponándolo. Aguas subterráneas altamente alcalinas pueden colmatar el geotextil o la geored con calcio o magnesio. Líquidos con cantidades mayores a los 5,000 mg/l de sólidos suspendidos totales requieren factores de reducción mayores.

Colmatación Biológica (FS_{BC}): Así como la colmatación química, la naturaleza del líquido a drenar también es tenido en cuenta. Para aplicaciones de drenaje el factor de reducción por colmatación biológica puede ser relevante en proyectos en los cuales se desee captar y drenar líquidos con alto contenido de microorganismos, como por ejemplo en sistemas de captación y drenaje de

lixiviados en rellenos sanitarios o en el manejo de biosólidos. En dichas aplicaciones este factor de reducción ocasiona el uso de un alto factor de reducción en el diseño. Líquidos con valores de DBO mayores a 5,000 mg/l requieren factores de reducción mucho mayores.

TABLA 55. Factores de reducción para geocompuestos en geodrenes.

Área	Reducción de vacíos por Creep FS_{CR}	Intrusión en vacíos FS_{IN}	Colmatación Química FS_{CC}	Colmatación Biológica FS_{BC}
Campos deportivos	1.0 a 1.2	1.0 a 1.5	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3
Roturas Capilares	1.1 a 1.3	1.0 a 1.2	1.0 a 1.5	1.1 a 1.3
Muros de contención, taludes escarpados	1.3 a 1.5	1.2 a 1.4	1.1 a 1.5	1.0 a 1.5
Colchones de drenaje	1.3 a 1.5	1.2 a 1.4	1.0 a 1.2	1.0 a 1.2
Drenaje de aguas superficiales para coronas de relleno	1.3 a 1.5	1.2 a 1.4	1.0 a 1.2	1.5 a 2.0
Colección de lixiviados primarios (Rellenos Sanitarios)	1.5 a 2.0	1.4 a 2.0	1.5 a 2.0	1.5 a 2.0
Colección de lixiviados secundarios (Rellenos Sanitarios)	1.5 a 2.0	1.4 a 2.0	1.5 a 2.0	1.5 a 2.0
Subdrenes para vías	1.2 a 1.8	1.5 a 3.0	1.1 a 5.0	1.0 a 1.2

1. Calcule el factor de seguridad final.

$$FS = \psi_{admisible} / \psi_{requerida}, \text{ el cual debe ser mayor de 1.}$$

Evaluación de la conducción del agua en el plano del geodrén

Una vez se ha verificado que el geotextil permite la entrada del caudal total al sistema, se debe revisar la capacidad del geodrén para transportar una cantidad de flujo volumétrico en su plano, conduciéndolo de esta manera a un sistema de evacuación. Esta capacidad del geodrén se conoce como tasa de

flujo; para entender este concepto analizaremos dicho valor haciendo uso de la ecuación de Darcy.

$$\begin{aligned}Q_F &= K \times i \times A \\Q_F &= K \times i \times W \times t \\Q_F &= (K \times t) \times i \times W \\ \frac{Q_F}{W} &= (K \times t) \times i \\q_{W \text{ requerida}} &= \theta \times t\end{aligned}$$

Donde:

$q_{W \text{ requerida}}$ = Tasa de flujo. (m³/s-m)

θ = Transmisividad requerida. (m²/s)

i = Gradiente hidráulico.

Q_T = Caudal total calculado. (m³/s)

W = Ancho del geocompuesto. (Longitud del sistema de drenaje).

Se puede observar que las unidades para la tasa de flujo y la transmisividad aunque su nomenclatura sea diferente para poder diferenciarlas, estas son iguales, sin embargo, los valores de la tasa de flujo y la transmisividad serán las mismas para $i = 1.0$, valor que adquiere el geodrén cuando este es colocado de forma vertical, como por ejemplo en el espaldón de un muro de contención o en el costado de una vía.

Debido a que no siempre se cumplen las condiciones de flujo laminar y condición saturada en el sistema, se recomienda trabajar con la tasa de flujo.

Calculada la tasa de flujo requerida por el sistema, se determina la tasa de flujo última, la cual se obtiene con base en los datos suministrados por el fabricante y calculada por medio de la Norma ASTM D - 4716 (ver 3.4.11). La tasa de flujo última es variable y cambia para las condiciones de cada proyecto. Los factores que modifican la capacidad de transmitir un fluido a través de su plano en el caso de los geocompuestos son los siguientes:

Esfuerzo normal sobre el geodrén.

Se debe establecer el esfuerzo normal máximo al que el geocompuesto será sometido, debido a que la presión de tierras o las cargas aplicadas sobre el sistema en casos críticos pueden reducir la capacidad de transmisión del fluido como consecuencia del cambio de espesor del geodrén.

$$\sigma_n = \gamma \times h \times K_a$$

Donde:

σ_n = Esfuerzo normal máximo. (kPa)

γ = Peso específico del suelo en el cual se va a instalar el geocompuesto.
(KN/m³).

h = Altura a la cual el esfuerzo normal es máximo. (m)

K_a = Coeficiente lateral de presiones.

Nota: en aplicaciones en los cuales el geodrén es instalado en posición vertical se tendrá en cuenta este factor debido a que los esfuerzos laterales son

menores que los esfuerzos verticales, generados por el suelo y las cargas aplicadas.

Gradiente hidráulico.

Debido a que la tasa de flujo del sistema es proporcional al gradiente hidráulico, la pendiente o inclinación que tenga el geodrén afectará directamente la cantidad de fluido que este pueda transmitir.

En aplicaciones para sistemas de subdrenaje en espaldones de muros o en vías el valor de gradiente es 1.0, debido a que el geodrén esta ubicado de forma vertical por lo que los fluidos tendrán una mayor facilidad para ser transmitidos en el geocompuesto.

En los casos donde el geodrén sea instalado de forma horizontal o con muy poca pendiente, como por ejemplo, en casos donde se necesite abatir el nivel freático de una estructura de pavimento, o en rellenos sanitarios, se maneja un gradiente aproximado de 0.1. Condición en la cual la transmisión de flujo es menor debido a la pérdida de cabeza hidráulica por unidad de distancia que es mayor en comparación a la pérdida de cabeza hidráulica del geodrén instalado de forma vertical. Este valor es recomendado y debe ser calculado para cada proyecto.

Se obtiene el valor de la tasa de flujo última, (suministrada por el fabricante), se calcula el valor admisible teniendo en cuenta los factores de reducción, los cuales varían según las condiciones del proyecto.

$$q_{W\text{admisible}} = q_{W\text{última}} / FS_{IN} \times FS_{CR} \times FS_{CC} \times FS_{BC}$$

Donde:

- $q_{W\text{admisible}}$ = Tasa de flujo admisible. (m³/s – m)
- $q_{W\text{última}}$ = Tasa de flujo última.
- FS_{IN} = Factor de reducción por intrusión.
- FS_{CR} = Factor de reducción por creep o fluencia.
- FS_{CC} = Factor de reducción por colmatación química.
- FS_{BC} = Factor de reducción por colmatación biológica.

Finalmente para la verificación del geodrén propuesto se verifica el factor de seguridad global:

$$FS = q_{W\text{admisible}} / q_{W\text{requerida}}, \text{ el cual debe ser mayor de 1.}$$

4.2.5.3.5 Sistema de evacuación de líquidos captados por el geodrén.

Una vez los fluidos son captados se deben evacuar. Para establecer el tipo y diámetro de tubería se deben revisar lo siguiente:

Que el tubo tenga la capacidad de conducir la totalidad del caudal de diseño. Para estimar el caudal máximo que puede transportar el tubo se estableció un nomograma con base en la ecuación de Prandtl Colebrook, Gráfico 6. En donde

conociendo la pendiente y el caudal de diseño se puede establecer el diámetro de la tubería a usar.

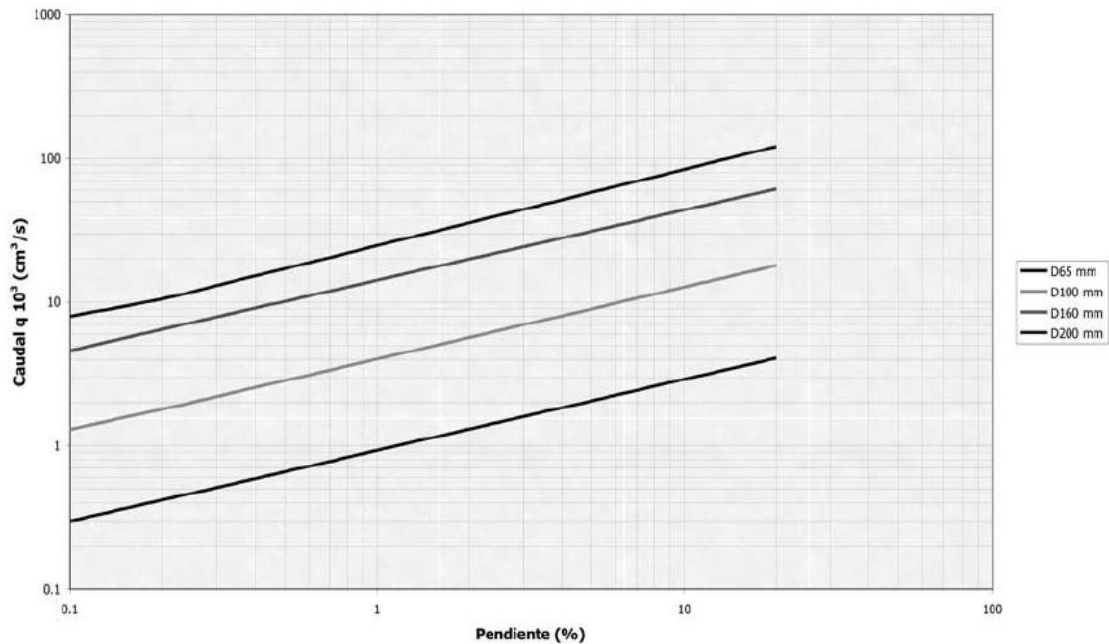


Gráfico 6. Nomograma para el cálculo del diámetro de tubería a utilizar.

4.2.5.4 EJEMPLO DE DISEÑO

Se requiere diseñar los subdrenes para una vía ubicada en la zona plana. El sector en consideración presenta una pendiente promedio del 1%, el ancho de la vía es de 12 m. La posición del nivel freático es 0.20 m a partir del nivel original. En el diseño de la estructura de pavimento se estableció que se excavará 0.50 m por debajo del nivel freático y se reemplazará por materiales seleccionados. El material de subrasante presenta las siguientes características:

Clasificación U.S.C.: CL

Permeabilidad (k) = 8.5×10^{-6} m/s (Obtenida por ensayos in-situ)

D₈₅ = 0.06 mm (Dato extraído de la curva granulométrica).

Diseñar el sistema de subdrenaje con geodrén estableciendo la longitud máxima en donde la tubería podrá realizar la descarga a la atmósfera.

Solución:

1. Cálculo del caudal total de diseño

• **Caudal por infiltración** $Q_{infiltracion}$

$$Q_{infiltracion} = I_R \times B \times L \times F_i \times F_R$$

$I_R = 60$ mm/h = 1.67×10^{-5} m/s (Obtenido de las curvas de intensidad – duración- frecuencia).

$B = 6.0$ m (Semibanca)

$L = ?$

$F_i = 0.4$

$F_R = 0.5$

$$Q_{infiltracion} = 1.67 \times 10^{-5} \text{ m/s} \times 6.0 \text{ m} \times L \times 0.4 \times 0.5$$

$$Q_{infiltracion} = 2.004 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \times L$$

• Caudal por abatimiento del nivel freático Q_{NF}

$$Q_{NF} = K \times i \times A_a$$

$$i = (N_d - N_f) / B = (0.7 - 0.2) / 6 = 0.0834$$

$$K = 8.5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

$$A_a = (N_d - N_f) \times L = (0.7 \text{ m} - 0.2 \text{ m}) \times L$$

$$Q_{NF} = 8.5 \times 10^{-6} \text{ m/s} \times 0.0834 \times 0.5 \text{ m} \times L \times 2 = \mathbf{7.09 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} \times L}$$

• Caudal total de diseño Q_F

$$Q_F = Q_{\text{infiltracion}} + Q_{NF}$$

$$Q_F = (2.004 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \times L) + (7.09 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} \times L) = \mathbf{2.075 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \times L}$$

2. Determinación del diámetro de la tubería

Para establecer la longitud de tramos en donde se requiere hacer la descarga de agua a la atmósfera se debe considerar la capacidad máxima de flujo de la tubería. En este caso para 1% de pendiente, se diseña que cada 150 m se harán descargas de agua a la atmósfera usando una tubería de 4" de diámetro.

Entonces:

$$Q_F = 150.0 \text{ m} \times 2.075 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Q_F = \mathbf{3.11 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}$$

3. Evaluación del tipo de geotextil a usar en el geodrén

Se revisa si el geotextil del geodrén cumple con todos los criterios de diseño. Se utilizará un geotextil **clase II**.

- **Criterio de retención (TAA)**

Para suelos cohesivos con un índice de plasticidad mayor a 7, el valor del Tamaño de Abertura Aparente debe ser de:

$$TAA < 0.30 \text{ mm}$$

$$0.125\text{mm} < 0.30 \text{ mm}$$

- **Criterio de permeabilidad**

Como es un suelo fino, se debe cumplir:

$$K_g \geq 10 \times K_s$$

$$K_g = 0.0036 \text{ m/s}$$

$$K_s = 8.5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

- **Criterio de colmatación**

La porosidad de los geotextiles No Tejidos punzonados por agujas son superiores al 80%.

4. Cálculo hidráulico para la selección del geodrén

Se realiza el cálculo de la permitividad requerida por el geotextil como medio filtrante.

$$\psi_{requerida} = \frac{q}{(\Delta h \times A)}$$

$$\psi_{requerida} = 3.11 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} / [0.70 \text{ m} \times (0.70 \text{ m} \times 150.0 \text{ m})]$$

$$\psi_{requerida} = \mathbf{4.23 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}}$$

Una vez calculada la permitividad requerida por el sistema, se toma la permitividad suministrada por el fabricante como la permitividad última para la realización del diseño.

$$\psi_{disponible} = 1.8 \text{ s}^{-1}$$

Con base a la permitividad última del geodrén, se calcula la permitividad admisible, teniendo en cuenta los factores de reducción.

$$\psi_{disponible} = \psi_{requerida} / FS_{SCB} \times FS_{IN} \times FS_{CR} \times FS_{CC} \times FS_{BC}$$

$$\psi_{disponible} = 1.8 \text{ s}^{-1} / (2.0 \times 1.1 \times 1.1 \times 1.2 \times 2.0)$$

$$\psi_{disponible} = \mathbf{0.31 \text{ s}^{-1}}$$

Finalmente se compara la permitividad admisible con la requerida para determinar el factor de seguridad global:

$$FS = \psi_{disponible} / \psi_{requerida}$$

$$FS = 0.31 \text{ s}^{-1} / 4.23 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

$$FS = 0.31 \text{ s}^{-1} / 4.23 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

$$FS = \gg 1.0$$

• Evaluación de la conducción del agua en el plano del geodrén

Se calcula el esfuerzo normal actuante con base al peso específico del suelo y a la profundidad más crítica donde se encuentra el geodrén, debido a que el geodrén se ubicará de forma vertical se calcula el esfuerzo normal, teniendo en cuenta el coeficiente lateral de presión de tierras:

$$\sigma_n = \gamma \times h \times K_a$$

$$\sigma_n = 20.0 \text{ KN/m}^3 \times 0.70 \text{ m} \times 0.5$$

$$\sigma_n = 7.0 \text{ kPa}$$

El valor del gradiente hidráulico será igual o aproximado a 1.0, debido a la posición del geodrén.

La tasa de flujo última ($q_{w \text{ requerida}}$) se calcula en base a los datos del fabricante, para este ejemplo el geodrén posee una tasa de flujo última de:

$$q_{w \text{ última}} = 3.5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s-m}$$

Con base a este dato, se calcula la tasa de flujo admisible. Teniendo en cuenta los factores de reducción para sistemas de subdrenaje en vías que aparecen en la TABLA 55.

$$q_{W\text{ admisible}} = q_{W\text{ última}} / FS_{IN} \times FS_{CR} \times FS_{CC} \times FS_{BC}$$

$$q_{W\text{ admisible}} = 3.5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s-m} / (1.2 \times 1.5 \times 1.1 \times 1.0)$$

$$q_{W\text{ admisible}} = 1.77 \text{ m}^3/\text{s-m}$$

El valor de la tasa de flujo requerida se determina dividiendo el caudal total de diseño sobre la longitud del geodrén entre descarga y descarga:

$$q_{W\text{ requerida}} = Q_T / L$$

$$q_{W\text{ requerida}} = (3.11 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}) / (150\text{m})$$

$$q_{W\text{ requerida}} = 2.075 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s-m}$$

Finalmente se compara la tasa de flujo admisible con la requerida para determinar el factor de seguridad global:

$$FS = q_{W\text{ admisible}} / q_{W\text{ requerida}}$$

$$FS = (1.77 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s-m}) / (2.075 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s-m})$$

$$FS = 8.5 \gg 1.0$$

El geodrén es adecuado para el sistema de subdrenaje en el tramo de la vía en consideración.

4.2.6 PAVIMENTACIÓN Y REPAVIMENTACIÓN CON GEOTEXTILES

Uno de los campos de aplicación que ha tenido un mayor grado de desarrollo en la ingeniería vial, es la utilización de los geotextiles en obras tales como construcción y la rehabilitación de pavimentos. Del correcto entendimiento sobre las propiedades de este tipo de materiales, de su aplicación, instalación, funciones a desempeñar, beneficios e incluso las mismas limitaciones que poseen, en buena parte dependerá el éxito que estos puedan tener, brindando de esta forma ahorros sustanciales en el mantenimiento de las obras viales que se ejecuten en nuestro país.

4.2.6.1 ANTECEDENTES

La prolongación de la vida útil de las vías ha sido una permanente preocupación por parte de las entidades públicas a nivel nacional e internacional, que se encargan de la ejecución y del posterior cuidado de estas. Los ensayos realizados sobre nuevos materiales que racionalicen de alguna manera los costos de mantenimiento que la estructura de pavimento requiere, han traído nuevos horizontes. Con la aparición de los geosintéticos y en especial los geotextiles, los investigadores han hecho un aporte significativo a la ingeniería, aclarando el desempeño de estos en aplicaciones específicas, como lo es en este caso, la rehabilitación de pavimentos.

A finales de la década de los sesenta, en el departamento de transporte de California o California Department of Transportation (Caltrans), se comienza a experimentar con los geotextiles, teniendo en cuenta que la principal función con la que estos deberían cumplir, era la de evitar la reflexión de grietas reemplazando a sistemas tradicionales tales como las bases de granulometría abierta. Después de casi dos décadas de ensayos en campo, laboratorio y de estudios se logró cuantificar el beneficio de los geotextiles en los proyectos de repavimentación, estos se han venido utilizando casi rutinariamente en la Unión Europea y Estados Unidos, país donde la aplicación anual supera los 16,000 km de carreteras.

En El Salvador, desde hace poco mas de un lustro, la utilización de los geotextiles en repavimentación se ha convertido en otra de las alternativas a los sistemas habituales constructivos utilizados en este tipo de obras, los cuales por lo general no contemplan más que la utilización de un ligante asfáltico, colocado sobre la superficie de la carpeta asfáltica antigua. Además de la colocación de la nueva capa de rodadura, que en algunos casos no contempla ni siquiera el uso de modificadores elastoméricos para mejorar sus propiedades.

La utilización del geotextil en estas obras ha tenido unas veces grandes fracasos y otras éxitos rotundos, dependiendo del grado de conocimiento sobre

la correcta utilización que los constructores hayan tenido sobre este tipo de tecnología.

4.2.6.2 FUNCIONES DEL GEOTEXTIL

Si se entiende por refuerzo como la redistribución de fuerza, debido a la inclusión de un material rígido de alta resistencia a la tensión cuyo módulo elástico sea mayor que el del material que irá a reforzar, al incluir un geotextil dentro de una estructura de pavimento, este no cumplirá con la definición de refuerzo, entonces se preferirá la utilización de otro término para definir su comportamiento en este tipo de estructuras, este es el de intercapa. Estas intercapas son usadas para prevenir o reducir el reflejo de grietas, la aparición de grietas del tipo de piel de cocodrilo y los fenómenos de ahuellamiento y corrugamiento. Las dos funciones básicas que cumple el geotextil impregnado con asfalto para poder suministrar sus beneficios, son las de:

4.2.6.2.1 Barrera Impermeabilizadora

A pesar que el concreto asfáltico ha sido sometido a un proceso de compactación y que su relación de vacíos es muy baja, hay que considerársele como un elemento permeable, a través del cual se infiltrará un porcentaje del agua superficial que podrá llegar a las capas granulares y a la subrasante, ablandando estos suelos afectando los parámetros de resistencia y deformabilidad. Otro efecto igualmente adverso es el incremento de presiones

de poros que reduce los esfuerzos efectivos del suelo, además se presentará el efecto “prensa”, que hace disminuir la disipación de los esfuerzos producidos por cargas de tráfico a través de las capas granulares, siendo estos transmitidos directamente por el agua que se encuentra entre las partículas de suelo a la subrasante. Con el fin de evitar las situaciones anteriores, es necesaria la colocación de una barrera impermeabilizadora que detenga el proceso de infiltración, prolongando la vida útil del pavimento, disminuyendo los costos de mantenimiento y posponiendo un nuevo proceso de repavimentación.

Tal barrera deberá estar conformada por un geotextil no tejido especial para aplicaciones de pavimentación y repavimentación, que servirá como medio para albergar una cantidad determinada de asfalto residual hasta lograr su saturación, además de una cantidad adicional para permitir la adhesión del geotextil a la superficie antigua (capa asfáltica inferior) y a la nueva capa de rodadura.

La cantidad de cemento asfáltico a utilizar es uno de los puntos donde se debe tener un mayor cuidado. Una de las normas constructivas internacionales para repavimentación, (Task Force 25, compuesta por la AASHTO, la AGC y la ARTBA) que ha tenido la mayor aceptación por parte de los ingenieros viales en todo el mundo, exige que como mínimo la cantidad de cemento asfáltico para saturar el geotextil debe ser de 0.9 l/m^2 , esta es una de las razones por las

cuales el geotextil a usarse debe ser un no tejido punzonado por agujas, gracias a su espesor y porosidad que le permiten alojar tal cantidad de asfalto.

Se deben considerar otros factores adicionales para determinar la cantidad adecuada del cemento asfáltico o ligante a usarse, que contemplan el estado de porosidad del concreto asfáltico antiguo.

Una cantidad insuficiente de ligante podría causar que el geotextil no se sature totalmente, perdiéndose el efecto de impermeabilidad o puede que la adhesión entre el geotextil y las capas de concreto asfáltico no sea suficiente, originando tiempo después una superficie potencial de falla por deslizamiento. Una cantidad excesiva de ligante originará un posible problema de exudación de asfalto.



Fig. 71 Exudación de asfalto.

4.2.6.2.2 Membrana Amortiguadora de Esfuerzos

Cuando una capa de repavimentación es colocada sobre la superficie antigua, los esfuerzos incluidos por agrietamiento en la capa de concreto asfáltico antigua, pueden ser transmitidos hacia la nueva capa de repavimentación,

originando un agrietamiento por reflexión temprana. Esto resulta del contacto entre agregados del pavimento antiguo y la capa nueva de repavimentación.

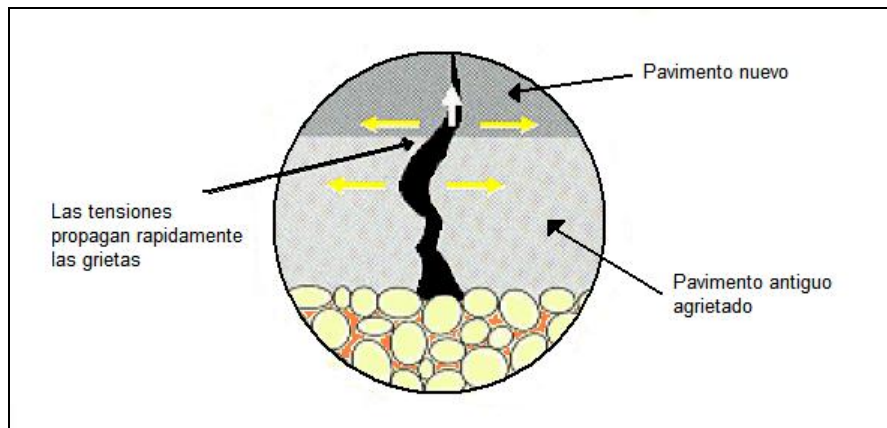


Fig. 72 Efecto de reflexión de grietas.

Al instalar un geotextil para repavimentación entre las capas de concreto asfáltico nuevas y viejas ayuda a retardar el agrietamiento por reflexión, suministrando una capa flexible de espesor suficiente que absorbe parte de los esfuerzos entre la capa de pavimento antiguo y la capa de pavimento nuevo, permitiendo movimientos leves dentro de la intercapa del geotextil, sin tensionar la capa de repavimentación en concreto asfáltico.

De esta forma se prolonga la vida de servicio de las capas repavimentadas. Los geotextiles no tejidos impregnados con asfalto tienen un módulo de elasticidad bajo y absorben las deformaciones sin transferirlas.

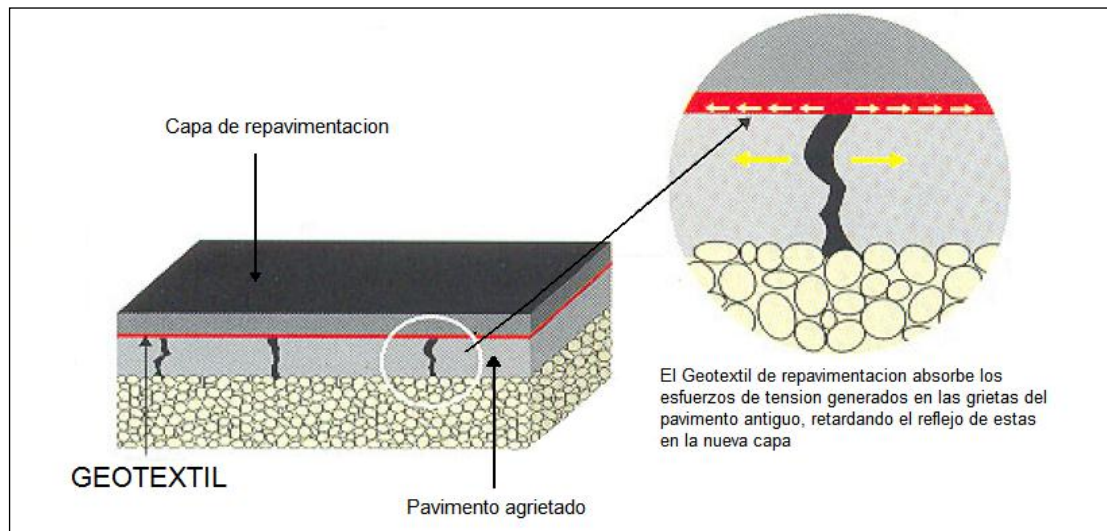


Fig. 73 Conformación de la estructura del pavimento con geotextil.

El geotextil para repavimentación alivia parcialmente la transferencia de esfuerzos inducidos por el tráfico en la cercanía de las grietas, actuando como una capa aliviadora de esfuerzos. La capa de base se protege de los esfuerzos cortantes generados por las cargas generadas por el tráfico y de aquí que sean toleradas deflexiones mayores. De estudios realizados se ha concluido que las 2/3 partes del alivio de esfuerzos se debe al cemento asfáltico que satura el geotextil y el resto es por el geotextil que funciona como contenedor.

En el caso de que una estructura de pavimento en concreto tenga un espesor mayor, mayores serán los esfuerzos de tensión en la base cuando se defleccione debido a las cargas de tráfico. La mayoría de los agrietamientos en los pavimentos comienza en la base del pavimento debido a los esfuerzos de tensión, continuando hasta la superficie.

Al colocar una capa de repavimentación sin una intercapa de geotextil se está incrementando el espesor total de la estructura del pavimento, aumentándose los esfuerzos a tensión en la base del pavimento promoviendo el agrietamiento.

Cuando se coloca una intercapa con geotextil se está generando un efecto de separación, permitiendo un desplazamiento relativo entre capas. Los esfuerzos de tensión generados, se podrán atribuir entonces al espesor individual de cada una de las capas, logrando disminuirlos.

Mediante la colocación de una intercapa que absorba los esfuerzos inducidos por las cargas cíclicas de tráfico, las capas de concreto asfáltico experimentarán menos esfuerzos desarrolladores de grietas internas que aquellas secciones que no tienen intercapas. La resistencia a la fatiga de una capa de repavimentación dependerá de las características de la membrana amortiguadora de esfuerzos incluyendo su módulo de elasticidad, espesor y de la cantidad de modificadores del asfalto.

El geotextil embebido en asfalto es una solución de Interfase de tipo membranal para absorción de esfuerzos, S.A.M.I (Stress Absorbing Membrane Interlayer) de dos componentes, geotextil y asfalto, por lo que el éxito de su aplicación depende directamente de la aptitud de ambos materiales por separado y de su interacción.

De allí que el asfalto, gracias a sus propiedades reológicas, sea el encargado de proveer sus características viscoelásticas a la interfase y proporcionar una adecuada liga de la misma a las capas de pavimento entre las que se ubica.

El geotextil, gracias a sus propiedades mecánicas y a su elevada capacidad de absorción y retención de asfalto, proveerá la “armadura” necesaria que brinde un correcto “sostén” al asfalto, manteniendo su integridad e interactuando con el, permitiendo materializar una membrana que resista las exigencias de la instalación y logre una adecuada impermeabilidad.

4.2.6.3 ELECCIÓN DEL GEOTEXTIL

Normalmente las especificaciones de geotextiles para repavimentación asfáltica, se limitan a fijar sus características mínimas.

Estas parten de establecer criterios que tienden a asegurar que el geotextil no solo cumpla su función principal de retención de asfalto a lo largo de su vida útil, sino que esta no resulte limitada a causa de los esfuerzos a que estará sometido durante su instalación en la obra.

Partiendo de los conceptos anteriores es posible describir tres tipos de requerimientos fundamentales para el geotextil:

- **Requerimientos funcionales:** abarcan los aspectos directamente relacionados con las funciones básicas del SAMI de retardar la aparición de fisuras reflejadas e impermeabilizar las capas inferiores del pavimento.
- **Requerimientos de instalación:** Definen las propiedades de resistencia mecánica, química y térmica necesarias para garantizar su integridad así como su capacidad de absorción y retención durante su instalación en la obra.
- **Requerimientos de supervivencia:** Determinan el nivel de resistencia necesario para soportar los esfuerzos fundamentalmente mecánicos que deberá absorber durante la vida útil de la interfase.

4.2.6.3.1 Requerimientos funcionales

De acuerdo con experiencias realizadas en laboratorio, basadas en el estudio de una viga de concreto asfáltico sometida a fatiga por flexión, se ha demostrado que dentro de los geotextiles utilizados normalmente en repavimentación asfáltica, con gramajes entre 130 a 220 g/m², cuanto mayores son sus resistencias mecánicas y su capacidad de absorción de asfalto,

mejores son los resultados de su empleo en una interfase destinada a retardar la reflexión de grietas.¹⁰

Estudios realizados en Estados Unidos sobre 65 obras del periodo 1982 – 1997 que presentaron distintos tipos de falla, llegaron a la conclusión que una tasa de asfalto insuficiente fue la causa de las fallas en más del 75% de los casos.

De allí la extensión de la utilización de los geotextiles no tejidos agujados, cuya elevada capacidad de absorción y retención, obtenida a partir de la metodología de unión mecánica entre filamentos, los diferencia sustancialmente de otros materiales tales como los termoligados (unidos por calor) y los resinados (unidos por resinas).

Del mismo modo, dentro de los geotextiles agujados, los constituidos por filamentos continuos presentan una absorción superior a los de fibras cortadas. Esto se debe a que los de fibras cortadas, para lograr una buena interacción entre estas, justamente por su limitada longitud, requieren niveles de agujado mucho mas elevados que los de filamento continuo. Esto se traduce en una menor porosidad y por ende una menor capacidad de retención.

337_____

¹⁰ Montestruque G. E., Rodrigues R. G., “Fatiga de Revestimientos Asfálticos con Camada Intermedia de Geotextil”, Brasil, 1995.

4.2.6.5 Requerimientos de instalación

Adicionalmente a la capacidad de absorber y retener asfalto, es necesario asegurar que el geotextil mantenga su integridad y las propiedades que determinaron su elección, durante el proceso de instalación en la obra.

En primer término deben evaluarse sus propiedades mecánicas, debido al tipo de solicitaciones a que estará sometido durante su colocación. Entre las que destacan los esfuerzos de tracción, punzonado y desgarre, los que frecuentemente se producen bajo la acción de cargas concentradas.

Los orígenes de las citadas solicitaciones suelen ser diversos: estado de la superficie del pavimento sobre el que se colocará el geotextil, el tipo de equipo a utilizar en su instalación y en el posterior proceso de pavimentación, tamaño y forma del agregado pétreo de las capas, etc.

Dentro del primer tipo de solicitaciones se encuentran las superficies fresadas, las cuales, aun cuando hayan sido abiertas al tránsito previamente, presentan “crestas” y “valles” que someten al geotextil a un elevado punzonamiento. Similares esfuerzos pueden producirse por una inadecuada limpieza del pavimento existente o incluso por el tránsito de los camiones que acarrean la mezcla asfáltica.

Por otro lado, el uso de equipo mecánico vinculados a equipos tractores para la colocación del material (Ver Fig. 74), si bien posibilita un incremento notable de la velocidad y la eficiencia con que se instala el geotextil, deriva en una exigencia adicional respecto a la capacidad de la tela de pavimentación de resistir tensiones de tracción y desgarramiento.



Fig. 74 Equipo mecánico adaptado a tractor para la instalación del geotextil.

Otra propiedad que es necesaria verificar, es la flexibilidad del geotextil, puesto que no solo resulta imprescindible para lograr una correcta instalación en tramos curvos, sino porque la misma permite “copiar” irregularidades de la superficie disminuyendo de esta manera las zonas de concentración de tensiones, lo cual redundaría en un menor nivel de exigencia sobre el resto de sus propiedades mecánicas.

Los geotextiles no tejidos agujados presentan un adecuado equilibrio entre sus resistencias mecánicas y su flexibilidad, las que en los de filamento continuo se alcanzan sin una pérdida significativa de la porosidad necesaria para retener

una alta tasa de asfalto. Adicionalmente, en los geotextiles de poliéster, se complementan las ventajas anteriores con una muy buena respuesta a la abrasión, una elevada resistencia química a los hidrocarburos, y una excelente respuesta térmica por presentar un punto de ablandamiento superior a los 240°C.

4.2.6.3.3 Requerimientos de supervivencia

Debido a que las cargas a las que estará sometido el geotextil durante su vida útil serán esencialmente repetitivas en el tiempo, el fenómeno de fatiga adquiere una singular importancia a la hora de establecer las características del mismo.

De allí que no sea recomendable la utilización de productos de elevado módulo de rigidez, debido a su fragilidad y dificultad para adaptarse a las deformaciones repetitivas que tendrán lugar durante la vida útil del pavimento.

De lo contrario, seguramente aparecerá una disminución de la adherencia de la interfase ocasionada por la falla prematura del geotextil por fatiga a solicitudes muy inferiores a las resistencias obtenidas por ensayo.

Por ello, siempre es conveniente utilizar geotextiles flexibles y que por su estructura y polímero constituyente presenten un buen comportamiento a fatiga.

A lo anterior deberá añadirse la capacidad del geotextil para interactuar con el asfalto que lo satura, de modo de potenciar sus características reológicas a lo largo del tiempo.

4.2.6.4 OTRAS CONSIDERACIONES SOBRE INSTALACIÓN

Respecto a la metodología de instalación propiamente dicha conviene recordar la importancia de:

- Dividir los riegos de saturación y liga, a razón de 80% de la tasa total antes de la colocación del geotextil y el 20% después, lo que disminuye sustancialmente las posibilidades de fallas.

- El pasaje del rodillo neumático a baja carga, 40 á 50 lb/plg², sobre el geotextil recién instalado, lo que facilita la liga y el ascenso del asfalto de saturación.

También debe destacarse que una compactación inadecuada de la carpeta, su colocación a bajas temperaturas, el riego sobre geotextil húmedo, y/o la presencia de polvo depositado sobre el último riego de liga, pueden también convertirse en causas de una disminución peligrosa del grado de saturación y adherencia de la interfase.

CAPITULO V

5.1 CONCLUSIONES

1. La colocación de geosintéticos como refuerzo es para proveer soporte estructural a las cargas de tráfico durante la vida útil del pavimento. Debido a que los beneficios de los geosintéticos en el refuerzo de estructuras de pavimentos no se pueden determinar en forma analítica, se necesita hacer secciones de prueba para cuantificar el beneficio. Se han hecho algunos estudios que son la base del diseño. Las recomendaciones son empíricas, por lo tanto, están restringidas a las aplicaciones y en las condiciones en que ya han demostrado su beneficio. El diseñador debe realizar ensayos usando los materiales en condiciones particulares de cada proyecto para poder estimar el beneficio a obtener. La expectativa del uso de los geosintéticos como refuerzo es la de reducir la sección estructural manteniendo una prestación equivalente y extender la vida útil del pavimento.
2. El proceso de instalación de los geosintéticos en las obras es relativamente simple, por lo que el control de calidad debe ser estricto con el fin de evitar que se cometan errores durante la colocación, tales como inadecuadas longitudes en los traslapes, costuras, falta de preparación del sitio de colocación, flujo de equipo pesado sobre el geosintético colocado, exposición del geosintético a la intemperie, etc. Defectos que fácilmente pueden ser pasados por alto y ocasionar que el geosintético presente un bajo desempeño en su funcionalidad durante la vida útil del proyecto.

3. Para establecer el tipo de geotextil a emplear en una determinada obra, la norma AASTHO M - 288-05 nos brinda los requerimientos mínimos que estos deben poseer de acuerdo a la función para la cual será utilizado ya sea separación, refuerzo, repavimentación, filtración y drenaje dividiéndolos a su vez en tres clases, de acuerdo a la severidad de condiciones de instalación y desempeño a la que estos estarán sometidos. La clase I para condiciones de alta severidad, la Clase II para nivel de severidad media y la Clase III para condiciones de baja severidad.
4. Los ensayos de laboratorio que se realizan a los geosintéticos no son efectuados en el país, por lo que el certificado de calidad del fabricante es la única herramienta con la que cuenta el diseñador y/o supervisor para aceptar o rechazar el uso de un producto en particular.
5. La colocación de un material geotextil como separación, asegura que la conformación inicial de las capas, espesor y granulometría, se mantenga a lo largo de toda la vida útil de la estructura del pavimento, evitando la contaminación de la capa de subbase con material de subrasante, la contaminación de la capa de base con material de subbase o evitar el bombeo de finos colocando el geotextil entre la subbase y las losas de un pavimento rígido, fenómenos que conllevarían a un deterioro prematuro de la vía e incrementaría los costos de mantenimiento rutinario. Por lo que la colocación del geotextil brindaría una eficiencia funcional y económica.

6. Existen dos alternativas de aplicación de geosintéticos en obras de subdrenaje en carreteras, el sistema tradicional de geotextil con material granular filtrante y el sistema de geocompuesto drenante. Con ambos sistemas se logra un aumento en la vida útil de los pavimentos manteniendo las capas inferiores el menor tiempo expuestas a condiciones de saturación; aunque para ambos sistemas la función principal es la de drenaje, en el primero, el geotextil actúa como una barrera que impide la contaminación del material filtrante (grava) con finos, mientras que en el segundo el geodrén actúa como un medio de conducción que transporta el agua en su plano hacia la tubería. Comparando los dos sistemas con el geodrén se obtiene un proceso constructivo más eficiente al reducirse los tiempos de instalación.

7. En la pavimentación y repavimentación, los geotextiles cumplen con dos funciones, la de actuar como una barrera impermeabilizadora que impide el paso del agua que se infiltra por la carpeta hacia las capas inferiores de la estructura evitando que estas se saturen y se ablanden afectando su resistencia y aumentando su deformabilidad; además logrando mantener las capas libres de agua se evitan los incrementos en la presión de poros, que reduce los esfuerzos efectivos del suelo. La segunda función es la de membrana amortiguadora de esfuerzos, ya que el geotextil colocado entre la capa antigua y la capa de repavimentación absorbe los esfuerzos de tensión provocados por el movimiento de los agregados en las grietas del pavimento viejo generados por las cargas del tráfico, permitiendo que existan pequeños movimientos dentro de su intercapa sin afectar la capa nueva, ayudando a retardar de esta manera el agrietamiento por reflexión.

8. El éxito o fracaso en la utilización de un geotextil en repavimentaciones con mezclas asfálticas dependerá principalmente de la cantidad de asfalto impregnado en el geotextil, ya que una cantidad insuficiente de ligante conllevaría a una pérdida en el efecto de impermeabilización o podría afectar la adherencia entre las capas de concreto asfáltico generando una superficie potencial de falla por deslizamiento; mientras que un exceso de asfalto provocaría que debido a la continua presión ejercida por el tráfico, este suba a través de la capa de rodadura generando un problema de exudación de asfalto.

5.2 RECOMENDACIONES

1. Los geosintéticos como alternativa de solución a problemas de construcción, pueden ser utilizados en muchas aplicaciones en obras civiles, por ejemplo cimentaciones de edificios, estabilidad de taludes, rellenos sanitarios, control de erosión, protección de obras costeras, etc. Por lo que el estudio de alguna de estas aplicaciones podría ser muy importante y realizarse en un futuro trabajo de graduación.
2. Es recomendable la realización de un estudio de los diferentes ensayos de laboratorio que se efectúan a los geosintéticos y establecer cuales de estos pueden efectuarse en laboratorios de nuestro país, esto a fin de llevar un control más exhaustivo de la calidad de los productos proporcionados por los diferentes distribuidores.
3. Ya que los métodos de diseño se basan en análisis empíricos y pruebas de campo realizadas en condiciones diferentes a las que hay en nuestro medio, es recomendable la realización de tramos de prueba o evaluaciones de desempeño a las obras ya construidas, para medir los efectos de la utilización de geosintéticos en la estructura de nuestros pavimentos.

BIBLIOGRAFÍA

- Koerner, R. M., “Designing With Geosynthetics”, 3rd Edition, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, Estados Unidos de America, 1994.
- Robert D. Holtz, Ph.D., Barry R. Christopher, Ph.D., U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, “Geosynthetic Design and Construction Guidelines”, Washington D.C., Estados Unidos de America, 1995.
- Departamento de Ingeniería – Geosintéticos, PAVCO-AMANCO, “Manual de Diseño” 7ma Edición, Bogota, Colombia, 2006.
- G. Cleveland, J. W. Button, L. Lytton, “Geosynthetics in Flexible and Rigid Pavement Overlay Systems to reduce Reflection Cracking”, Texas Dept. of Transportation, en colaboración con FHWA; Estados Unidos de America, 2002.
- Botasso H. G., Fensel E. A., “Avances en La Caracterización y Normalización del Uso de Geosintéticos en Pavimentos Flexibles”, Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional La Plata, Argentina, 2000.

- American Association of Highway and Transportation Officials, “AASHTO Guide for Design of Pavement Structures”, Estados Unidos de America, 1993.
- Geosynthetic Materials Association (GMA). “Handbook Of Geosynthetics”, Estados Unidos de America, 2002.
- Cancelli A., Montanelli F., Rimoldi, Zhao A., “Full Scale Empirical Testing on Geosynthetics Reinforced Paved Roads”, Japón, 1996.
- Departments of The Army and The Air Force. “Engineering use of geotextiles”. Estados Unidos de America, 1995.
- Secretaria de Integración Económica Centroamericana (SIECA), “Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales”, Guatemala, 2001.
- Tensar Earth Technologies, Inc. “Spectra System: The Engineered Advantage”, Atlanta, Georgia, Estados Unidos de America, 1999.

- Eseverri A., “Soluciones Drenantes con Georedes”, Revista Subsuelo, Obra Urbana, Colombia, 2004.

- Geosynthetic Materials Association (GMA). “Geosynthetic Reinforcement of the aggregate base and subbase courses of pavement structures”, Estados Unidos de America, 2000.

- Dal Farra A., Rodríguez Carlos A., “Geotextiles en repavimentación Asfáltica - Balance y Perspectivas Actuales de su Aplicación en la Republica Argentina”, Coripa S. A., Buenos Aires, Argentina 1998.

- Holtz R., “Geosynthetic Engineering”, Estados Unidos de America, 1997.

ANEXOS



GEOTEXILES TEJIDOS



	PROPIEDADES	NORMA	UNIDAD	T 1050	T 1400	T 1700	T 2100	T 2400	TR 4000
PROPIEDADES MECANICAS	Método Grab Resistencia a la Tensión Elongación	ASTM D-4632	N (lb) %	640 (144) 17	920 (207) 19	1150 (259) 19	1280 (288) 20	1570 (353) 22	2440 (549) 23
	Método Tira Ancha Sentido Longitudinal Elongación	ASTM D-4595	kN/m %	N.A	N.A	25 19	31 20	36 22	55 28
	Sentido Transversal Elongación			N.A	N.A	29 14	34 17	40 18	65 21
	Resistencia al Punzonamiento	ASTM D-4833	N (lb)	380 (86)	530 (119)	630 (142)	715 (161)	800 (180)	1200 (270)
	Resistencia al Rasgado Trapezoidal	ASTM D-4533	N (lb)	240 (54)	300 (68)	320 (72)	460 (104)	520 (117)	730 (164)
	Método Mullen Burst Resistencia al Estallido	ASTM D-3786	kPa (psi)	2174 (315)	3381 (490)	3864 (560)	4554 (660)	5175 (750)	8073 (1170)
PROPIEDADES HIDRAULICAS	Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D-4751	mm (No Tamiz)	0.300 (50)	0.250 (60)	0.250(60)	0.300 (50)	0.300 (50)	0.300 (50)
	Permeabilidad	ASTM D-4491	cm/s	0.7×10^{-2}	1.3×10^{-2}	1.5×10^{-2}	9.30×10^{-2}	7.40×10^{-2}	5.30×10^{-2}
	Permitividad	ASTM D-4491	s ⁻¹	0.20	0.20	0.20	0.90	0.70	0.40
	Espesor	ASTM D-5199	mm	0.35	0.65	0.75	1.03	1.06	1.32
PRESENTACION	Tipo de Polímero	Fabricante		PP	PP	PP	PP	PP	PP
	Rollo Ancho	Medido	m	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.83
	Rollo Largo	Medido	m	200	160	120	100	100	100
	Rollo Area	Calculado	m ²	770	616	462	385	385	383
FUNCION DEL GEOTEXTIL	Separación			■	■	■	■	■	■
	Estabilización			■	■	■	■	■	■
	Refuerzo					■	■	■	■

CONVENCIONES

PP = Polipropileno
 PET = Poliéster
 ASTM = American Society for Testing and Materials
 N/A = No Aplica

NOTAS

PAVCO S.A. se reserva el derecho de modificar las especificaciones que considere necesarias para garantizar la óptima calidad y funcionalidad de sus productos.

Los valores enunciados corresponden a los promedios estadísticos de los lotes de producción.

Los geotextiles son productos foto degradables, no biodegradables, no deben ser incinerados y se deben disponer en forma adecuada.

Para diseño con geotextiles favor consultar con el Departamento de Ingeniería de PAVCO S.A., el CD Rom y el manual de diseño: Geosistemas PAVCO.

Estos productos han sido manufacturados bajo los controles establecidos por un sistema de gestión de calidad que cumple con los requisitos de ISO 9002. El sistema ha sido certificado por BVQI bajo el certificado No. 71926-A.

Miembro Corporativo



International
Geosynthetic
Society

Octubre 2002



1. ALCANCE

1.1. Esta es una especificación para materiales que cubre los Geotextiles para su uso en drenajes subsuperficiales, separación, estabilización, control de erosión, barreras temporales contra sedimentos y telas para repavimentación. Esta es una especificación para la adquisición de materiales y se recomienda una revisión del diseño según el uso.

1.2. Esta Especificación establece propiedades físicas, mecánicas y de duración que deberán cumplir, o exceder, los Geotextiles fabricados.

1.3. En el contexto de sistemas y manejos de Calidad, esta especificación representa el documento de Control de Calidad del Fabricante (MQC).

1.4. Esta Especificación esta propuesta para asegurar Calidad y Desempeño de los Geotextiles usados como se lista en la Sección 1.1, pero es posiblemente no adecuado para la especificación completa de una situación específica. Ensayos adicionales, o valores más exigentes para los ensayos indicados, pueden ser necesarios bajo condiciones de una aplicación en particular.

1.5. Esta no es una especificación de construcción o diseño. Esta especificación se basa en la supervivencia de los Geotextiles por los esfuerzos de instalación. Refiérase al Apéndice A de esta especificación para las guías de construcción con geotextiles.

2. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

2.1. Normas AASHTO

- T 88 Análisis del Tamaño de Partículas de los Suelos
- T 90 Determinación del Límite Plástico y del Índice de Plasticidad de los Suelos
- T 99 Las Relaciones Humedad - Densidad de los Suelos usando un martillo de 2.5 kg y altura de caída de 305 mm

2.2. Normas ASTM

- D123 Terminología Estándar relacionada con los Geotextiles
- D276 Método de Ensayo para la Identificación de Fibras en Geotextiles
- D4354 Práctica de Muestreo de Geosintéticos para Ensayos
- D 4355 Método de Ensayo para el Deterioro de los Geotextiles a la Exposición por Luz Ultravioleta y Agua (Aparato Tipo Arco Xenón)
- D4439 Terminología para los Geosintéticos
- D4491 Método de Ensayo para la Permeabilidad de Agua de los Geotextiles por la Permisividad
- D4533 Método de Ensayo para la Resistencia al Rasgado Trapezoidal de los Geotextiles
- D4632 Método de Ensayo Grab para la Determinación de la Carga de Rotura y Elongación de los Geotextiles.
- D4751 Método de Ensayo para la Determinación del Tamaño de Apertura Aparente de los Geotextiles.
- D4759 Práctica para la Determinación de la Conformidad de Especificaciones de los Geosintéticos.
- D4873 Guía para la Identificación, Almacenamiento y Manejo de los Geotextiles.
- D5141 Método de Ensayo para determinar la Eficiencia de Filtración y Tasa de Flujo para Aplicaciones de Barreras contra Sedimentos usando Suelos de Sitios Específicos.
- D5261 Método de Ensayo para determinar la Masa por Unidad de Área en Geotextiles.
- D6140 Método de ensayo para determinar la retención de asfalto en geotextiles.
- D6241 Método de Ensayo de Resistencia al Punzonado Estático de Geotextiles y Productos relacionados, usando una probeta de 50 mm.

3. DEFINICIONES

3.1. Formulación: Mezcla de una combinación única de ingredientes

identificados por tipo, propiedades y cantidad. Para Geotextiles No Tejidos, una formulación es definida como los porcentajes exactos y tipos de resina (as), aditivos y/o negro de humo.

3.2. Control de Calidad de Fabricación (MQC): Un Sistema planificado de inspecciones que es usado para monitorear y controlar directamente la fabricación de un material en la planta. El MQC es normalmente ejecutado por el fabricante de Geosintéticos y es necesario para asegurar el Valor Mínimo (o Máximo) especificado para el producto fabricado. El MQC esta referido a las medidas tomadas por el fabricante, para determinar cumplimiento con los requerimientos para los materiales y ejecución, tal como manifiestan los documentos de Certificación y las especificaciones del contrato (Ref. EPA/600/R-93/182).

3.3. Valor Mínimo Promedio por Rollo (MARV): Para Geosintéticos, una herramienta de Control de Calidad de Fabricación, usada para permitir al Fabricante establecer valores publicables tal que el Usuario/Comprador tendrá el 97.7 % de seguridad que la propiedad en cuestión cumple los valores publicados. Para datos normalmente distribuidos, MARV es calculado como el valor Típico menos dos desviaciones estándar, de los resultados de los ensayos de Control de Calidad Documentados, para una población delimitada de un Método de Ensayo específico, asociado con una propiedad específica.

3.4. Valor Mínimo: El Valor de muestra mas bajo, de los Resultados de Ensayos de Control de Calidad Documentados, para una población delimitada de un Método de Ensayo específico, asociado con una propiedad específica.

3.5. Valor Máximo: El Valor de muestra más alto, de los Resultados de Ensayos de Control de Calidad Documentados, para una población delimitada de un Método de Ensayo específico, asociado con una propiedad específica.



4. REQUERIMIENTOS FÍSICOS

4.1. Las fibras usadas en la fabricación de geotextiles y los hilos usados para la unión de los geotextiles mediante costura, deben consistir de polímeros sintéticos de cadena larga, compuestos de por lo menos un 95% en peso de poliolefinas o poliésteres. Deben conformar una malla estable de tal forma que los filamentos o fibras mantengan su estabilidad dimensional en relación con los otros, incluyendo los orillos.

4.2. Los geotextiles usados para aplicaciones de drenaje subsuperficial, separación, estabilización y control permanente de erosión deben cumplir los requerimientos físicos de la sección 8. Los geotextiles usados para las barreras temporales contra sedimentos deben cumplir los requerimientos físicos de la sección 9 y los geotextiles usados para repavimentación deberán cumplir los requerimientos físicos de la sección 10.

4.3. Todos los valores de las propiedades a excepción del Tamaño de Apertura Aparente (TAA) en esta especificación, representan los valores mínimos promedios por rollo (VMPR) en la dirección principal más débil (por ejemplo, los resultados promedio de ensayo de cualquier rollo en un lote muestreado para determinar mediante ensayos su conformidad o aseguramiento de calidad deberán cumplir o exceder los valores mínimos suministrados aquí). Los valores para el TAA representan los valores máximos promedios por rollo.

5. CERTIFICACION

5.1. El contratista debe suministrar al Ingeniero, un certificado donde constate el nombre del fabricante, el nombre del producto, composición química de los filamentos o cintas y otra información pertinente que describa totalmente al geotextil.

5.2. El fabricante es el responsable de establecer y mantener un

programa de control de calidad que asegure el cumplimiento con los requerimientos de la especificación. Cuando se requiera debe estar disponible la documentación que describa el programa de control de calidad.

5.3. El certificado del fabricante debe hacer constar que el geotextil suministrado cumple con los requerimientos VMPR de la especificación tal como se evaluó bajo el programa de control de calidad del fabricante. El certificado debe ser autenticado por una persona que tenga autoridad legal para hacer comparecer al fabricante.

5.4. Un etiquetado o una representación errónea de los materiales será razón para rechazar aquellos productos geotextiles.

6. MUESTREO, ENSAYOS Y ACEPTACION

6.1. Los geotextiles estarán sujetos al muestreo y ensayo para verificar si están conformes con esta especificación. El muestreo para ensayo deberá estar de acuerdo con la norma ASTM D 4354 más reciente, aplicando la sección titulada "Procedimiento de Muestreo para Ensayos de conformidad de Especificaciones del Comprador". En ausencia de los ensayos del comprador, la verificación podrá basarse en las certificaciones del fabricante, resultado de los ensayos de control de calidad en muestras obtenidas de acuerdo al Manual de Aseguramiento de Calidad (MQA) del fabricante. El tamaño del lote para determinar la conformidad o el muestreo para el aseguramiento de la calidad será considerado como la cantidad del envío de un producto determinado o la carga de un camión de un producto determinado, cualquiera sea el más pequeño.

6.2. Los ensayos deberán desarrollarse de acuerdo con los métodos referidos en esta especificación para la aplicación indicada. El número de especímenes a ensayar por muestra se especifican en cada método de ensayo. La aceptación del geotextil

deberá basarse en la norma ASTM D 4759. La aceptación del producto es determinada mediante la comparación de los resultados promedio de los ensayos de todos los especímenes, dentro de una muestra dada para cumplir con las especificaciones, con la Especificación MARV del Proyecto. Refiérase a la norma ASTM D 4759 para mayores detalles en relación con los procedimientos de aceptación de los geotextiles.

7. ENVIO Y ALMACENAJE

7.1. El etiquetado, envío y almacenaje deben seguir la norma ASTM D 4873. Las etiquetas de los productos deben mostrar claramente el nombre del fabricante o del proveedor, nombre del estilo y el número del rollo. Cada documento de envío debe incluir una nota certificando que el material cumple con el certificado del fabricante.

7.2. Cada rollo de geotextil debe estar envuelto con un material que protegerá al geotextil de los daños debidos al envío, agua, exposición solar y contaminantes. La envoltura de protección debe mantenerse durante los periodos en envío y almacenaje.

7.3. Durante el almacenaje, los rollos de geotextil deben permanecer elevados del piso y adecuadamente cubiertos para protegerlos de lo siguiente: daños en el sitio de construcción, precipitación, radiación ultravioleta prolongada incluyendo la luz del sol, químicos que sean ácidos o bases fuertes, llamas incluyendo las chispas de soldadura, temperaturas por encima de los 71°C, y cualquier otra condición ambiental que pueda afectar los valores de las propiedades físicas del geotextil.

8. REQUERIMIENTOS PARA LAS PROPIEDADES DE LOS GEOTEXTILES EN DRENAJE SUBSUPERFICIAL, SEPARACION, ESTABILIZACION Y



CONTROL PERMANENTE DE EROSION

8.1. Requerimientos Generales

8.1.1. La Tabla 1 suministra las propiedades de resistencia para las tres clases de geotextiles. El geotextil debe cumplir con las propiedades de la Tabla 1 basado en la clase de geotextil requerido en las Tablas 2, 3, 4, 5 ó 6 para la aplicación indicada.

8.1.2. Todos los valores numéricos de la Tabla 1 representan los valores VMPR en la dirección más débil. Las propiedades requeridas del geotextil para cada clase dependen de la elongación del geotextil. Cuando se requieren juntas cosidas, la resistencia de la costura, tal como se mide según la norma ASTM D 4632, debe ser mayor o igual al 90% de la resistencia Grab especificada.

8.2. Requerimientos para Drenaje Subsuperficial

8.2.1. Descripción. Esta especificación es aplicable a la colocación de un geotextil contra un suelo para permitir el paso del agua a largo plazo dentro de un sistema de drenaje subsuperficial reteniendo el suelo del sitio. La función principal del geotextil en aplicaciones de drenaje subsuperficial es la filtración. Las propiedades de filtración están en función de la gradación del suelo in situ, la plasticidad y las condiciones hidráulicas.

8.2.2. Requerimientos para el Geotextil. El geotextil debe cumplir con los requerimientos de la Tabla 2. Los geotextiles tejidos de película cortada (p. e., geotextiles hechos de hilos o cintas de forma plana) no serán aceptados para esta aplicación. Todos los valores numéricos de la Tabla 2, excepto el TAA representan el VMPR en la dirección principal más débil. Los valores del TAA representan valores máximos promedios por rollo.

8.2.3. Los valores de las propiedades de la Tabla 2 representan valores por defecto que suministran una supervivencia suficiente del geotextil bajo la mayoría de las condiciones de construcción. La nota

2 de la Tabla 2 tiene en cuenta una reducción en los requerimientos mínimos de las propiedades cuando hay suficiente información disponible sobre la supervivencia. El ingeniero también puede especificar propiedades diferentes de aquellas enunciadas en la Tabla 2 basado en el diseño ingenieril y la experiencia.

8.3. Requerimientos para Separación

8.3.1. Descripción. Esta especificación es aplicable al uso de un geotextil que prevenga la mezcla del suelo de subrasante y un agregado de cobertura (sub-base, base, materiales seleccionados para terraplenes, etc.). Esta especificación también puede aplicar a otras situaciones diferentes a su colocación por debajo de una estructura de pavimento donde se requiera la separación entre dos materiales disímiles, pero donde la infiltración de agua a través del geotextil no sea una condición crítica.

8.3.2. La aplicación de separación es apropiada para estructuras de pavimento construidas sobre suelos con un California Bearing Ratio mayor o igual a 3 ($CBR \geq 3$, esfuerzo cortante aproximadamente mayor que 90 kPa). Es apropiado para suelos de subrasante no saturados. La función principal de un geotextil en esta aplicación es la separación.

8.3.3. Requerimientos para el Geotextil. El geotextil debe cumplir con los requerimientos de la Tabla 3. Todos los valores numéricos representan los VMPR en la dirección principal más débil. Los valores del TAA representan los valores máximos promedios por rollo.

8.3.4. Los valores de las propiedades de la Tabla 3 representan valores por defecto que suministran una supervivencia suficiente del geotextil bajo la mayoría de las condiciones de construcción. El ingeniero también puede especificar propiedades diferentes de aquellas enunciadas en la Tabla 3 basado en el diseño ingenieril y la experiencia.

8.4. Requerimientos para Estabilización

8.4.1. Descripción. Esta especificación es aplicable al uso de un geotextil en condiciones húmedas y de saturación para suministrar las funciones de separación y filtración simultáneamente. En algunas instalaciones, el geotextil también puede suministrar la función de refuerzo. La estabilización es aplicable a las estructuras de pavimento construidas sobre suelos con un California Bearing Ratio entre 1 y 3 ($1 < CBR < 3$, esfuerzo cortante aproximadamente entre 30 kPa y 90 kPa).

8.4.2. La aplicación de estabilización es apropiada para suelos de subrasante que estén saturados debido a un nivel freático alto o debido a períodos prolongados de humedad. Esta especificación no es apropiada para el refuerzo de terraplenes donde las condiciones de esfuerzos puedan causar fallas globales de la fundación o de estabilidad. El refuerzo de la sección del pavimento es un punto de diseño específico del proyecto.

8.4.3. Requerimientos para el Geotextil. El geotextil debe cumplir con los requerimientos de la Tabla 4. Todos los valores numéricos representan los VMPR en la dirección principal más débil. Los valores del TAA representan los valores máximos promedios por rollo.

8.4.4. Los valores de las propiedades de la Tabla 5 representan valores por defecto que suministran una supervivencia suficiente del geotextil bajo la mayoría de las condiciones de construcción. La nota 1 de la Tabla 5 tiene en cuenta una reducción en los requerimientos mínimos de las propiedades cuando hay suficiente información disponible sobre la supervivencia. El ingeniero también puede especificar propiedades diferentes de aquellas enunciadas en la Tabla 5 basado en el diseño ingenieril y la experiencia.

8.5. Control Permanente de Erosión

8.5.1. Descripción. Esta especificación es aplicable al uso del



geotextil entre sistemas armados de absorción de energía y el suelo in-situ para prevenir las pérdidas de suelo resultantes de un escurrimiento excesivo y para prevenir supresiones hidráulicas que causen una inestabilidad del sistema de control permanente de erosión. Esta especificación no aplica para otro tipo de materiales geosintéticos para el control de erosión del suelo tales como los mantos de refuerzo para el césped.

8.5.2. La función principal del geotextil en los sistemas de control permanente de erosión es la filtración. Las propiedades de filtración de los geotextiles están en función de las condiciones hidráulicas, la gradación del suelo in-situ, la densidad y la plasticidad.

8.5.3. Requerimientos para el Geotextil. El geotextil debe cumplir con los requerimientos de la Tabla 6. Los geotextiles tejidos de película cortada (p. e., geotextiles hechos de hilos o cintas de forma plana) no serán admitidos. Todos los valores numéricos representan los VMPR en la dirección principal más débil. Los valores del TAA representan los valores máximos promedios por rollo.

8.5.4. Los valores de las propiedades de la Tabla 6 representan valores por defecto que suministran una supervivencia suficiente del geotextil bajo unas condiciones similares o menos severas que aquellas descritas en la nota 2 de la Tabla 6. La nota 3 de la Tabla 6 tiene en cuenta una reducción en los requerimientos mínimos de las propiedades cuando hay suficiente información disponible sobre la supervivencia o cuando se reduce el potencial de daños por construcción. El ingeniero también puede especificar propiedades diferentes de aquellas enunciadas en la Tabla 6 basado en el diseño ingenieril y la experiencia.

9. REQUERIMIENTOS PARA BARRERAS TEMPORALES CONTRA SEDIMENTOS

9.1. Descripción. Esta especificación es aplicable al uso del geotextil como interceptor vertical permeable diseñado para remover los sólidos suspendidos del flujo de agua que viene de arriba del terreno. La función de una barrera temporal contra sedimentos es filtrar y permitir el asentamiento de las partículas de suelo del agua cargado con sedimentos. El propósito es prevenir que el suelo erosionado sea transportado fuera del sitio de construcción por el derramamiento de agua.

9.2. Requerimientos para el Geotextil. El geotextil usado para barreras temporales contra sedimentos puede estar apoyado entre postes con cables o mallas poliméricas entre sí. El geotextil para barreras temporales contra sedimentos debe cumplir con los requerimientos de la Tabla 7. Todos los valores numéricos representan los VMPR en la dirección principal más débil. Los valores del TAA representan los valores máximos promedios por rollo.

9.3. Debe efectuarse una observación en campo para verificar que la colocación del sistema blindado no dañe al geotextil. La altura mínima sobre el piso para todas las barreras contra sedimentos debe ser de 750 mm. La profundidad de empotramiento mínima debe ser de 150 mm. Refiérase al Apéndice para unos requerimientos de instalación más detallados.

10. REQUERIMIENTOS PARA GEOTEXTILES DE PAVIMENTACION

10.1. Descripción. Esta especificación es aplicable al uso de telas para pavimentación saturadas con cemento asfáltico entre dos capas de pavimento. La función de la tela para pavimentación es la de actuar como una membrana impermeable y aliviadora de esfuerzos dentro de una estructura de pavimento. Esta especificación no tiene por intención describir los sistemas de membrana específicamente diseñados para las

juntas de pavimentos y reparaciones locales.

10.2. Requerimientos para el Geotextil de Pavimentación. La tela para pavimentación debe cumplir con los requerimientos de la Tabla 8. Todos los valores numéricos en la Tabla 8 representan los VMPR en la dirección principal más débil.

APÉNDICE

GUÍAS DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN

A 1. GENERAL

A 1.2. Este Apéndice tiene por objeto ser utilizado junto con la especificación AASHTO M288-05 para geotextiles. La especificación detalla las propiedades de los materiales para los geotextiles usados en drenaje, control de erosión, separación / estabilización, barreras contra sedimentos y aplicación de geotextiles para pavimentación. Las propiedades de los materiales son solo un factor en una instalación exitosa que involucre a los geotextiles. Las técnicas adecuadas de instalación y construcción son esenciales con el fin de asegurar que la función con la cual va a cumplir el geotextil sea cumplida.

A1.2 Identificación, Embalaje y Almacenaje del Geotextil

A 1.2.1. Refiérase a la norma ASTM D 4873

A 1.3. Exposición del Geotextil después de su Colocación

A 1.3.1. La exposición atmosférica de los geotextiles a los elementos después de su colocación en el sitio deberá ser como máximo de 14 días para minimizar daños potenciales.

A 1.4. Juntas

A 1.4.1. Si se va a efectuar una junta con costura para la unión del geotextil, el hilo debe consistir de polipropileno o poliéster de alta resistencia. El hilo de nylon no debe ser usado. Para las aplicaciones de control de erosión el hilo también debe ser resistente a la radiación



ultravioleta. El color del hilo debe contrastar con el del geotextil mismo.

A 1.4.2. Para las juntas con costuras que vayan a ser realizadas en el sitio, el contratista debe suministrar al menos 2 metros de longitud de la junta cosida para ser analizada por el Ingeniero antes de que el geotextil sea instalado. Para las juntas que sean cosidas en la fábrica el Ingeniero debe obtener muestras de las juntas hechas en la fábrica aleatoriamente de cualquier rollo de geotextil que sea usado en la obra.

A 1.4.2.1. Para las juntas que sean cosidas en el campo, las juntas cosidas utilizadas para el muestreo deben ser cosidas utilizando el mismo equipo y procedimiento que los que serán usados para las juntas en el sitio. Si las juntas se cosen en el sentido longitudinal y transversal, se deberá suministrar las muestras de ambos sentidos.

A 1.4.2.2. La descripción del ensamblaje de la junta debe ser suministrada por el Contratista junto con la muestra de la junta. La descripción debe incluir el tipo de la junta, el hilo para la costura y la densidad de las puntadas.

A 2. GEOTEXTILES PARA DRENAJE (Ver las Secciones 8.1 y 8.2)

A 2.1. Construcción

A 2.1.1. La excavación de la trinchera debe ejecutarse de acuerdo con los detalles de los planos del proyecto. En todos los momentos la excavación debe ser hecha de tal manera que se prevengan grandes vacíos en los lados y el fondo de la trinchera. La superficie gradada debe ser suave y libre de escombros.

A 2.1.2. Durante la colocación del geotextil para aplicaciones de drenaje, el geotextil debe colocarse suelto sin arrugas ni dobleces y sin espacios vacíos entre el geotextil y la superficie de contacto con el suelo. Los rollos o mantas de geotextil sucesivos, deben traslaparse al menos 300 mm, con la manta de geotextil aguas arriba cubriendo a la manta aguas abajo.

A 2.1.2.1. En las trincheras mayores o iguales a los 300 mm de ancho, después de colocar el agregado el geotextil debe ser doblado sobre la parte superior del agregado de tal forma que se produzca un traslapo mínimo de 300 mm. En trincheras con anchos entre 100 mm y 300 mm, el traslapo debe ser igual al ancho de la trinchera. Cuando el ancho de la trinchera sea menor que los 100 mm el traslapo del geotextil debe ser hecho mediante costura o pegado con calor. Todas las juntas deben ser aprobadas por el Ingeniero.

A 2.1.2.2. Puesto que el geotextil podría dañarse durante la instalación o la colocación del agregado para el drenaje, se debe colocar sobre el área dañada un parche con el mismo geotextil extendiéndose unos 300 mm más allá del área afectada, o el traslapo especificado con costura, cualquiera que sea el mayor.

A 2.1.3. La colocación del agregado para drenaje debe seguir inmediatamente después de la colocación del geotextil. El geotextil debería ser cubierto con un mínimo de 300 mm de agregado suelto antes de la compactación. Si se va a instalar una tubería colectoras perforada en la trinchera, se debe colocar una capa de apoyo con el agregado drenante por debajo de la tubería, con el agregado restante colocado hasta la profundidad de construcción mínima requerida.

A 2.1.3.1. El agregado debería ser compactado con equipos vibratorios hasta alcanzar un mínimo del 95% del estándar AASHTO a menos que la trinchera se requiera para soporte estructural. Si se exige un esfuerzo de compactación mayor, se necesitará usar un geotextil Clase 1 de la Tabla 1 de esta especificación.

A 2.1.4. Las Figuras A1 hasta la A3 ilustran los diferentes detalles en la aplicación de geotextiles para sistemas de drenaje.

A 3. GEOTEXTILES PARA SEPARACIÓN / ESTABILIZACIÓN (Ver las Secciones 8.1, 8.3 y 8.4)

A 3.1. Construcción

A 3.1.1. El sitio de la instalación debe prepararse mediante la limpieza, eliminación de raíces y la excavación o llenado del área hasta alcanzar la superficie de rasante especificada en el diseño. Esto incluye la remoción del suelo de cobertura y la vegetación.

NOTA 1- Los puntos blandos y las áreas inadecuadas serán identificados durante la preparación del sitio o las subsecuentes pruebas de compactación. Estas áreas deben ser excavadas y rellenadas con material seleccionado y compactadas siguiendo los procedimientos normales.

A 3.1.2. El geotextil debe ser colocado sobre la subrasante preparada, suelto y libre de arrugas y dobleces en la dirección del tráfico de la construcción. Los rollos adyacentes de geotextil deben traslaparse, coserse o unirse según los requerimientos de los planos. Ver la Tabla A1 para los requerimientos de traslapos.

A 3.1.2.1. En las curvas el geotextil puede doblarse o cortarse para conformar las curvas. El doblez o el traslapo se realiza en la dirección de la construcción y mantenido en su sitio por pasadores, grapas o con montones hechos con el material de relleno o rocas.

A 3.1.2.2. Antes de la cobertura, el geotextil debe ser inspeccionado por un inspector certificado o por el Ingeniero Supervisor, para asegurar que el geotextil no haya sido dañado durante la instalación (p.e., Agujeros, Rasgaduras, Uniones Descosidas, etc.). La inspección deberá ser hecha por la Supervisión o por el representante designado por ellos.

Los geotextiles dañados, como lo haya identificado el Supervisor, deben ser reparados inmediatamente. Cubra el área dañada con un parche de geotextil que se extienda más allá del área afectada en una cantidad igual al traslapo requerido.



A 3.1.3. La sub-base debe colocarse descargando sobre el geotextil comenzando desde sus bordes o sobre un agregado de sub-base previamente colocado. No se permite el contacto directo de los vehículos de construcción con el geotextil. La sub-base debe ser colocada de tal forma que, en todo momento se tenga por lo menos el espesor mínimo de capa de compactación, entre el geotextil y las llantas de los equipos. No se permitirá el giro de los vehículos sobre la primera capa de compactación por encima del geotextil.

NOTA 2 – En subrasantes con CBR < 1, el agregado de la sub-base debe extenderse en su espesor total tan pronto como sea posible después del descargue con el fin de minimizar el potencial de una falla localizada de subrasante debido a una sobrecarga sobre la misma.

A 3.1.3.1. Si se presentan ahuellamientos durante la construcción, estos deben ser llenados con material de sub-base y compactados hasta una densidad especificada.

A 3.1.3.2. Si la colocación del material de relleno causa daños al geotextil, el área dañada debe ser reparada tal como se describió previamente en la sección A 3.1.2.1. Los procedimientos de colocación deben ser entonces modificados para eliminar posibles daños adicionales (p.e., incremento el espesor de la capa inicial, disminuya las cargas por equipos, etc.).

NOTA 3 - En las aplicaciones de estabilización, no se recomienda el uso de vibro-compactadores en la construcción de la primera capa de la sub-base, ya que esto puede causar daños al geotextil.

A 4. GEOTEXTILES PARA CONTROL DE EROSIÓN (Ver la Sección 8.5)

A 4.1. Construcción

A 4.1.1. El geotextil deberá ser colocado en íntimo contacto con el suelo, sin arrugas ni dobleces, sobre

una superficie gradada lisa, aprobada por el Ingeniero Supervisor. El geotextil debe ser colocado de manera que, el llenado de los materiales encima de él, no lo estire hasta rasgarlo. El anclaje de los bordes del geotextil deberá realizarse a través del uso de zanjas de anclaje o vasta en la cima y cuña en la base de la pendiente. Para detalles de construcción ver figuras A4 a A7.

NOTA 4 - En ciertas aplicaciones, para acelerar la construcción, han sido usadas con éxito, estacas de anclaje de 450 mm colocadas cada 600 mm a 1,800 mm, dependiendo de la pendiente del área a cubrir.

A 4.1.1.1 El geotextil será colocado con su dirección de máquina (MD) paralelo a la dirección del flujo de agua, el que normalmente es paralelo a la pendiente por corrimiento de control de erosión y acción de la ola (Figura A4), y paralelo a la corriente o canal en el caso de cauces y protección de canales (Figura A6). Mantas de geotextil adyacentes deberán unirse por costura o traslape. Los traslapes al final de rollo (transversales) deberán tener un mínimo de 300 mm, excepto cuando se colocan bajo agua, en cuyo caso se usará un traslape mínimo de 1 mt.. Traslape de rollos adyacentes (longitudinal) será de mínimo 300 mm, en todos los casos.

NOTA 5 – Cuando se traslapen mantas sucesivas de geotextil, deberán ser traslapando la de aguas arriba sobre la de aguas abajo, y/o pendiente arriba sobre la de pendiente abajo. En casos donde la acción de la ola o el flujo multidireccional son previsibles, todas las juntas perpendiculares a la dirección del flujo deberán ser cosidas.

A 4.1.1.2. Se debe tener cuidado durante la instalación, como evitar daño en el geotextil como resultado del proceso de instalación. Si se dañara el geotextil durante la instalación, se colocará un parche de geotextil, sobre el área dañada,

extendiéndose 1 mt. Más allá del perímetro dañado.

A 4.1.2. El sistema armado colocado debe empezar al pie y continuar pendiente arriba. La colocación debe ser hecha de manera que evite estiramiento y posterior rasgado del geotextil. Rellenos de tipo Rip Rap y piedras pesadas no deben caer de alturas mayores a 300 mm. Piedras de masa superior a 100 Kg no deberán ser permitidas de rodar por el talud.

A 4.1.2.1. La protección de talud y piedras pequeñas de relleno no deberán caer de alturas mayores a 1 mt., o se proveerá una demostración que pruebe que los procedimientos de instalación no dañarán al geotextil. En aplicaciones submarinas, el geotextil y el material de relleno deberán ser colocados el mismo día. Todos los espacios vacíos en el blindaje de piedra deben ser llenados con piedras de menor tamaño, para asegurar la cobertura.

A 4.1.2.2. Luego de la colocación del blindaje de piedras, reducción de la pendiente no será permitido, si el perfilado resulta en movimientos de las piedras directamente sobre el geotextil.

A 4.1.3. Monitoreo de campo deberá ser hecho para verificar que el sistema de blindaje no dañe al geotextil.

A4.1.3.1. Cualquier daño al geotextil durante la colocación del relleno, será reemplazado, según dirección del Supervisor, a expensas del contratista.

A 5. GEOTEXTILES PARA DEFENSAS DE ARCILLA (Ver la Sección 9)

A 5.1. Requerimientos de materiales relacionados:

A 5.1.1. Postes de soporte de madera, acero o sintéticos de largo mínimo de 1 mt. más la profundidad enterrada que pueda usarse. Estos deberán poseer la suficiente fuerza para resistir daños durante la instalación, soportar las cargas aplicadas por el material acumulado detrás de la defensa de arcillas.



NOTA 6 – Se ha encontrado rendimiento satisfactorio en postes de madera dura, de dimensiones mínimas de 30x30 mm, Pino Sureño No. 2, de dimensiones mínimas de 30x65 mm o postes de acero UTL de forma C, pesando 600 gr por 300mm.; cuando han sido utilizados como postes de soporte.

A5.1.2. Soportes de defensa de alambre o polímeros deben tener una altura mínima de 750 mm, lo suficientemente fuertes para soportar la carga aplicada. Los soportes de defensa de polímeros deberán tener, por lo menos, las mismas resistencias a la degradación ultravioleta que el geotextil.

NOTA 7 – Se ha encontrado rendimiento satisfactorio en soportes de defensa de alambres con un mínimo de 6 alambres horizontales, #14. Alambres verticales deberán tener un distanciamiento mínimo de 50 mm.

A 5.2. Construcción:

A5.2.1. La parte inferior del geotextil de la defensa deberá ser enterrado en una profundidad mínima de 150 mm en una zanja de manera que el flujo de agua no pase bajo la defensa de arcilla. La zanja deberá rellenarse y el suelo compactarse sobre el geotextil.

A5.2.1.1. El geotextil podrá empalmarse por costuras, solo en el poste de soporte, o, en cambio, traslapar dos secciones de la cerca, en dichos postes.

A5.2.1.2 El contratista debe demostrar a satisfacción del Supervisor que el geotextil puede resistir la carga anticipada de sedimentos.

A5.2.1.3. Ver Figura A8 por detalles.

A5.2.2. Los postes deberán colocarse según espaciamiento indicado en los planos del proyecto. Los postes se enterrarán un mínimo de 500 mm dentro del suelo. La profundidad se incrementará a 600 mm si la cerca es colocada en una pendiente mayor a 3:1.

NOTA 8 – Cuando la profundidad de 500 mm es imposible de alcanzar, los postes deberán ser adecuadamente asegurados para prevenir volteo de la cerca debido a la carga del sedimento.

A5.2.3. El soporte de la cerca debe fijado asegurándolo al lado pendiente arriba de los postes de la cerca. El soporte de la cerca debe extenderse de la superficie del suelo a la parte superior del geotextil.

A5.2.4. Cuando se use cerca auto soportada, el geotextil debe asegurarse fijándolo a los postes de la cerca.

A5.2.5. Las defensas de arcilla deben ser continuas y transversales al flujo. La defensa de arcilla debe seguir el contorno del sitio tan cerca como sea posible. La cerca debe también, ser colocada de manera que el agua no pueda correr alrededor del extremo de ella.

A5.2.5.1. Las defensas de arcilla deberá limitarse a manejar un área equivalente a 90 metros cuadrados por 3 metros de cerca. Se debe tener precaución donde la pendiente sea mayor a 1:1, y el flujo de agua exceda los 3 litros por segundo por 3 metros de cerca.

A 5.3. Mantenimiento:

A5.3.1. El contratista deberá inspeccionar todas las barreras temporales de arcilla inmediatamente después de cada precipitación, y por lo menos, a diario, durante una precipitación prolongada. Cualquier deficiencia deberá ser corregida inmediatamente por el contratista.

A5.3.1.1. El contratista deberá hacer una revisión diaria de la localización de las defensas de arcilla en áreas donde las actividades de construcción han alterado el contorno natural y la corriente de drenaje, para asegurar que las defensas de arcilla están apropiadamente localizadas, por eficiencia. Donde existan deficiencias, determinadas por el Supervisor, defensas de arcilla adicionales deberán ser instaladas, según instrucciones del Supervisor.

A5.3.1.2. Defensas de arcilla dañada o ineficiente, deberán ser

reparadas o reemplazadas con prontitud.

A5.3.2. Los depósitos de sedimentos pueden ser removidos cuando alcanzan la mitad de la altura de la cerca, o una segunda defensa de arcilla podrá ser instalada, según instrucciones del Supervisor.

A5.3.3. Las defensas de arcilla deben permanecer en su lugar, hasta que el Supervisor autorice su remoción. Luego de la remoción, el contratista debe retirar y disponer de cualquier acumulación de sedimento, preparar el área para darle una apariencia placentera, y revegetar toda área descubierta, de acuerdo a los requerimientos del contrato.

A5.3.3.1. Defensas de arcilla removidas pueden ser usadas en otras locaciones a condición de que los requerimientos, del geotextil y los otros materiales, se conserven, a satisfacción del ingeniero supervisor.

A 6. GEOTEXTILES PARA PAVIMENTACIÓN (Ver Sección 10)

A 6.1. Materiales:

A 6.1.1. El material sellante usado para impregnar y sellar al geotextil, como también para pegarlo al pavimento de base y la capa de repavimentación, debe ser un asfalto para pavimentación recomendado por el fabricante del geotextil y aprobado por el Ingeniero supervisor.

A 6.1.1.1. Los cementos asfálticos son los selladores preferidos, sin embargo pueden ser utilizadas las emulsiones asfálticas catiónicas o aniónicas teniendo en cuenta las precauciones que se describen en la Sección A6.3.3. Los cutbacks y emulsiones que contengan solventes no deberán ser usadas.

A 6.1.1.2. El tipo del cemento asfáltico especificado para el diseño de la mezcla caliente en cada localización geográfica es generalmente el material más aceptable.

A 6.1.2. Se puede esparcir arena lavada sobre un geotextil saturado con asfalto para facilitar el movimiento de los equipos durante la construcción o para prevenir el rasgado o la delaminación del



geotextil. También puede usarse el riego de mezcla caliente al frente de las llantas de los vehículos de construcción para que cumpla con este propósito. Si se aplica arena, las cantidades en exceso deben removerse del geotextil antes de colocar la superficie de rodadura.

A 6.1.2.1. Usualmente no se requiere de la arena. Sin embargo, las temperaturas ambiente ocasionalmente son lo suficientemente altas para causar una exudación del sellador asfáltico resultando en una adhesión indeseable del geotextil con las llantas de los vehículos.

A 6.2. Equipos

A 6.2.1. El irrigador de asfalto debe ser capaz de rociar el sellador asfáltico, a la tasa de aplicación especificada, uniformemente. No se permite salpicaduras, saltos ni veteados. El irrigador también debe estar equipado con un aspersor manual de boquilla sencilla y válvula de interrupción positiva.

A 6.2.2. El equipo mecánico o manual de instalación del geotextil debe ser capaz de instalarlo uniformemente.

A 6.2.3. Se deben suministrar los siguientes equipos misceláneos: Escobas de cuerda rígida o rodillos para uniformizar la superficie del geotextil; tijeras o cuchillas para cortar el geotextil; cepillos para aplicar el sellador asfáltico a los traslapes del geotextil.

A 6.2.4. Puede requerirse para ciertos trabajos equipos de compactación neumática para uniformizar la imprimación del geotextil con el sellador y equipos de sanding. El emparejar con rodillos es requerido especialmente en trabajos donde se coloquen capas delgadas o chip seals. El emparejamiento con rodillos ayuda a la adhesión del geotextil a las capas de pavimento adyacentes en la ausencia de peso y calor asociados con capas más gruesas de pavimento asfáltico.

A 6.3. Construcción

A 6.3.1. Ni el sellador asfáltico ni el geotextil deben colocarse cuando las condiciones del tiempo a juicio del Ingeniero Supervisor no sean las adecuadas. Las temperaturas del aire

y del pavimento deben ser las suficientes para permitir que el sellador asfáltico haga que el geotextil permanezca en su sitio. Para los cementos asfálticos la temperatura ambiente debe ser de 10°C o mayor. Para las emulsiones asfálticas la temperatura debe ser de 15°C o mayor.

A 6.3.2. La superficie sobre la cual el geotextil va a ser colocado, debe estar razonablemente libre de mugre, agua, vegetación u otro tipo de escombros. Las fisuras que excedan los 3 mm de ancho deben rellenarse con un llenante adecuado para fisuras. Los baches deben repararse adecuadamente, según indicaciones del Ingeniero supervisor. Debe permitirse el curado del sellador antes de la colocación del geotextil.

A 6.3.3. La tasa especificada para la aplicación del sellador asfáltico debe ser suficiente para satisfacer las propiedades de retención asfáltica del geotextil y adherir el geotextil y la capa de repavimentación con el pavimento antiguo.

NOTA 9 – Cuando se usen emulsiones, la tasa de aplicación debe incrementarse para compensar el contenido de agua de la emulsión.

A 6.3.3.1. La aplicación del sellador debe ser hecha mediante una flauta irrigadora, evitando al máximo la aplicación manual. La temperatura del sellador asfáltico debe ser suficientemente alta para permitir un patrón uniforme de riego. Para los cementos asfálticos la temperatura mínima debe ser de 145°C. Para evitar daños al geotextil, las temperaturas del tanque distribuidor no deben exceder los 160°C.

A 6.3.3.2. Los patrones de riego con emulsiones asfálticas son mejorados con calentamiento. Es deseable un rango de temperaturas entre 55°C y 70°C. No debe excederse una temperatura de 70°C puesto que a partir de esta puede romperse la emulsión.

A 6.3.3.3. El ancho de la aplicación para el sellante asfáltico debe ser el ancho del rollo de geotextil más 150 mm. No debe aplicarse el

sellador asfáltico a una distancia mayor a aquella que el contratista pueda mantener libre de tráfico.

A 6.3.3.4. Debe limpiarse los derrames de asfalto de la superficie de la vía para evitar la sobresaturación y movimientos del geotextil.

A 6.3.3.5. Cuando se usan emulsiones asfálticas, la emulsión debe curar antes de colocar el geotextil y la superficie de rodadura. Esto significa esencialmente que no debe quedar humedad residual.

A 6.3.4. El geotextil debe colocarse sobre el sellante asfáltico con un arrugamiento mínimo antes de que el asfalto se haya enfriado y perdido pegajosidad. Según lo indique el Supervisor, las arrugas o dobleces que excedan los 25 mm deben cortarse y dejarse planos.

A 6.3.4.1. El alisado con escobas, o el emparejamiento con rodillos, se requerirá para maximizar el contacto del geotextil con la superficie del pavimento antiguo.

A 6.3.4.2. El traslape de las uniones del geotextil debe ser suficiente para asegurar un cierre total en la junta, pero no debería exceder los 150 mm. Las juntas transversales deben ser traslapadas en la dirección de la pavimentación para evitar que el borde sea levantado por la máquina pavimentadora. Se requerirá una segunda aplicación del sellador asfáltico en los traslapes entre el geotextil si a juicio del Ingeniero Supervisor se requiere una cantidad adicional para asegurar una pega adecuada de la doble capa de geotextil.

A 6.3.4.3. La remoción y el reemplazo del geotextil que se dañe será responsabilidad del contratista.

NOTA 10 – Los problemas asociados con arrugas son relacionados al espesor de la capa de asfalto que ha sido colocada sobre el geotextil. Cuando las arrugas son lo suficientemente grandes como para ser dobladas deberá colocarse suficiente liga, como para satisfacer lo requerido por las capas múltiples de geotextil. Por esto las arrugas deberán cortarse y aplanarse.



Suficiente sellador asfáltico deberá ser regado, sobre el geotextil, para satisfacer el requerimiento del geotextil traslapado.

NOTA 11 – En el traslapado de rollos adyacentes es deseable mantener una dimensión de traslapo tan pequeño como sea posible, y aún mantener un recubierto positivo. Si la dimensión de traslapado es muy grande, se puede presentar un problema de insuficiente liga para satisfacer las dos capas de geotextil y el pavimento antiguo. Si se presenta este problema se debe colocar una cantidad adicional de liga, a la zona de traslapo. En la colocación adicional de liga, se deberá tener cuidado de no aplicarla en exceso, ya que causaría exudación.

A6.3.4.4. El tráfico sobre el geotextil solo se permitirá para vehículos de emergencia y de construcción.

A6.3.5. La colocación de la mezcla caliente debe seguir inmediatamente a la colocación del geotextil. La temperatura de la mezcla no debe exceder los 160°C. Dado el caso que el asfalto se exude a través del geotextil causando problemas constructivos antes de colocar la carpeta de repavimentación, las áreas afectas deben ser secadas mediante el riego de arena. Para evitar movimientos o daños del geotextil saturado con el sellador, los giros de la pavimentadora y otros equipos deben ser graduales y mantenerse al mínimo.

A6.3.6. Antes de colocar el recubrimiento con el sellador (o una capa de repavimentación delgada tal como capa friccionante de gradación abierta), riegue ligeramente con arena el geotextil a una tasa de 0.65 a 1.0 kg/m².

“Si es aprobado por el Ingeniero, El geotextil saturado con el sellador puede darse al tráfico de 24 a 48 horas antes de instalar la capa de rodadura. Deben colocarse señales de advertencia que avisen al conductor que la superficie puede ser lisa cuando está húmeda. Las señales también deben advertir sobre la velocidad de seguridad adecuada. El exceso de arena debe ser barrido antes de colocar la capa de repavimentación. Si a juicio del Ingeniero, la superficie de la tela parece seca y carece de pegajosidad después de su exposición al tráfico, debe aplicarse una capa ligera de pega antes de colocar la capa de repavimentación”.

CONSEJO

Se recomienda que por razones de seguridad, no sea permitido el tráfico re el geotextil. Sin embargo si la agencia de contratación elige permitir el tráfico, se recomienda la siguiente acotación:



TABLA 1 Requerimientos para las Propiedades de Resistencia de los Geotextiles

	Método de Ensayo	Unidades	Clase de Geotextil ^{(1),(2)}					
			Clase 1		Clase 2		Clase 3	
			Elongación < 50% ⁽³⁾	Elongación > 50% ⁽³⁾	Elongación < 50% ⁽³⁾	Elongación > 50% ⁽³⁾	Elongación < 50% ⁽³⁾	Elongación > 50% ⁽³⁾
Resistencia Grab	ASTM D 4632	N	1400	900	1100	700	800	500
Resistencia de la Costura ⁽⁴⁾	ASTM D 4632	N	1260	810	990	630	720	450
Resistencia al Rasgado	ASTM D 4533	N	500	350	400 ⁽⁵⁾	250	300	180
Resistencia al Punzado	ASTM D 6241	N	2750	1925	2200	1375	1650	990
Permisividad	ASTM D 4491	s ⁻¹	Los valores mínimos de las propiedades para la Permisividad, TAA y Estabilidad UV están basados en la aplicación para el geotextil. Refiérase a la Tabla 2 para el drenaje subsuperficial, las Tablas 3 y 4 para la Separación, la Tabla 5 para la Estabilización y la Tabla 6 para el Control de Erosión Permanente.					
Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D 4751	mm						
Estabilidad Ultravioleta	ASTM D 4355	%						

⁽¹⁾ La clase requerida de geotextil esta designada en las Tablas 2, 3, 4, 5 o 6, para las aplicaciones indicadas. La severidad de las condiciones de instalación para la aplicación generalmente requiere una clase de geotextil. Clase 1 esta especificada para las condiciones de instalación más severa, donde existe un gran potencial de daño del geotextil, y clases 2 y 3, son especificadas para condiciones menos severas.

⁽²⁾ Todos los valores numéricos representan el VMPR (Valor Mínimo Promedio por Rollo), en la dirección más débil (Ver Sección 8.1.2).

⁽³⁾ Medido de acuerdo al ASTM D4632.

⁽⁴⁾ Cuando juntas cosidas son requeridas, referirse al Apéndice para requerimientos para traslapos cosidos.

⁽⁵⁾ El VMPR requerido para resistencia al Rasgado Trapezoidal, para geotextiles tejidos de monofilamentos, es de 250 Newtons.



TABLA 2. Requerimientos para el Geotextil en Drenaje Subsuperficial

Clase del Geotextil	Método de Ensayo	Unidades	Requerimientos		
			Porcentaje de Suelo In-Situ que pasa Tamiz No. 200 (0.075 mm) ⁽¹⁾		
			< 15	15 a 50	> 50
			Clase 2 de la Tabla 1 ⁽²⁾		
Permitividad ^{(3) (4)}	ASTM D 4491	s ⁻¹	0.5	0.2	0.1
Tamaño de Abertura Aparente ^{(3) (4)}	ASTM D 4751	mm	0.43 Valores máx. prom. por rollo	0.25 Valores máx. prom. por rollo	0.22 ⁽⁵⁾ Valores máx. prom. por rollo
Estabilidad Ultravioleta (Resistencia Mantenido)	ASTM D 4355	%	50% después de 500 horas de exposición		

⁽¹⁾ Basado en el análisis granulométrico del suelo in-situ de acuerdo con la AASHTO T 88

⁽²⁾ Selección por omisión del geotextil. El ingeniero puede especificar un geotextil Clase 3 de la Tabla 1 para aplicaciones de drenaje en trincheras basado en uno o más de los siguientes conceptos:

- a) El ingeniero ha encontrado que los geotextiles Clase 3 tienen una supervivencia suficiente basada en la experiencia en campo.
- b) El ingeniero ha encontrado que los geotextiles Clase 3 tienen una supervivencia suficiente basada en ensayos de laboratorio y la inspección visual de una muestra de geotextil removida de una sección de ensayo en el campo construida anticipadamente bajo unas condiciones de campo.
- c) La profundidad del subdren es menor de 2.0 m, el diámetro del agregado es menor de 30 mm y los requerimientos de compactación son menores del 95% de la AASHTO T 99.

⁽³⁾ Estos valores por omisión para las propiedades en filtración están basados en los tamaños de las partículas predominantes de un suelo in-situ. Adicionalmente al valor por omisión para la permitividad, el Ingeniero puede requerir de la permeabilidad del geotextil y/o ensayos de desempeño basado en la ingeniería de diseño para sistemas de drenaje en ambientes de suelos problemáticos.

⁽⁴⁾ Debería efectuarse un diseño del geotextil para un sitio específico especialmente si uno o más de los siguientes suelos problemáticos son encontrados: suelos inestables o altamente erosionables tales como los limos no cohesivos; suelos de gradación abierta; suelos laminados alternando arenas y limos; arcillas dispersivas y/o polvo de roca.

⁽⁵⁾ Para los suelos cohesivos con un índice de plasticidad mayor a 7, el valor máximo promedio por rollo (VMPR) es de 0.30 mm.



TABLA 3. Requerimientos para las Propiedades del Geotextil en Separación

	Método de Ensayo	Unidades	Requerimientos
Clase del Geotextil			Ver Tabla 4
Permitividad	ASTM D 4491	s ⁻¹	0.02 ⁽¹⁾
Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D 4751	mm	0.60 valor máx. prom. por rollo
Estabilidad Ultravioleta (Resistencia Mantenido)	ASTM D 4355	%	50% después de 500 horas de exposición

⁽¹⁾ Valor por omisión. La permisividad del geotextil debería ser mayor que la del suelo ($\psi_g > \psi_s$). El Ingeniero también puede exigir que la permeabilidad del geotextil sea mayor que la del suelo ($k_g > k_s$).

TABLA 4. Requerimientos para Grado de Supervivencia en función de Condiciones de Subrasante, Equipo de Construcción y Espesores de Elevación (las propiedades de Clases 1, 2 y 3 se dan en la Tabla 1; las propiedades de Clase 1+ son mayores que el Clase 1, pero no estas definidas por ahora) ⁽¹⁾

	Equipo de Presión de Tierra Baja ≤ 25 kPa (3.6 psi)	Equipo de Presión de Tierra Media > 25 a ≤ 50 kPa (> 3.6 a ≤ 7.3 psi)	Equipo de Presión de Tierra Alta > 50 kPa (> 7.3 psi)
La Subrasante ha sido limpiada de todo obstáculo excepto césped, mala hierba, hojas, y restos finos de madera. La superficie esta lisa y nivelada de manera que cualquier depresión superficial y protuberancia no exceden los 450 mm (18 pulgadas), en profundidad o altura. Toda depresión mayor será llenada. Alternativamente se puede colocar una capa de nivelación.	Bajo (Clase 3)	Moderado (Clase 2)	Alto (Clase 1)
La Subrasante ha sido limpiada de todo obstáculo mas grande que ramas o piedras de tamaño pequeño a moderado. Troncos de árbol y cepas deberán ser removidos o cubiertos por la capa de nivelación. La depresiones y protuberancias no exceden los 450 mm (18 pulgadas), en profundidad o altura. Mayores depresiones deberán ser llenadas. Preparación mínima de Terreno requerida. Los árboles derribados, delimitados y dejados en el lugar. Las cepas deberán ser cortadas para no proyectar mas de 150 mm (6 pulgadas por encima de la subrasante. El Geotextil puede cubrir directamente los troncos de árbol, cepas, grandes depresiones y protuberancias, huecos, canaletas y grandes piedras. Los elementos solo deberán ser removidos si la colocación del Geotextil y el material de cobertura, sobre ellos, distorsionará la superficie terminada del pavimento.	Moderado (Clase 2)	Alto (Clase 1)	Muy Alto (Clase 1+)
	Alto (Clase 1)	Muy Alto (Clase 1+)	No Recomendado

- (1)** Las recomendaciones son para espesores de elevación inicial de 150 a 300 mm (6" a 12"). Para otros espesores:
- a) 300 a 450 mm (12" a 18"): reducir requerimientos de supervivencia un nivel.
 - b) 450 a 600 mm (18" a 24"): reducir requerimientos de supervivencia dos niveles.
 - c) > a 600 mm (24"): reducir requerimientos de supervivencia tres niveles.

Para técnicas especiales de construcción, incremente los requerimientos de supervivencia del Geotextil un nivel. La colocación, en exceso, de un espesor inicial de material de cobertura puede causar falla por soporte en subrasantes blandas.



TABLA 5. Requerimientos para las Propiedades del Geotextil en Estabilización

	Método de Ensayo	Unidades	Requerimientos
Clase del Geotextil			Clase 1 de la Tabla 1 ⁽¹⁾
Permitividad	ASTM D 4491	s ⁻¹	0.05 ⁽²⁾
Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D 4751	mm	0.43 valor máx. Prom. por rollo
Estabilidad Ultravioleta (Resistencia Mantenido)	ASTM D 4355	%	50% después de 500 horas de exposición

⁽¹⁾ Selección por omisión del geotextil. El ingeniero puede especificar un geotextil Clase 2 o 3 de la Tabla 1, basado en uno o más de los siguientes conceptos:

- El ingeniero ha encontrado que la clase de los geotextiles tiene una supervivencia suficiente, basado en la experiencia en campo.
- El ingeniero ha encontrado que la Clase de los geotextiles tiene una supervivencia suficiente basada en ensayos de laboratorio y la inspección visual de una muestra de geotextil removida de una sección de ensayo en el campo construida anticipadamente bajo unas condiciones de campo.

⁽²⁾ Valor por omisión. La permisividad del geotextil debería ser mayor que la del suelo ($\psi_g > \psi_s$). El Ingeniero también puede exigir que la permeabilidad del geotextil sea mayor que la del suelo ($k_g > k_s$).



TABLA 6. Requerimientos para el Geotextil en Control Permanente de Erosión

	Método de Ensayo	Unidades	Requerimientos		
			Porcentaje de Suelo In-Situ que pasa Tamiz No. 200 (0.075 mm) ⁽¹⁾		
			< 15	15 a 50	> 50
Clase del Geotextil					
Geotextiles Tejidos Monofilamento				Clase 2, de la Tabla 1 ⁽²⁾	
Todos los demás Geotextiles				Clase 1, de la Tabla 1 ^{(2) (3)}	
Permitividad (1), (4)	ASTM D 4491	s ⁻¹	0.7	0.2	0.1
Tamaño de Abertura Aparente (3), (4), (5)	ASTM D 4751	mm	0.43 Valores máx. prom. por rollo	0.25 valores máx. prom. por rollo	0.22 ⁽⁵⁾ valores máx. prom. por rollo
Estabilidad Ultravioleta (Resistencia Mantenido)	ASTM D 4355	%	50% después de 500 horas de exposición		

⁽¹⁾ Basado en el análisis granulométrico del suelo in-situ de acuerdo con la AASHTO T 88

⁽²⁾ Como regla general, la selección por omisión del geotextil es apropiada para condiciones iguales o menos severas que las siguientes:

- a) La piedra del blindaje no pesa más de 100 Kg. , la altura de caída de las piedras no es mayor a 1 mt., y no se ha requerido una cama de agregado.
- b) La piedra del blindaje pesa más de 100 Kg., la altura de caída de las piedras no es mayor a 1 mt., y el geotextil es protegido por una cama de agregados de 150 mm, diseñado para ser compatible con la capa de blindaje. Aplicaciones más severas requieren una evaluación de la supervivencia del geotextil, basada en ensayos de campo, y podrían requerir un geotextil con propiedades de resistencia mayores.

⁽³⁾ El ingeniero puede especificar un geotextil Clase 2 de la Tabla 1 basado en uno o más de los siguientes conceptos:

- a) El ingeniero ha encontrado que los geotextiles Clase 2 tienen una supervivencia suficiente basada en la experiencia en campo.
- b) El ingeniero ha encontrado que los geotextiles Clase 2 tienen una supervivencia suficiente basada en ensayos de laboratorio y la inspección visual de una muestra de geotextil removida de una sección de ensayo en el campo construida anticipadamente bajo unas condiciones de campo.
- c) La piedra del blindaje pesa menos de 100 Kg, la altura de caída de las piedras no es mayor a 1 mt., y el geotextil es protegido por una cama de agregados de 150 mm, diseñado para ser compatible con la capa de blindaje.
- d) La piedra del blindaje no pesa más de 100 Kg, y la piedra es colocada directamente sobre el geotextil, sin dejarlas caer.

⁽⁴⁾ Estos valores por omisión para las propiedades en filtración están basados en los tamaños de las partículas predominantes de un suelo in-situ. Adicionalmente al valor por omisión para la permitividad, el Ingeniero puede requerir de la permeabilidad del geotextil y/o ensayos de desempeño basado en la ingeniería de diseño para sistemas de drenaje en ambientes de suelos problemáticos.

⁽⁵⁾ **a.** Debería efectuarse un diseño del geotextil para un sitio específico especialmente si uno o más de los siguientes suelos problemáticos son encontrados: suelos inestables o altamente erosionables tales como los limos no cohesivos; suelos de gradación abierta; suelos laminados alternando arenas y limos; arcillas dispersivas y/o polvo de roca.

⁽⁵⁾ **b.** Para los suelos cohesivos con un índice de plasticidad mayor a 7, el valor máximo promedio por rollo (VMPR) es de 0.30 mm.



TABLA 7. Requerimientos para el Geotextil en Defensas de Arcillas Temporales

	Método de Ensayo	Unidades	Requerimientos		
			Defensa de Arcilla Con Soporte ⁽¹⁾	Defensa de Arcilla Sin Soporte	
				Elongación del Geotextil $\geq 50\%$ ⁽²⁾	Elongación del Geotextil $< 50\%$ ⁽²⁾
Máximo Espaciamiento de Postes			1.2 mt.	1.2 mt.	2.0 mt.
Resistencia Grab	ASTM D 4632	N			
Dirección de la Maquina (MD)			400	550	550
Dirección Transversal (XD)			400	450	450
Permitividad ⁽³⁾	ASTM D 4491	s ⁻¹	0.05	0.05	0.05
Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D 4751	mm	0.60 Valor máx. prom. por rollo	0.60 valor máx. prom. por rollo	0.60 valor máx. prom. por rollo
Estabilidad Ultravioleta (Resistencia Mantenido)	ASTM D 4355	%	70% después de 500 horas de exposición		

⁽¹⁾ Los soportes de las Defensas de Arcilla consisten de alambre de acero #14, con un espaciamiento de malla de 150 mm por 150 mm, o mallas prefabricadas de polímeros, con una resistencia equivalente.

⁽²⁾ Medido de acuerdo al ASTM D4632.

⁽³⁾ Estos valores por omisión para las propiedades en filtración están basados en evidencia empírica con una variedad de sedimentos. Para áreas ambientales sensitivas, una revisión de experiencias previas y/o obras, o geotextiles específicos de la región, la agencia deberá hacer ensayos para confirmar que estos requerimientos son apropiados.



TABLA 8. Requerimientos para las Propiedades del Geotextil en Pavimentación (Ver NOTA 1)

	Métodos de Ensayo	Unidades	Requerimientos
Resistencia Grab	ASTM D 4632	N	450
Elongación en Rotura	ASTM D 4632	%	≥ 50
Masa por Unidad de Área	ASTM D 5261	g/m ²	140
Retención Asfáltica	ASTM D 6140	l/m ²	Notas 2 y 3
Punto de Fusión	ASTM D 276	°C	150

Notas:

1. Todos los valores numéricos representan el VMPR (Valor Mínimo Promedio por Rollo), en la dirección más débil (Ver Sección 9.2).
2. Únicamente el asfalto requerido para saturar al geotextil. La retención asfáltica debe ser suministrada en una certificación del fabricante (Refiérase a la Sección 5). El valor no indica la tasa de aplicación de asfalto requerido en la construcción. Refiérase al Apéndice para la discusión sobre la tasa de aplicación de asfalto.
3. La propiedad de retención asfáltica del producto debe cumplir con los VMPR suministrados en la certificación del fabricante (Refiérase a la Sección 5).

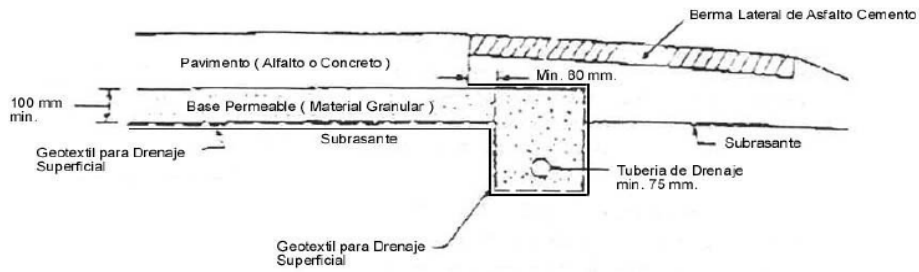


Fig. A1: Requerimientos del Geotextil de Drenaje para Bases Permeables.

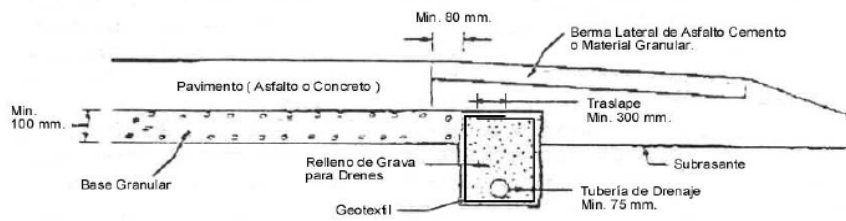


Fig. A2: Geotextil Envolviendo Dren Longitudinal

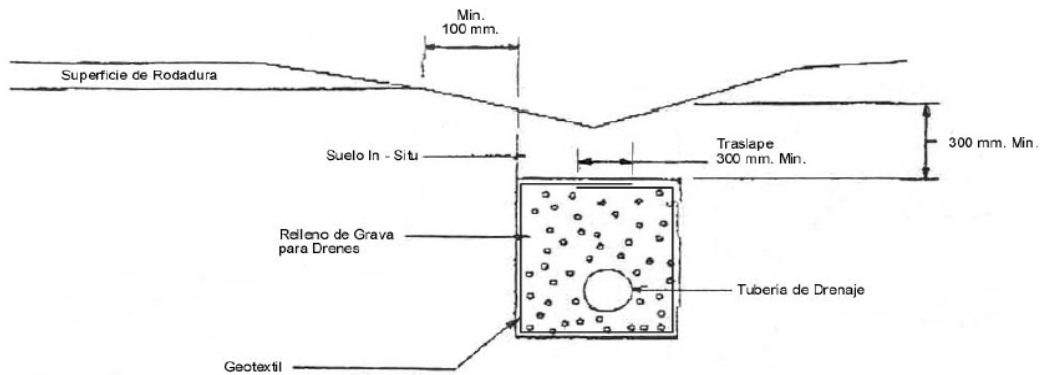


Fig. A3: Geotextil Envolviendo Subdren.

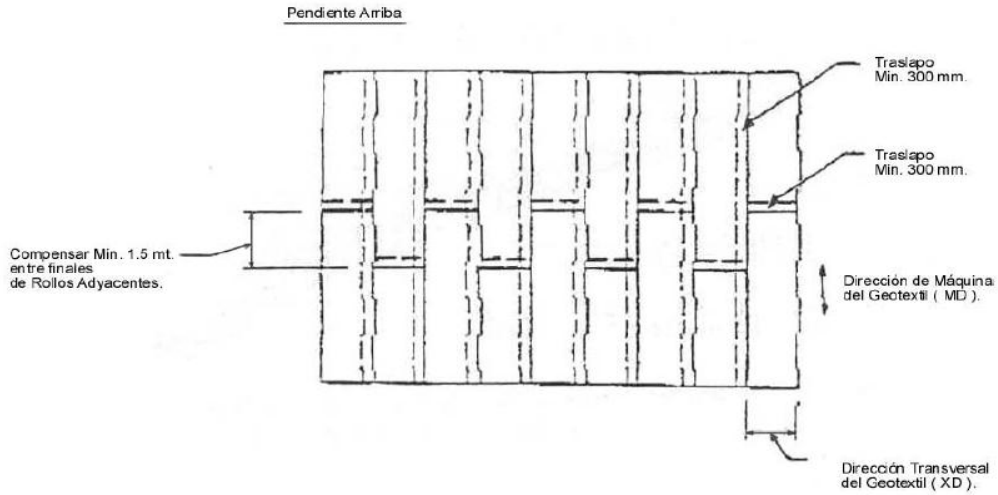


Fig. A4: Método de Colocación de Geotextil para Protección de Corte o Relleno de Taludes.

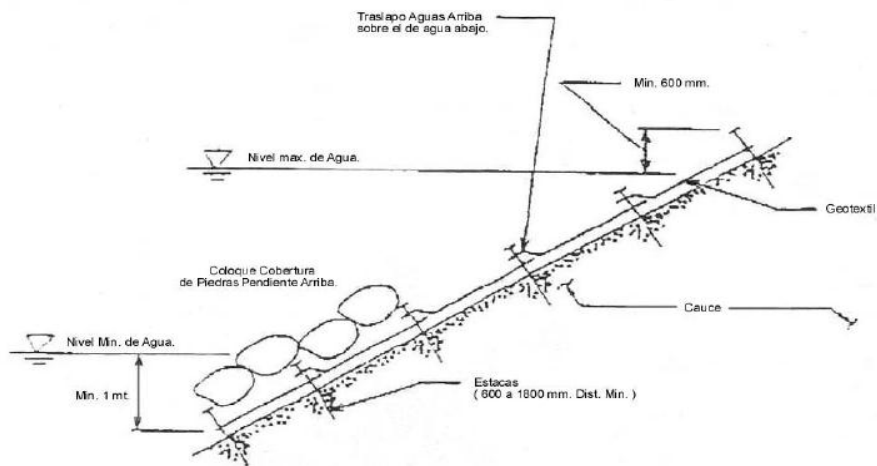


Fig. A5: Sección Transversal de Taludes con Enrocado (Rip Rap).



*Norma para la
Especificación de Geotextiles para Aplicaciones en Vías
DESIGNACIÓN AASHTO M288-05*

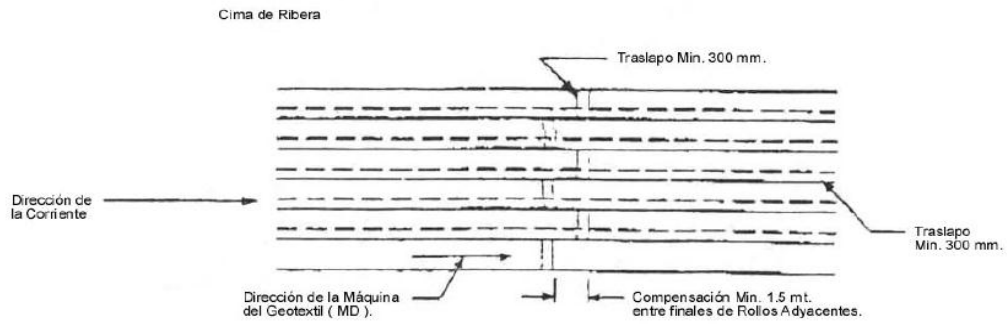


Fig. A6: Esquema de Colocación de Geotextil para Protección de Cauces.

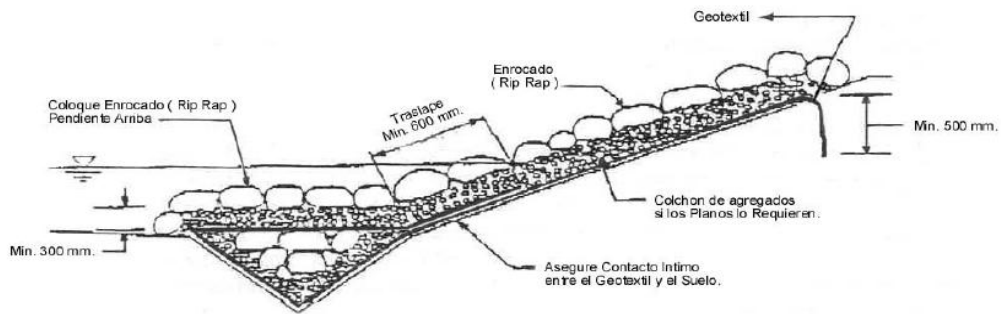


Fig. A7: Detalle de Cima y Pie de Talud, para Geotextiles usados en Control Permanente de Erosión.



Norma para la
Especificación de Geotextiles para Aplicaciones en Vías
DESIGNACIÓN AASHTO M288-05

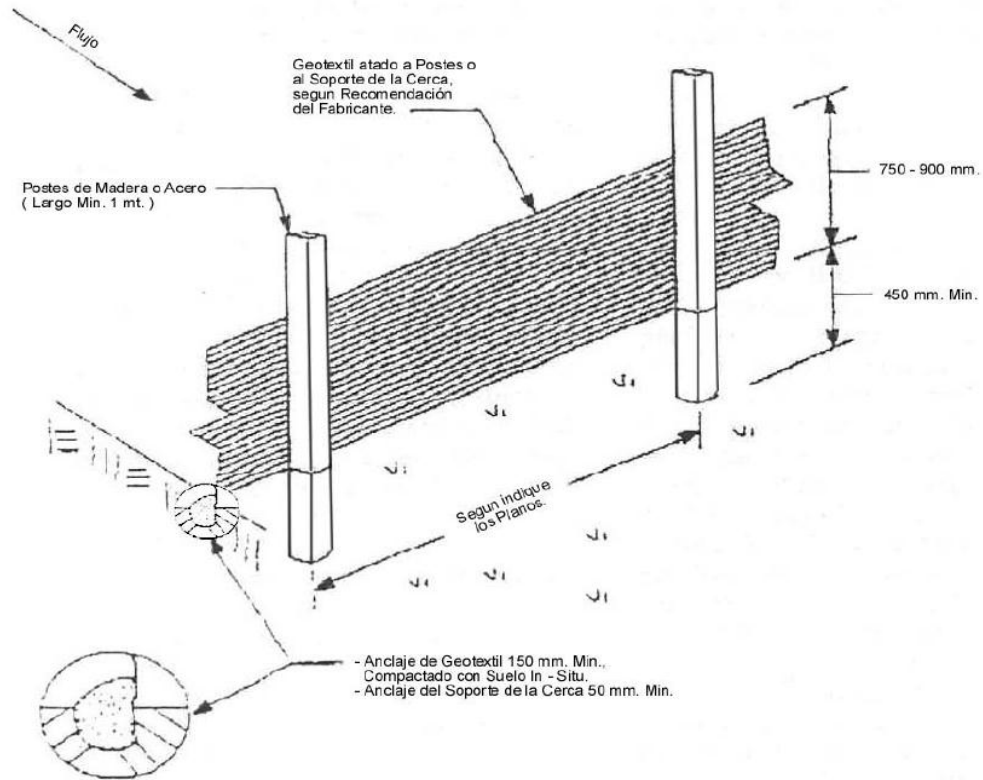


Fig. A8: Detalle Típico de Defensa de Arcilla

TABLA A1

CBR del Suelo	Traslape Mínimo
Mayor a 3	300 - 450 mm.
$1 < \text{CBR} < 3$	0.60 - 1.00 mt.
$0.5 < \text{CBR} < 1$	1.00 mt. o Costura
Menos de 0.5	Costura
Todos los extremos de rollos	1.00 mt. o costura



Standard Test Method for Deterioration of Geotextiles from Exposure to Ultraviolet Light and Water (Xenon-Arc Type Apparatus)¹

This standard is issued under the fixed designation D 4355; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the deterioration in tensile strength of geotextiles by exposure to ultraviolet light and water.

1.2 The light and water exposure apparatus employs a xenon-arc light source.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety problems, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 123 Terminology Relating to Textile²

D 1682 Test Methods for Breaking Load and Elongation of Textile Fabrics²

D 1898 Practice for Sampling of Plastics³

D 4439 Terminology for Geotextiles⁴

G 26 Practice for Operating Light-Exposure Apparatus (Xenon-Arc Type) With and Without Water for Exposure of Non-Metallic Materials⁵

3. Terminology

3.1 Description of a Term Specific to This Standard:

3.1.1 *geotextile*—any permeable textile material used with foundation, soil, rock, earth, or any other geotechnical engineering related material that is an integral part of a man-made product, structure, or system.

3.2 Definitions:

3.2.1 For definitions of other textile terms used in this test method, refer to Terminology D 123, for geotextile terms refer to Terminology D 4439.

4. Summary of Test Method

4.1 Specimens of geotextiles for the machine and cross directions are exposed for 0, 150, 300, and 500 h of ultraviolet exposure in a xenon-arc device. The exposure consists of 120-min cycles as follows: 90 min of light only, followed by 30 min of water spray and light.

4.2 There are five specimens tested for each total exposure time for each direction. Following the exposure time the specimens are subjected to a cut or ravel strip tensile test. Comparing these results to the test results for five unexposed specimens indicates the deterioration which has taken place due to ultraviolet exposure.

5. Significance and Use

5.1 This procedure tests geotextiles under a standard set of conditions of humidity and temperature for three exposure times, plus unexposed specimens. This test method will enable the user to develop a degradation curve for the geotextile being tested.

5.2 Geotextiles are manufactured using a variety of processes and formulations of polymers, and each geotextile varies in its sensitivity to ultraviolet radiation. Ultraviolet radiation from the sun varies with durations of exposure, angle of inclination of the sun, atmospheric conditions, topography, and geography. The xenon-arc test cannot simulate all these variables, so it is not likely that xenon-arc test results will relate directly to sunlight exposure test results for a specific fabric at a given site.

5.2.1 The deterioration curve obtained from the results of this test method enables the user to determine the tendency of a geotextile to deteriorate when exposed to ultraviolet light and water.

5.3 This procedure has been found to produce highly variable results depending on the calibration of the equipment, and as such is not recommended for acceptance/rejection of materials. Its intended use is as a qualitative assessment of the presence of ultraviolet inhibitors, and comparison of that influence between products. However, no inference to the time of stability should be implied by the test results as correlation between time duration and outdoor exposure. Outdoor tests are recommended for assessing time stability relations.

5.3.1 If it becomes necessary for the purchaser and seller to use this test method for acceptance testing, the statistical bias, if any, between the purchaser's and seller's laboratories should be determined. Such comparison is to be based on specimens randomly drawn from the sample of geotextile being evaluated.

5.3.2 In such cases, as a minimum, the two parties should take a group of test specimens which are as homogeneous as possible, and which are from a lot of material of the type in question. The test specimens should then be randomly assigned in equal numbers to each laboratory for testing. The average results from the two laboratories should be compared using Student's t-test for unpaired data and an acceptable probability level chosen by the two parties before the testing started. If a bias is found, either its cause must be

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-35 on Geosynthetics and is the direct responsibility of Subcommittee D35.02 on Endurance Properties.

Current edition approved Oct. 15, 1992. Published January 1993. Originally published as D 4355 - 84. Last previous edition D 4355 - 84.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 07.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.02.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.03.

found and corrected, or the purchaser and the supplier must agree to interpret future test results in the light of the known bias.

6. Apparatus

6.1 *Xenon-Arc Apparatus*, of either Type BH or Type C, as described in Practice G 26.

6.1.2 The apparatus must be capable of exposing the specimens to cycles of light only, followed by water spray and light under controlled atmospheric conditions.

6.1.3 The apparatus is to be equipped with an inner and outer borosilicate filter glass as described in Practice G 26.

6.2 *Strength Testing Apparatus*, conforming to that described for a 2-in. cut or ravel strip test, as described in Test Methods D 1682.

7. Sampling

7.1 *Lot Sample*—As a lot sample for acceptance testing, take at random the number of rolls of fabric directed in an applicable material specification or other agreement between the purchaser and the supplier. Consider rolls of fabric to be the primary sampling units. If the specification requires sampling during manufacture, select the rolls for the lot sample at uniformly spaced time intervals throughout the production period.

NOTE—An adequate specification or other agreement between the purchaser and the supplier requires taking into account the variability between rolls of fabric, and between specimens from a swatch from a roll of fabric, so as to provide a sampling plan with a meaningful producer's risk, consumer's risk, acceptable quality level, and limiting quality level.

7.2 *Laboratory Sample*—Take for the laboratory sample a sample extending the full width of the fabric of sufficient length along the selvage from each sample roll such that the requirements of 8.1 are met. The sample shall exclude material from the outer wrap of the roll or the inner wrap around the core unless the sample is taken at the production site, at which point inner and outer wrap material may be used.

8. Specimen Preparation

8.1 Take two, one-metre square portions from the laboratory sample. Each shall be no closer to the selvage than 1/4

the sample width. One is to be used for machine direction specimens, the other for cross machine direction specimens.

8.2 Use template illustrated in Fig. 1 to identify potential specimens from which the actual specimens are drawn. To select these actual specimens randomly draw 20 specimens from both the machine and cross directions measuring 50 by 150 mm (2 by 6 in.) from the one-metre square portions of each laboratory sample as directed in Practice D 1898.

9. Procedure

9.1 Operate the xenon-arc test apparatus as directed in Practice G 26 using Method A and Type BH or Type C apparatus. Use the appropriate cycle cam to provide 120-min cycles as follows: 90 min of light only at $65 \pm 5^\circ\text{C}$ ($150 \pm 10^\circ\text{F}$) black panel temperature, and $30 \pm 5\%$ relative humidity, followed by 30 min of light and water spray.

9.1.1 When radiometers capable of monitoring discrete portions of a continuous spectrum are available, set the minimum level of irradiance to 0.35 W/m^2 1 nm bandpass at 340 nm. When this capability is not available, wattage settings shall be as defined in Practice G 26.

9.2 Randomly assign five specimens for each direction from each laboratory sample to each of the following exposure times: 0 (unexposed), 150, 300, and 500 clock hours. Place fifteen specimens from each direction from each laboratory sample in the apparatus, such that the side most likely to be exposed to the effects of ultraviolet light will be exposed in the apparatus.

9.3 Rotate the positions of the specimens as directed in Practice G 26.

9.4 At the end of each exposure time, remove the appropriate five specimens for each direction for cut or ravel strip tensile testing.

9.5 Determine the breaking strength in kilonewtons per metre (pounds-force per inch) of five unexposed (control) specimens and five exposed specimens from each exposure time interval, for each direction, from each laboratory sample as directed in Method D 1682 using a 2-in. width strip, except, a CRE or a CRT type testing machine shall be operated at $305 \pm 10 \text{ mm}$ ($12 \pm 1/2 \text{ in.}$) unless specified otherwise. The distance between clamps shall be $75 \pm 1 \text{ mm}$ ($3 \pm 0.05 \text{ in.}$). There may be no overall correlation between the results obtained with the CRE machine and the CRT machine. Consequently, these two breaking load testers cannot be used interchangeably. In case of controversy, the CRE method shall prevail.

10. Calculation

10.1 Calculate the average breaking strength for all unexposed and unexposed (control) specimens for each direction.

10.2 Calculate the percent loss of strength from the unexposed specimens for the average results of each exposure time for each direction.

10.3 For the groups of five specimens from the unexposed specimens and the specimens exposed at various times, calculate the standard deviation and coefficient of variation for the strip tensile strength.

11. Report

11.1 The test report shall include the following information:

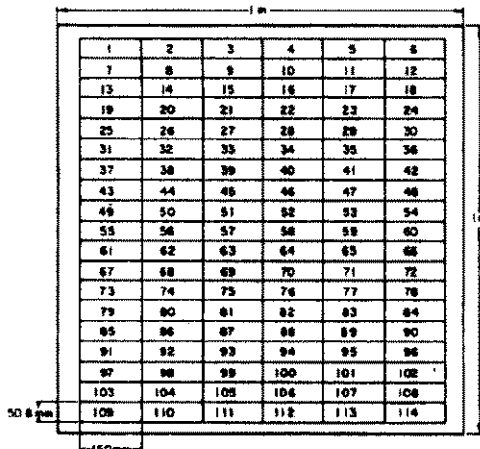


FIG. 1 Specimen Selection Template

11.1.1 That the tests were made as directed in Test Method D 4355,

11.1.2 The total exposure times, along with the total irradiance at respective clock hour intervals, and the number of cycles as defined in 9.3,

11.1.3 A listing of the test results for the unexposed (control) and for each exposure time, for the machine and cross machine direction, consisting of individual breaking strength test results, and their average, and their standard deviation and coefficient of variation,

11.1.4 A listing of the percent of the average unexposed

(control) strength retained for each exposure time for each direction, and

11.1.5 A plot of average breaking strength versus exposure time for each direction.

12. Precision and Bias

12.1 *Precision*—The precision of this test method is being established.

12.2 *Bias*—No justifiable statement can be made on the bias of this test method as the deterioration cannot be established by accepted referee methods.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.



Standard Test Method for Determining Apparent Opening Size of a Geotextile¹

This standard is issued under the fixed designation D 4751; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method is used to determine the apparent opening size (AOS) of a geotextile by sieving glass beads through a geotextile.

1.2 This test method shows the values in both SI units and inch-pound units. "SI" units is the technically correct name for the system of metric units known as the International System of Units. "Inch-pound" units is the technically correct name for the customary units used in the United States. The values in inch-pound units are provided for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- C 136 Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates²
- D 123 Terminology Relating to Textiles³
- D 4238 Test Method for Electrostatic Propensity of Textiles³
- D 4354 Practice for Sampling of Geosynthetics for Testing⁴
- D 4439 Terminology for Geosynthetics⁴
- E 11 Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes⁵

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *apparent opening size (AOS), O_{95} , n* —for a geotextile, a property which indicates the approximate largest particle that would effectively pass through the geotextile.

3.1.2 *atmosphere for testing geosynthetics, n* —air maintained at a relative humidity between 50 to 70 % and a temperature of $21 \pm 2^\circ\text{C}$ ($70 \pm 4^\circ\text{F}$).

3.1.2.1 *Discussion*—The laboratory conditions are very important to the AOS test. For example, excessive humidity (above 70 %) can cause beads to stick together; while too low

a relative humidity (below 50 %) can result in an increase in static electricity.

3.1.3 *geotechnics, n* —the application of scientific methods and engineering principles to the acquisition, interpretation, and use of knowledge of materials of the earth's crust to the solution of engineering problems.

3.1.3.1 *Discussion*—Geotechnics embraces the fields of soil mechanics, rock mechanics, and many of the engineering aspects of geology, geophysics, hydrology, and related sciences.

3.1.4 *geotextile, n* —any permeable textile material used with foundation, soil, rock, earth or any other geotechnical engineering related material as an integral part of a man-made project, structure, or system.

3.1.5 For the definitions of the other terms relating to geotextiles, refer to Terminology D 4439.

3.2 For the definitions of the other terms relating to textiles, refer to Terminology D 123.

4. Summary of Test Method

4.1 A geotextile specimen is placed in a sieve frame, and sized glass beads are placed on the geotextile surface. The geotextile and frame are shaken laterally so that the jarring motion will induce the beads to pass through the test specimen. The procedure is repeated on the same specimen with various size glass beads until its apparent opening size has been determined.

5. Significance and Use

5.1 Using a geotextile as a medium to retain soil particles necessitates compatibility between it and the adjacent soil. This test method is used to indicate the apparent opening size in a geotextile, which reflects the approximate largest opening dimension available for soil to pass through.

5.2 Test Method D 4751 for the determination of opening size of geotextiles is acceptable for testing of commercial shipments of geotextiles. Current estimates of precision, between laboratories, are being established.

5.2.1 In case of a dispute arising from differences in reported test results when using Test Method D 4751 for acceptance testing of commercial shipments, the purchaser and the supplier should conduct comparative tests to determine if there is a statistical bias between their laboratories. Competent statistical assistance is recommended for the investigation of bias. As a minimum, the two parties should take a group of test specimens that are homogeneous as possible and that are from a lot of material of the type in question. The test specimens should then be randomly assigned in equal numbers to each laboratory for testing. The average results from the two laboratories should be compared using Student's t -test for unpaired data and an accept-

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-35 on Geosynthetics and is the direct responsibility of Subcommittee D35.03 on Permeability and Filtration.

Current edition approved April 15, 1995. Published April 1995. Originally published as D 4751 - 93. Last previous version D 4751 - 93.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 07.01.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

TABLE 1 Glass Bead Sizes

Bead Size Range				Bead Size Designation ^A	
Passing		Retained		mm	Sieve Number
mm	Sieve Number ^B	mm	Sieve Number ^B		
2.0	10	1.70	12	1.7	12
1.4	14	1.18	16	1.18	16
1.00	18	0.850	20	0.850	20
0.710	25	0.600	30	0.600	30
0.500	35	0.425	40	0.425	40
0.355	45	0.300	50	0.300	50
0.250	60	0.212	70	0.212	70
0.180	80	0.150	100	0.150	100
0.125	120	0.106	140	0.106	140
0.090	170	0.075	200	0.075	200

^A The designated bead size is the "retained on" size of the sieve pair used to size the beads. For example, beads designated No. 40 are beads which pass the No. 35 sieve and are retained on the No. 40 sieve. These beads are typically sold as 35-40 beads.

^B See Specification E 11.

able probability level chosen by the two parties before the testing is begun. If a bias is found, either its cause must be found and corrected or the purchaser and the supplier must agree to interpret future test results in the light of the known bias.

6. Apparatus

6.1 *Mechanical Sieve Shaker*—A mechanical sieve shaker should be used which imparts lateral and vertical motion to the sieve, causing the particles thereon to bounce and turn so as to present different orientations to the sieving surface. The sieve shaker should be a constant frequency device utilizing a tapping "arm" to impart the proper motion to the glass beads.⁶

NOTE 1—Care should be given to the cork or rubber contact point on shakers when the vertical motion comes from an "arm" striking the cork or rubber. Excessive wear on the cork or rubber could affect the motion imparted to the glass beads and therefore the test result.

6.2 *Pan, Cover, and 200 mm (8 in.) Diameter Sieves.*

6.3 *Spherical Glass Beads*⁷ in size fractions in accordance with Table 1. It is only necessary to have on hand the bead size fractions necessary for the range of geotextiles for which testing is anticipated. The sizing of all beads shall be verified prior to each use by sieving on the pairs of sieves shown in Table 1. Prepare at least 50 g of each size fraction to be used prior to beginning the test.

6.4 *Balance*, having a capacity adequate for the mass of samples anticipated and accurate to ± 0.05 g.

6.5 *Static Elimination*, to prevent the accumulation of static electricity when the beads are shaken on the surface of geotextile.⁸ Commercially available devices or "anti-static" sprays are acceptable.

⁶ A sieve shaker of this type is available from W. S. Tyler, Inc., 8200 Tyler Blvd., Mentor, OH 44060.

⁷ Glass beads available from Cataphote Division, Ferro Corporation, P.O. Box 2369, Jackson, MS 39205, or Potters Industries, Inc., 377-T, Route 17, Hasbrouck Heights, NJ 07604, or beads of equal quality have been found satisfactory for this purpose.

⁸ Static Eliminators available from Staticmaster Ionizing Units, Model #2U500, Nuclear Products Co., P.O. Box 5178, El Monte, CA 91733, or Western Static Eliminators Co., 215-219 S. Western Avenue, Chicago, IL 60612, have been found satisfactory for this purpose. For other availability addresses, see footnote 7 of Test Method D 4238.

6.6 *Drying Oven.*

6.7 *Pan*, for collecting sieved beads.

7. Sampling

7.1 *Lot Sample*—For routine Quality Control testing, divide the product into lots and take the lot sample as directed in Practice D 4354, Section 7 "Procedure B Sampling for Quality Assurance Testing." For Specification Conformance testing, sample as directed in Practice D 4354, Section 6 "Procedure A—Sampling for Specification Conformance."

7.2 *Laboratory Sample*—As a laboratory sample for acceptance testing, take a full width swatch 1 m (1 yd) long from the end of each roll of fabric in the lot sample, after first discarding a minimum of 1 m (1 yd) of fabric from the very outside of the roll.

7.3 *Test Specimens*—Cut five specimens from each swatch in the laboratory sample with each specimen being cut to fit the appropriate sieve pan. Cut the specimens from a single swatch spaced along a diagonal line on the swatch.

8. Specimen Preparation

8.1 Weigh the specimens and then submerge them in distilled water for 1 h at the standard atmosphere for testing.

9. Procedure

9.1 Run the test at the atmosphere for testing geotextiles in such a manner that static electricity is prevented from affecting test results. If standard atmosphere cannot be maintained and static electricity is noticed, two methods are available that will prevent static electricity:

9.1.1 Install static eliminating devices equally spaced about the circumference of sieve and one on center of cover, or

9.1.2 Apply commercially available "anti-static" spray uniformly to the geotextile.

9.2 Secure the geotextile in such a way that it is taut, without wrinkles or bulges. The geotextile must not be stretched or deformed such that it changes or distorts the openings in the fabric. Two systems may be used to secure the geotextiles sample:

9.2.1 Wedge between two sieve frames.

9.2.2 Secure with hoop inside the sieve frame.

9.3 Prior to use, sieve the glass beads in the laboratory to verify size of beads.

NOTE 2—All size glass beads are sieved through a single specimen of geotextile unless the geotextile has an average thickness equal to or greater than 2.3 mm (0.091 in.). A geotextile of this thickness or greater (especially nonwovens) may trap beads within the layers of the fabric which may pass through the specimen when testing with a different bead size, thus creating an error in the test results. In the case of the thicker geotextiles, a different specimen may be used for each bead size, however, it should be noted in the report that different specimens were used.

9.4 Start with the smallest diameter glass beads that will be tested. Place 50 g of one size glass beads on the center of the geotextile.

9.5 Place cover and pan on sieve frame and place in shaker. Shake sieves for 10 min.

9.6 Place the glass beads still on the surface of the specimen in a pan and weigh. Include beads that fall off as a result of turning the specimen over and tapping the rims of the sieves.

DETERMINATION OF APPARENT
OPENING SIZE OF GEOTEXTILE

DATE: _____
TEST BY: _____
COMP BY: _____
CHECK BY: _____

Range (mm) US Std Mesh	Minimum Dia. (mm)	Wt. F+G * W/ Beads	Wt. F+G	Wt. Beads	% Retained	Wt. Pan W/ Beads	Wt. Pan	Wt. Beads	% Passing	Wt. F+G Before	Wt. F+G After	Wt. Retained in Geotextile	% Retained in Geotextile
2.0 - 1.70	1.70												
1.4 - 1.18	1.18												
1.0 - .850	.850												
.710 - .60	.600												
.50 - .425	.425												
.355 - .30	.300												
.25 - .212	.212												
.18 - .15	.150												
.125 - .106	.106												
.09 - .075	.075												

GEOTEXTILE DESCRIPTION: _____

* F=FRAME
G=GEOTEXTILE

FIG. 1 Sample Worksheet

NOTE 3—This step provides information concerning the amount of glass beads trapped within the geotextile and the amount of any beads lost during testing.

9.7 Weigh the glass beads that pass through the specimen, and record data. (See Fig. 1 for a sample worksheet which can be used to record the desired data).

9.8 Repeat 9.3 through 9.7 using the next larger bead size fraction. Repeat the trial using succeeding larger bead size fractions until the weight of beads passing through the specimen is 5 % or less. Perform the trials such that the percent passing decreases from a value greater than 5 % to a value less than or equal to 5 %.

9.9 Repeat 9.2 to 9.8 for all five specimens.

10. Calculation

10.1 For each size of beads tested with each specimen, compute to the nearest percent the beads passing through the specimen using Eq 1:

$$B = 100 P/T \tag{1}$$

where:

B = beads passing through specimen, %,

P = mass of glass beads in the pan, g, and

T = total mass of glass beads used, g.

10.2 Record calculations and percent beads passing (see Fig. 1).

10.3 Assign the AOS for each specimen as the size designation in millimetres (see 6.3) of the beads of which 5 % or less pass.

10.4 Determine the AOS for the test by averaging the AOS values of the five specimens.

11. Plotting

11.1 It is often desirable to determine the AOS value by plotting the percentage of beads passing the specimen versus the bead size for each of the bead sizes used for each specimen. When plotting is desirable proceed as follows:

11.1.1 For each specimen, plot the values of Percent Passing (Ordinate) vs. Bead Size, mm (Abcissa) on semi-log graph (see Fig. 2). Draw a straight line connecting the two data points representing the bead sizes which are immediately on either side of the 5 % passing ordinate. The particle size in mm (abscissa) at the intersection of the straight line plotted and the 5 % passing ordinate is the AOS of the

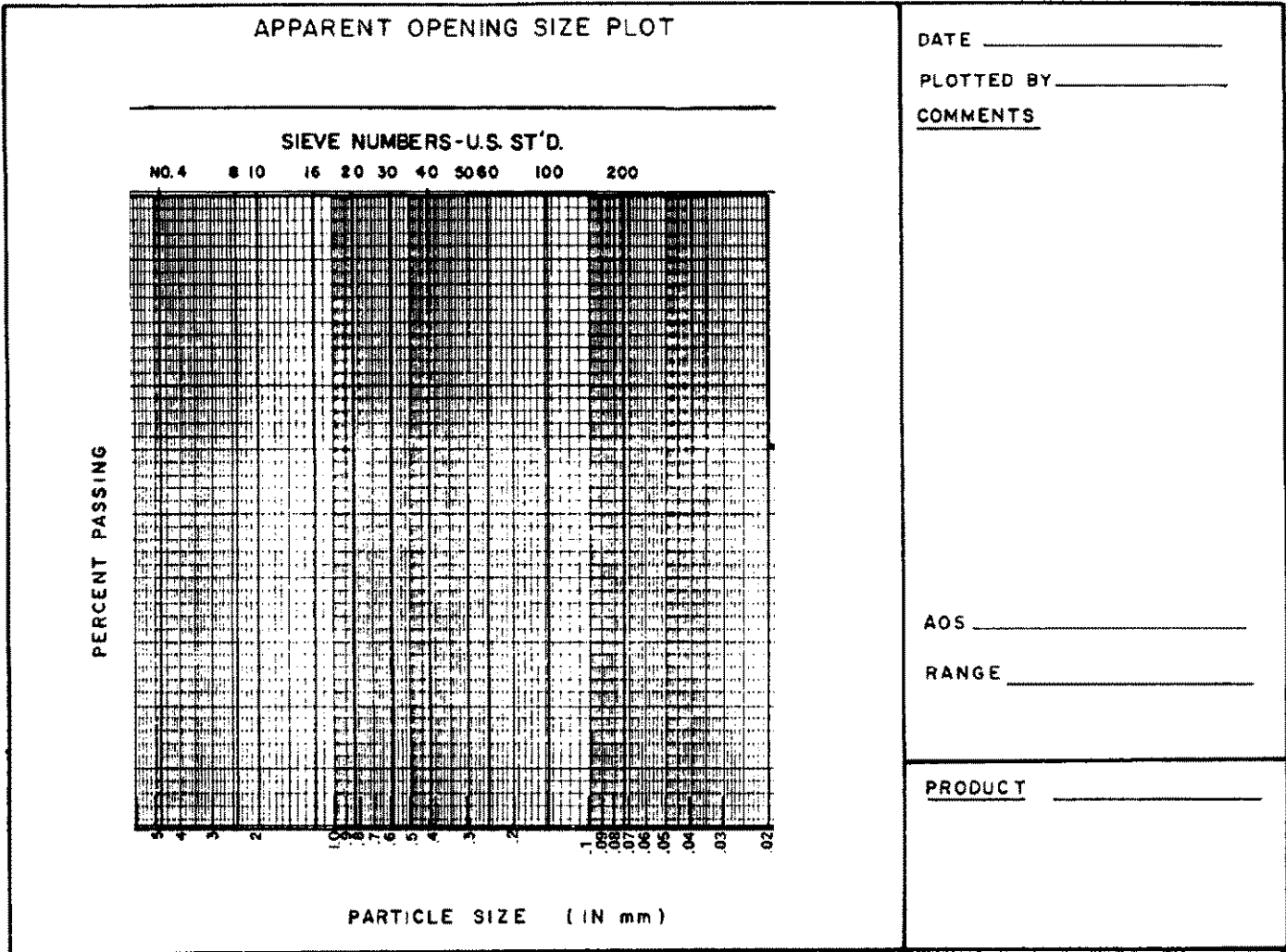


FIG. 2 Semilog Plot

specimen in mm, i.e., the theoretical bead size which would result in "exactly" 5 % passing the specimen.

11.1.2 Determine the sample AOS, in mm, by averaging the five AOS values obtained by the graphic interpolation in 11.1.1.

11.1.3 Determine the sample AOS, expressed in terms of sieve number, as the number of the U.S. Sieve (see the sieve number column under "Bead Size Designation" of Table No. 1) having nominal opening, in millimetres, equal to or next larger than the AOS, in millimetres, obtained in 11.1.1.

12. Report

12.1 Report that the specimens were tested as directed in Test Method D 4751. Describe the material or product sampled and the method of sampling used.

12.2 Report the following information:

12.2.1 Results in written form indicating the bead size ranges used in millimetres.

12.2.2 If requested, plots of bead size versus percentage beads passing for each specimen will be provided (as described in Section 11).

12.2.3 The average determined from five specimens as the

apparent opening size (AOS = O_{95}) in millimetres.

12.2.4 Weight of each sample.

12.2.5 Type of sieve shaker used.

12.2.6 When requested, express the AOS in terms of sieve number. The AOS expressed this way shall be the number of the U.S. Standard Sieve (see Specification E 11) having nominal openings, in millimetres, next larger than or equal to the AOS, in millimetres.

12.2.7 Any deviation from the described test method.

13. Precision and Bias

13.1 *Precision*—The precision of Test Method D 4751 for measuring the apparent opening size of a geotextile is being established.

13.2 *Bias*—The procedure in Test Method D 4751 for measuring the apparent opening size of geotextiles has no bias because the value of the apparent opening size can be defined only in terms of test method.

14. Keywords

14.1 apparent opening size; geotextile; glass beads; sieve

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.



Standard Test Method for Measuring the Soil-Geotextile System Clogging Potential by the Gradient Ratio¹

This standard is issued under the fixed designation D 5101; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

1. Scope

1.1 This test method covers a performance test applicable for determining the soil-geotextile system permeability and clogging behavior under unidirectional flow conditions.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as standard. The values in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 123 Terminology Relating to Textiles²

D 653 Terminology Relating to Soil Rock, and Contained Fluids³

D 737 Test Methods for Air Permeability of Textile Fabrics⁴

D 4354 Practice for Sampling of Geotextiles for Testing⁵

D 4439 Terminology for Geosynthetics⁵

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *clogging potential, n*—in geotextiles, the tendency for a given fabric to lose permeability due to soil particles that have either lodged in the fabric openings or have built up a restrictive layer on the surface of the fabric.

3.1.2 *geotextile, n*—a permeable geosynthetic comprised solely of textiles.

3.1.3 *gradient ratio, n*—in geotextiles, the ratio of the hydraulic gradient through a soil-geotextile system to the hydraulic gradient through the soil alone.

3.1.4 *hydraulic gradient, i, s (D)*—the loss of hydraulic head per unit distance of flow, dH/dL.

3.1.5 For definitions of other textile terms, refer to Terminology D 123. For definitions of other terms related to geotextiles, refer to Terminology D 4439 and Terminology D 653.

3.2 Symbols and Acronyms:

3.2.1 *CO₂*—the chemical formula for carbon dioxide gas.

3.2.2 *CHD*—the acronym for constant head device.

4. Summary of Test Method

4.1 This test method requires setting up a cylindrical, clear plastic permeameter (see Figs. 1 and 2) with a geotextile and soil, and passing water through this system by applying various differential heads. Measurements of differential heads and flow rates are taken at different time intervals to determine hydraulic gradients. The following test procedure describes equipment needed, the testing procedures, and calculations.

5. Significance and Use

5.1 This test method is recommended for evaluating the performance of various soil-geotextile systems under controlled test conditions. Gradient ratio values obtained may be plotted and used as an indication of the soil-geotextile system clogging potential and permeability. This test method is not appropriate for initial comparison or acceptance testing of various geotextiles. The test is intended to evaluate geotextile performance with specific on-site soils. It is improper to utilize the test results for job specifications or manufacturers' certifications.

5.2 It is important to note the changes in gradient ratio values with time versus the different system hydraulic gradients, and the changes in the rate of flow through the system (see Section 11 and Annex A1.).

6. Apparatus and Supplies

6.1 *Soil-Geotextile Permeameter*, (three-piece unit) equipped with support stand, soil-geotextile support screen, piping barriers (caulk), clamping brackets, and plastic tubing (see Fig. 2).

6.2 *Two Constant Water Head Devices*, one mounted on a jack stand (adjustable) and one stationary (Fig. 3).

6.3 *Soil Leveling Device* (Fig. 4).

6.4 *Manometer Board*, of parallel glass tubes and measuring rulers.

6.5 *Two Soil Support Screens*, of approximately 5 mm (No. 4) mesh.

6.6 *Soil Support Cloth*, of 150 μm (No. 100) mesh, or equivalent geotextile.

6.7 *Thermometer* (0 to 50°C \pm 1°C).

6.8 *Graduated Cylinder*, 100 cm³ \pm 1 cm³ capacity.

6.9 *Stop Watch*.

6.10 *Balance*, or scale of at least 2-kg capacity and accurate to \pm 1 g.

6.11 *Carbon Dioxide*, (CO₂), gas supply and regulator.

6.12 *Geotextile*.

6.13 *Water Recirculation System*.

6.14 *Water Deairing System*, with a capacity of approxi-

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-35 on Geosynthetics and is the direct responsibility of Subcommittee D35.03 on Permeability and Filtration.

Current edition approved July 10, 1996. Published November 1996. Originally published as D 5101 – 90. Last previous edition D 5101 – 90.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 07.01.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.08.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 07.01.

⁵ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.09.

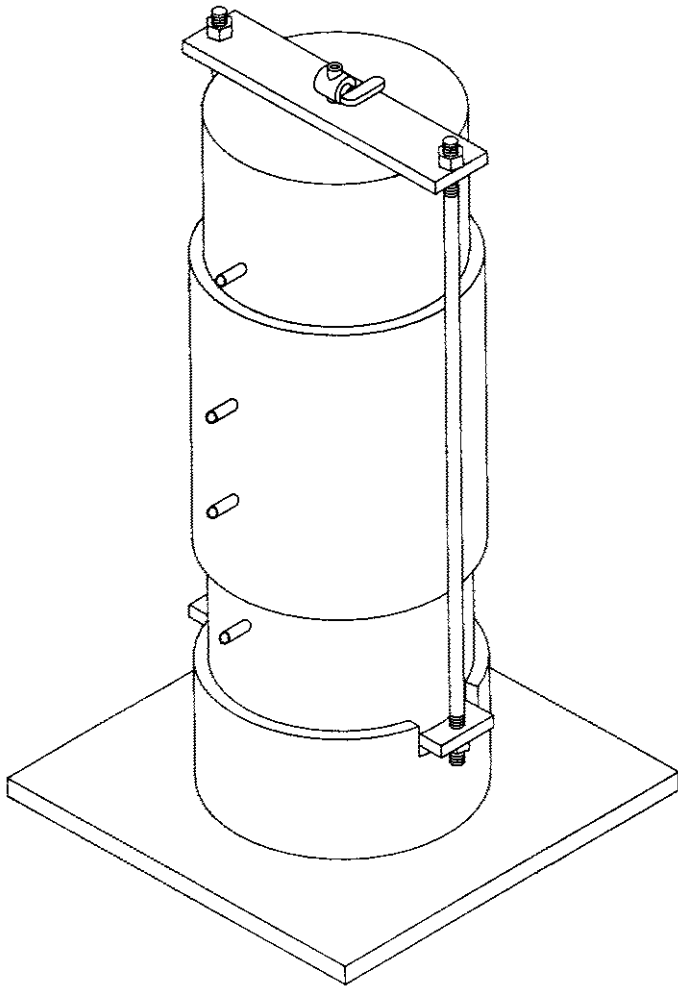


FIG. 1 Geotextile Permeameter

mately 1700 L/day (500 gal/day).

6.15 *Algae Inhibitor*, or micro screen.

6.16 *A 150 μm Mesh Screen, (No. 100)*, or equivalent geotextile for manometer ports.

6.17 *Soil Sample Splitter (optional)*.

6.18 *Pan*, for drying soil.

6.19 *Mortar and Pestle*, for pulverizing soil.

6.20 *Wooden rod*, 20 mm (3/4 in.) diameter by 150 mm (6 in.) long.

7. Sampling and Test Specimens

7.1 *Lot Sample and Laboratory Sample*—Take a lot sample and laboratory samples as directed in Practice D 4354. For laboratory samples, take a full width swatch of geotextile from each roll of material in the lot sample at least 1 m (3 ft) long cut from the end of the roll after discarding the first meter of material from the outside of the roll.

7.2 *Test Specimens*—Cut three circular specimens from each swatch in the laboratory sample with each specimen having a diameter of 110 mm (4.33 in.). Locate two specimens no less than 300 mm (11.8 in.) from each edge of the swatch and one at the center of the swatch width.

8. Conditioning

8.1 *Test Water Preparation:*

8.1.1 Test water should be maintained at room temperature about 16 to 27°C (60 to 80°F), and deaired to a dissolved oxygen content of 6 parts per million (ppm) or less before introducing it to permeameter system. This will reduce or eliminate the problems associated with air bubbles forming within the test apparatus.

8.1.2 An algae inhibitor or micro screen should be used to eliminate any algae buildup in the system.

8.2 *Specimen Conditions:*

8.2.1 Condition the specimen by soaking it in a container of deaired water for a period of 2 h. Dry the surface of the specimen by blotting prior to inserting in the permeameter.

9. Procedure

9.1 *Preparation of Apparatus:*

9.1.1 Thoroughly clean and dry permeameter sections.

9.1.2 Close all valves and cover the inside openings of all manometer ports with fine wire mesh or lightweight non-woven fabric (the equivalent of No. 100 mesh).

9.1.3 Lubricate all O-ring gaskets.

9.2 *Permeameter Preassembly:*

9.2.1 Stand center section of the permeameter on end and place a soil support cloth 110 mm (4.33 in.) in diameter on recessed permeameter flanges.

9.2.2 Insert support screen 110 mm (4.33 in.) diameter on top of support cloth with mesh side against the cloth.

9.2.3 Align and insert top section of the permeameter into center section and press until there is a tight fit to secure the support cloth and screen in place. Assure that all gasket edges secure against the support cloth, support bracket, and between the center and top permeameter sections.

9.2.4 Invert and place permeameter into holding stand.

9.3 *Process Soil:*

9.3.1 Thoroughly air dry the soil sample as received from the field. This shall be done for a minimum of three days. Pulverize the sample in a mortar with a rubber-tipped pestle (or in some other way that does not cause breakdown of individual grains), to reduce the particle size to a maximum of 10 mm (3/8 in.). Select a representative sample of the amount required (approximately 1350 g) to perform the test by the method of quartering or by the use of a soil splitter.

9.3.2 Select that portion of the air-dried sample selected for purpose of tests and record the mass as the mass of the total test sample uncorrected for hygroscopic moisture. Separate the test sample by sieving with a 2-mm (No. 10) sieve. Pulverize that fraction retained on the 2-mm (No. 10) sieve in a mortar with a rubber-covered pestle until the aggregations of soil particles are broken up into the separate grains.

9.3.3 Mix the fractions passing the 2-mm (No. 10) sieve along with the portion that was retained on the 2-mm (No. 10) sieve to form the test soil. All particles larger than 10 mm (3/8 in.) should be eliminated.

9.4 *Soil Placement:*

9.4.1 Weigh out approximately 1350 g of air dried processed soil.

9.4.2 Place air dried processed soil above the support cloth to a depth of 110 mm (4.33 in.). The final depth of soil after settlement will be approximately 100 mm (4 in.). The soil should be placed in 25 mm (1-in.) to 40-mm (1½-in.) layers, making sure that no voids exist along the

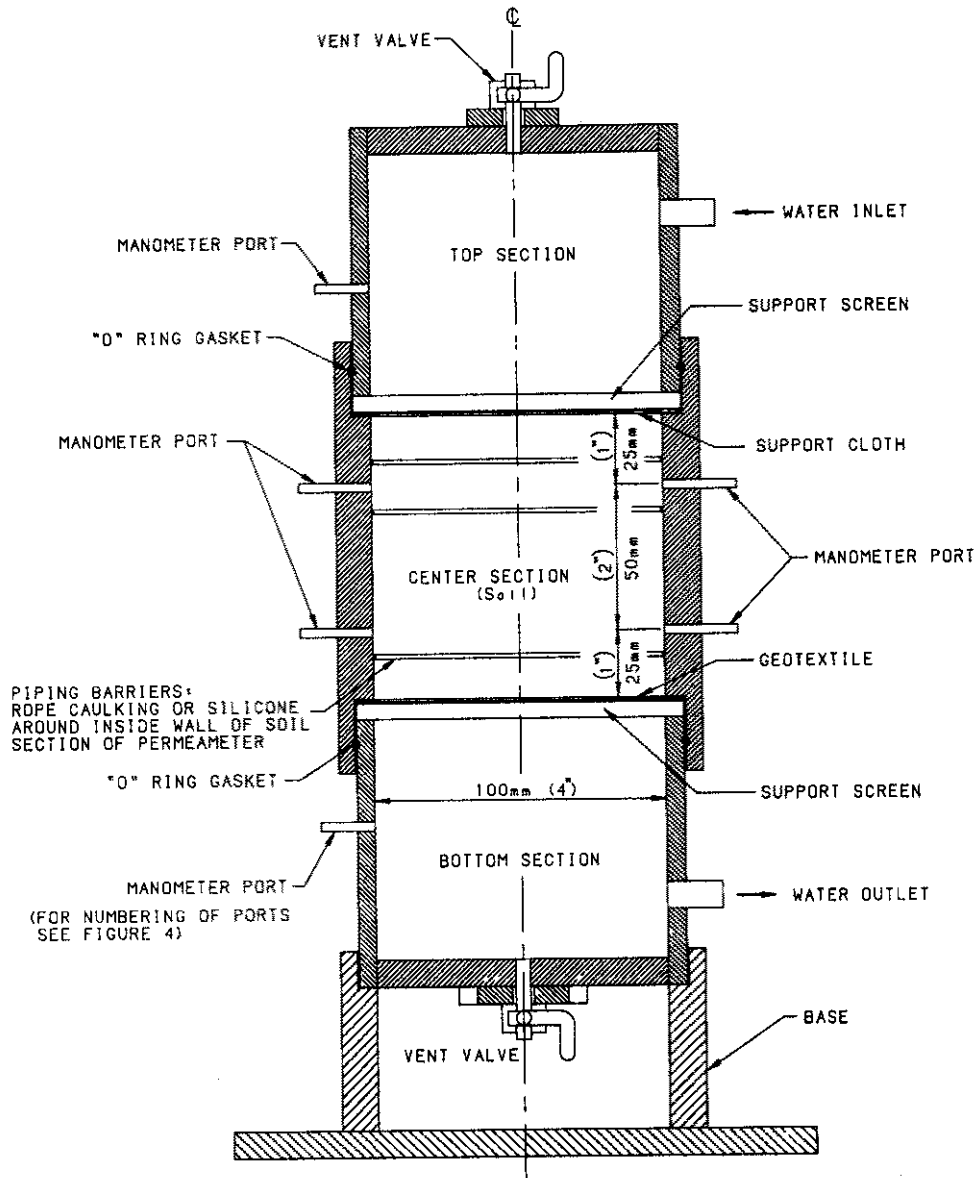


FIG. 2 Section—Geotextile Permeameter

permeameter walls at manometer ports, or the caulk piping barriers. The soil shall be placed carefully into the permeameter with a scoop or appropriate tool with a maximum drop of the soil no greater than 25 mm (1 in.). Consolidation of each layer shall consist of tapping the side of the permeameter six times with a 20 mm (3/4 in.) diameter by 150 mm (6 in.) long wooden rod.

9.4.3 When the level of the soil in the permeameter reaches a depth of 100 mm (4 in.), insert the soil leveling device (Fig. 4), with the notch down, on the top edges of the permeameter. Continue placing soil and rotating the leveling device until the total soil height of 110 mm (4.33 in.) is reached.

9.4.4 Remove the soil leveler and any excess soil. Determine the mass of the soil in the permeameter for unit weight calculations.

NOTE 1—The specified soil placement procedure results in a rela-

tively loose soil condition and is conservative for many applications. If a density approximating actual field soil conditions is desirable, the test could be run at this specified soil density. It should be recognized, however, that predicting field soil conditions may be very difficult due to construction installation procedures that generally disturb and loosen soils adjacent to the geotextile.

9.5 Permeameter Assembly and Setup:

9.5.1 Clean the inner flange of the center section of the permeameter and insert the geotextile to be tested.

9.5.2 Insert support screen on top of geotextile with the mesh side against the geotextile.

9.5.3 Align and insert the bottom section of the permeameter into the center section and press tightly to secure the geotextile and support screen. The soil will compress from 110 mm (4.33 in.) to approximately 100 mm (4 in.) when the bottom section is secured. Check gaskets to assure contact is made between permeameter sections, support screen, and geotextile.

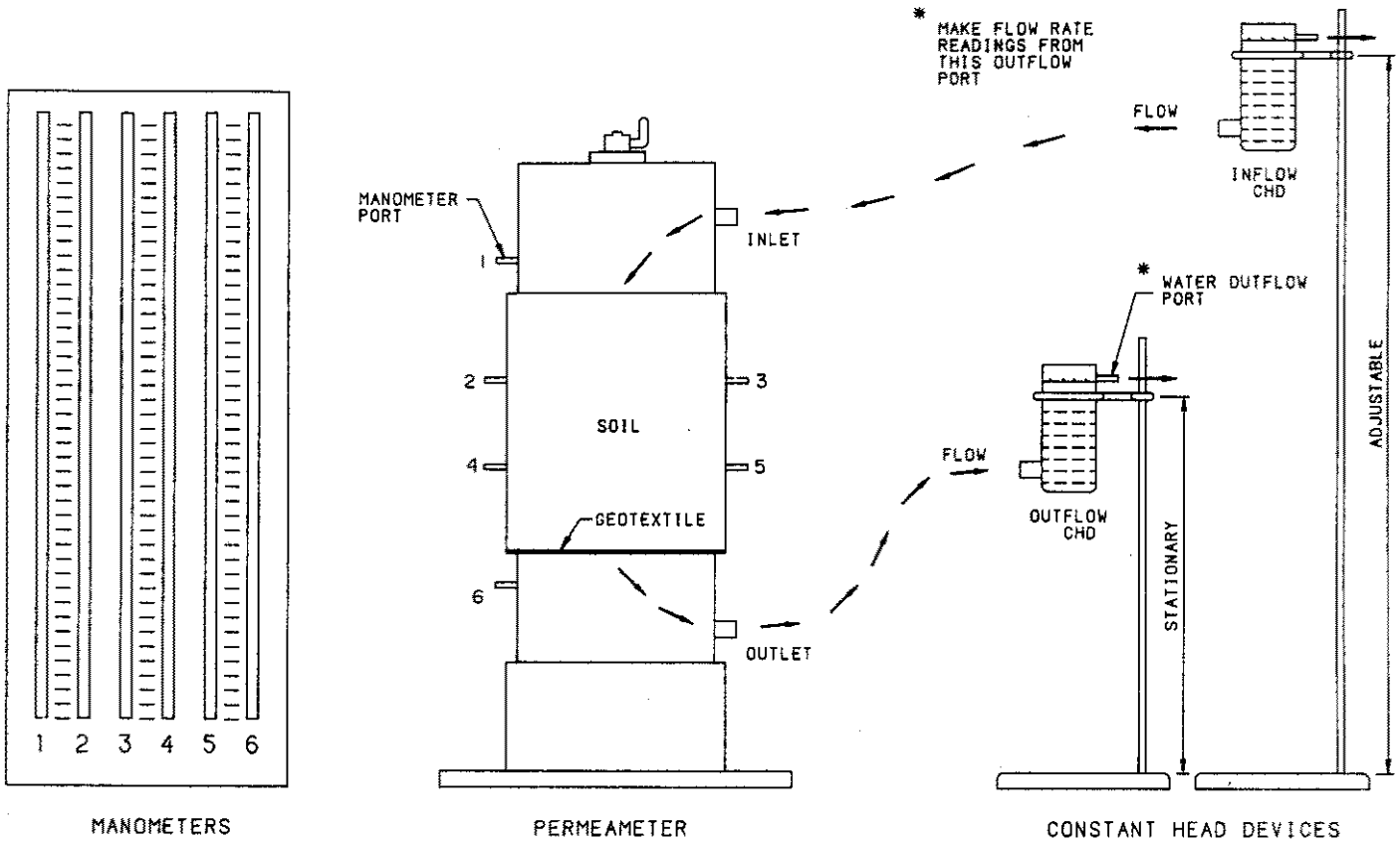


FIG. 3 Geotextile Permeameter "Set Up" Diagram

9.5.4 Secure the permeameter sections together within clamp brackets and tighten bolts on bracket rods evenly.

9.5.5 Invert permeameter into holding stand so that the geotextile will be below the soil level.

9.5.6 Connect the inflow and outflow constant head devices (CHD) to their corresponding permeameter ports (see Fig. 3) with plastic tubing. The outflow CHD is attached to the bottom permeameter port and inflow CHD is attached to the top permeameter port.

9.5.7 Connect all manometer tubes (1 through 5) to their corresponding permeameter manometer ports, and all overflow tubes to their corresponding outlet ports.

9.6 *Saturating the Soil/Geotextile System:*

9.6.1 Open the top vent valve, and close off the permeameter water outlet hose.

9.6.2 Backfill permeameter with water through the outflow CHD until the water level is approximately 10 mm (3/8 in.) below the open manometer port 6. Stop waterflow into the permeameter by clamping off the hose between outflow CHD and permeameter.

9.6.3 Expel oxygen and other gases in permeameter and soil system by (1) attaching a carbon dioxide (CO₂) line to manometer port 6, and (2) regulating the gas flow at 2 L/min and purging the system for 5 min.

NOTE 2—The permeameter may be backfilled without purging with CO₂, however, the potential for air pockets within the soil to cause erratic results for flow and pressure measurements will be greater without the purging.

9.6.4 After 5 min of gas saturation, seal off (plug) the open

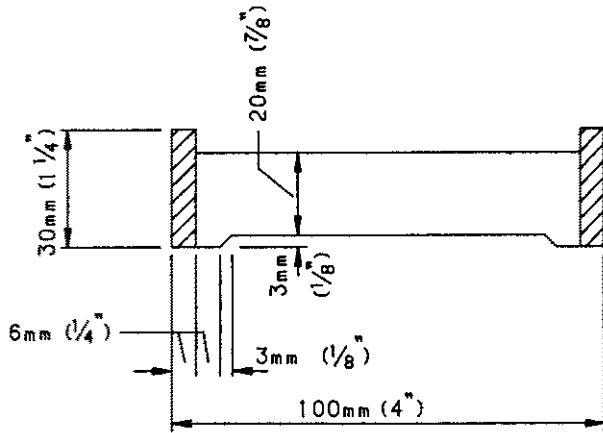
end of each manometer tube (1 through 5) and continue to purge the system with CO₂ for an additional 5 min with only the top vent valve open.

9.6.5 Remove the CO₂ gas line and replace the No. 6 manometer hose. Remove the seals (plugs or clamps) from all manometer tubes (1 through 5).

9.6.6 Loosen hose clamp between outflow CHD and permeameter, and fill soil section of permeameter with water. Filling is accomplished by adding water to and raising the level on outflow CHD slowly. Start with outflow CHD at 25 mm (1 in.) above the geotextile level and raise 25 mm (1 in.) every 30 min until water level is 50 mm (2 in.) above the top support screen bracket. This slow saturating process is necessary to prevent air pockets or internal soil movement during loading.

9.6.7 Clamp hose between outflow CHD and permeameter to prevent flow. Continue to raise the water level in the permeameter by filling from the top inlet through the inflow CHD. The outflow CHD should be clamped so that no flow occurs through the system. The water level should be raised until water flows from top vent valve. Position outflow CHD so that its overflow outlet is approximately 25 mm (1 in.) above the permeameter soil level. The system should be in no-flow condition and the manometers should all read the same.

9.6.8 Close off top vent valve and allow the system to stand overnight in a static condition. This should ensure complete saturation of the system with water. The system should be in a no-flow condition overnight.



SECTION A-A

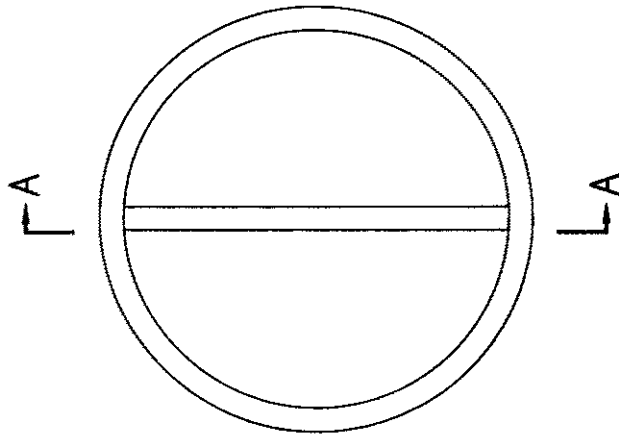


FIG. 4 Plan—Soil Leveling Tool

9.6.9 Check for and remove air bubbles found in the tubes or manometers by light vibration or tapping. It may be necessary to disconnect tubing from the manometer board and slowly lower the tubing, allowing water and entrapped air to run out.

9.6.10 Place a thermometer into the inflow CHD to monitor temperature of water flowing into permeameter.

9.7 Running the Test:

9.7.1 Check to make sure that all scales on the manometer board are set to a common reference elevation.

9.7.2 Adjust the inflow CHD to a level so that a hydraulic gradient (i) of 1 is obtained (see 10.1).

9.7.3 Unclamp hoses between the permeameter and CHD's to allow flow, and record the initial starting time.

9.7.4 Record the following data (using Fig. 5) at 0, 1/2, 1,

2, 4, 6, and 24 h from the initial starting time:

9.7.4.1 The time in hours (accumulated).

NOTE 3—Stabilization is defined as the point where the flow rate and gradient ratio for three consecutive readings are within 10 % of their apparent value. In some cases the readings may continue to change in a gradual but steady manner with no tendency toward stabilization. In this situation the test may be terminated with an appropriate notation made on the test record.

9.7.4.2 The flow rate from the system (outflow CHD); time in seconds (t) for a measured quantity of flow (Q) in cubic centimetres. Measure for a minimum duration of 30 s and a minimum quantity of flow of 10 cc.

9.7.4.3 The temperature (T) of the water in the system in degrees celsius.

9.7.4.4 The water level readings from the individual manometers.

9.7.4.5 The date and time of day.

9.7.5 After the final reading when the system stabilization has occurred, raise the inflow CHD to obtain a system hydraulic gradient (i) = 2.5. Record time. After 1/2 hour at this level, record all data.

9.7.6 Raise the inflow CHD to obtain i = 5. Repeat measurements as in 9.7.4.

9.7.7 After the final reading when system stabilization has again been achieved, raise the inflow CHD to obtain i = 7.5. Record time. After 1/2 hour, record all data.

9.7.8 Raise the inflow CHD to a level to obtain i = 10. Repeat measurements as in 9.7.4.

9.7.9 The test must be run continuously. Once the test has started, it cannot be stopped and then resumed.

NOTE 4—This test can be run at hydraulic gradients other than those specified in this procedure, particularly if this will suit the design conditions better. In all cases the system hydraulic gradient should be increased gradually and in increments no greater than i = 2.5 and maintain those incremented levels for a minimum of 30 min. The important thing is to run the test for a time interval until some recognizable equilibrium or stabilization of the system has occurred.

10. Calculation

10.1 Hydraulic Gradient—Calculate the hydraulic gradients for the system i , using Eq 1. Figure 6 shows the meaning of the values in the equation schematically.

$$i = \Delta h / L \tag{1}$$

where:

Δh = difference in manometer readings for soil zone analyzed, manometer 1 minus manometer 6, cm, and
 L = length or thickness of soil between manometers being analyzed, cm.

10.2 System Permeability—Calculate the system permeability at the temperature of the test and corrected to 20°C using Eqs 2 and 3:

$$k_T = Q / [(iAt) \cdot 100] \tag{2}$$

$$K_T = k_{20} \mu_T / \mu_{20} \tag{3}$$

where:

k_T = system permeability at test temperature, m/s,
 k_{20} = system permeability at 20°C, m/s,
 Q = quantity of flow measured, cm³,
 i = hydraulic gradient of the system,
 A = cross-sectional area of the specimen, cm²,
 t = time for measured quantity of flow, s,

GEOTEXTILE I.D. _____ UNIT WT. OF DRY SOIL IN PERMEAMETER _____ SOIL I.D. _____

DATE	TIME OF TEST (hrs.)	i (Δh/L)	Δh (cm) (1-6)	MANOMETER READINGS (cm)						Δh _s	Δh _{sf}	G.R.	Q (cc)	Flow Time (s)	Temp (°C)	k _{20°C} (m/s)
				1	2	3	4	5	6							

FIG. 5 Gradient Ratio Permeameter Data

μ_T = water viscosity at temperature of the test, and
 μ_{20} = water viscosity at 20°C.

10.3 *Gradient Ratio*—For each hydraulic gradient, report the gradient ratio, *GR*, for the system using Eq 4 and data for the final time interval used. Figure 5 shows the meaning of the values in the equation schematically.

$$GR = \frac{(\Delta h_{sf}/L_{sf})/(\Delta h_s/L_s)}{\Delta h_s/L_s} \tag{4}$$

where:

$$\Delta h_s = \frac{(M_2 - M_4) + (M_3 - M_5)}{2}$$

$$\Delta h_{sf} = \frac{(M_4 - M_6) + (M_5 - M_6)}{2}$$

(M_n = the manometer reading, cm, for the manometer numbered *n*.)
 L_s = 5.10 cm (2 in.), and
 L_{sf} = 2.55 cm (1 in. + the geotextile thickness) (Test Method for Measuring Thickness of Geotextiles, Geomembranes, and Related Products⁶)

Calculate values from two sets of manometers, as shown above, to detect any changes in pressure from one side to the other. If a significant difference exists between manometers, the system should be investigated for air bubbles, algae buildup, plugged manometer tube, or a plugged port.

⁶ This document is currently under development and may be obtained by contacting the Committee D-35 staff manager.

11. Report

- 11.1 State that the specimens were tested as directed in Test Method D 5101. Describe the material or product tested and the method of sampling used.
- 11.2 Report the following information:
 - 11.2.1 Unit weight of dry soil in the permeameter,
 - 11.2.2 All instrument readings, such as flow volume, flow time, temperature, and manometer readings,
 - 11.2.3 System permeability corrected to 20°C,
 - 11.2.4 A plot of the gradient ratio to the nearest 0.1 unit against time for each hydraulic gradient tested.
 - 11.2.5 A plot of the permeability and flow rate to three significant digits against time.
 - 11.2.6 A plot of the gradient ratio versus the system hydraulic gradient.

12. Precision and Bias

- 12.1 *Precision*—Precision of this test method is being established.
- 12.2 *Bias*—The procedure in Test Method D 5101 for measuring the soil-geotextile system permeability and clogging potential has no bias because the value of the gradient ratio and permeability can be defined only in terms of a test method.

13. Keywords

13.1 clogging potential; gradient ratio; soil-geotextile system

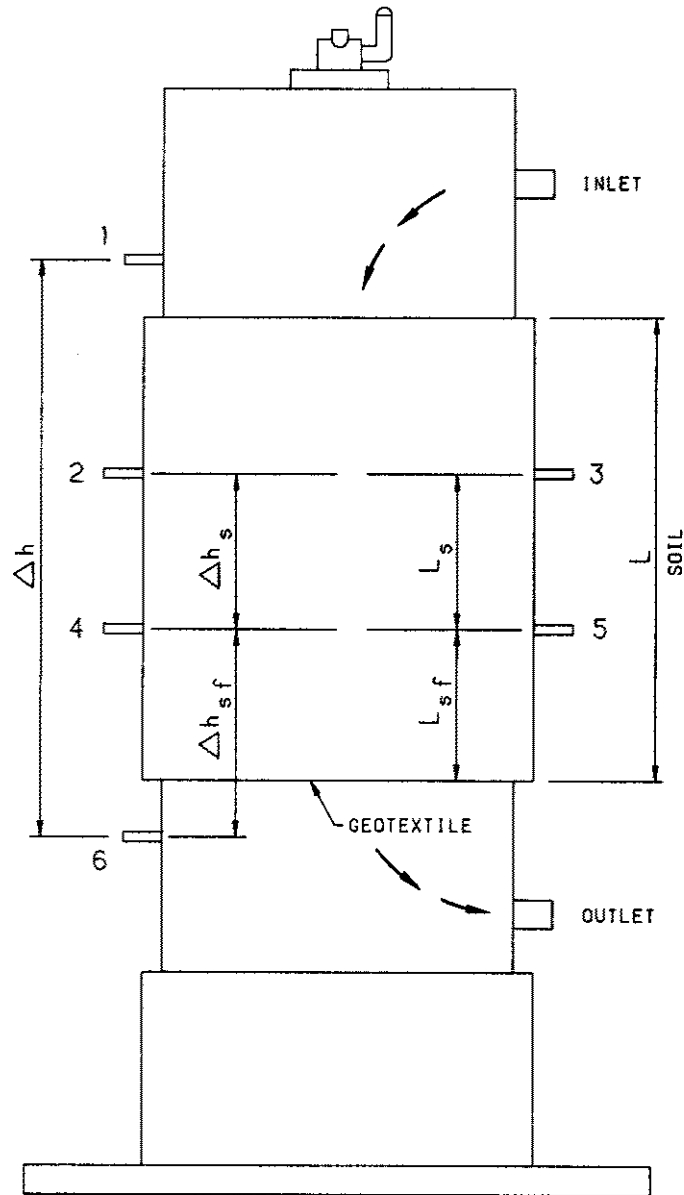


FIG. 6 Values for Gradient Ratio and Hydraulic Gradient Calculations

ANNEX

(Mandatory Information)

A1. INTERPRETATION OF RESULTS

A1.1 The gradient ratio test is best suited for evaluating the movement of finer solid particles in coarse grained or gap graded materials where internal stability from differential hydraulic gradients may be a problem. The important aspect of the gradient ratio values obtained during the testing is not so much the number itself, but whether or not positive flow and permeability is maintained and there is the establishment of some recognizable equilibrium or stabilization of the

system.

A1.2A gradient ratio of one or slightly less is preferred. A value less than one is an indication that some soil particles have moved through the system and a more open filter bridge has developed in the soil adjacent to the geotextile. A continued decrease in gradient ratio indicates piping and may require quantitative evaluation to determine filter effectiveness. Although gradient ratio values of higher than

one mean that some system clogging and flow restriction has occurred, if system equilibrium is present, the resulting flow may well satisfy design requirements.

A1.3 The allowable gradient ratio values and related flow

rates for various soil-geotextile systems will be dependent on the specific site application. It is the responsibility of the design professional to establish these allowable values on a case-by-case basis.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.



Standard Test Method for Index Puncture Resistance of Geotextiles, Geomembranes, and Related Products¹

This standard is issued under the fixed designation D 4833; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

^{e1} NOTE—Keywords were added editorially in August 1996.

1. Scope

1.1 This test method is used to measure the index puncture resistance of geotextiles, geomembranes, and related products.

1.2 The use of Test Method D 4833 may be inappropriate for testing some woven geotextiles or related products which have large openings (Note 1).

NOTE 1—Geonets and geogrids cannot be tested using this test method.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values provided in inch-pound units are for information only.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 76 Specification for Tensile Testing Machines for Textiles²

D 123 Terminology Relating to Textiles²

D 1776 Practice for Conditioning Textiles for Testing²

D 2905 Practice for Statements on Number of Specimens for Textiles³

D 4354 Practice for Sampling of Geosynthetics for Testing³

D 4439 Terminology for Geosynthetics³

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *atmosphere for testing geotextiles, n*—air maintained at a relative humidity of $65 \pm 5\%$ and a temperature of $21 \pm 2^\circ\text{C}$ ($70 \pm 4^\circ\text{F}$).

3.1.2 *geomembrane, n*—very low permeability synthetic membrane liners or barriers used with any geotechnical engineering related material so as to control fluid migration in a man-made project, structure, or system.

3.1.3 *geotextile, n*—any permeable textile used with foundations, soil, rock, earth, or any other geotechnical material as an integral part of man-made project, structure, or system.

3.1.4 *index test, n*—a test procedure which may contain a known bias but which may be used to establish an order for a set of specimens with respect to the property of interest.

3.1.5 *puncture resistance, (F), n*—the inherent resisting mechanism of the test specimen to the failure by a penetrating or puncturing object.

3.2 For definitions of other textile terms used in this standard, refer to Terminology D 123.

3.3 For definitions of other terms relating to geotextiles used in this standard, refer to Terminology D 4439.

4. Summary of Test Method

4.1 A test specimen is clamped without tension between circular plates of a ring clamp attachment secured in a tensile testing machine. A force is exerted against the center of the unsupported portion of the test specimen by a solid steel rod attached to the load indicator until rupture of the specimen occurs. The maximum force recorded is the value of puncture resistance of the specimen.

5. Significance and Use

5.1 This test method is an index test for determining the puncture resistance of geotextiles, geomembranes, and related products. The use of this test method is to establish an index value by providing standard criteria and a basis for uniform reporting.

5.2 This test method is considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments of geotextiles, geomembranes, and related materials since the test method has been used extensively in the trade for acceptance testing.

5.2.1 In case of a dispute arising from differences in reported test results when using this test method for acceptance testing of commercial shipments, the purchaser and the supplier should conduct comparative tests to determine if there is a statistical bias between their laboratories. Competent statistical assistance is recommended for the investigation of bias. As a minimum, the two parties should take a group of test specimens that are as homogeneous as possible and that are from a lot material of the type in question. The test specimens should then be randomly assigned in equal numbers to each laboratory for testing. The average results from the two laboratories should be compared using Student's *t*-test for unpaired data and an acceptable probability level chosen by the two parties before the testing is begun. If

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-35 on Geosynthetics and is the direct responsibility of Subcommittee D35.01 on Mechanical Properties.

Current edition approved Aug. 19, 1988. Published October 1988.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 07.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.09.

a bias is found, either its cause must be found and corrected or the purchaser and the supplier must agree to interpret future test results in the light of the known bias.

6. Apparatus

6.1 *Tensile/Compression Testing Machine*, of the constant-rate-of extension (CRE) type, with autographic recorder conforming to the requirements of Specification D 76. See Fig. 1.

6.2 *Ring Clamp Attachment*, consisting of concentric plates with an open internal diameter of 45 ± 0.025 mm (1.772 ± 0.001 in.), capable of clamping the test specimen without slippage. A suggested clamping arrangement is shown in Figs. 1 and 2. The external diameter is suggested to be 100 ± 0.025 mm (3.937 ± 0.001 in.). The diameter of the six holes used for securing the ring clamp assembly is suggested to be 8 mm (0.315 in.) and equally spaced at a radius of 37 mm (2.95 in.). The surfaces of these plates can

consist of grooves with O-rings or coarse sandpaper bonded onto opposing surfaces.

6.3 *Solid Steel Rod*, with a diameter of 8 ± 0.01 mm (0.35 ± 0.005 in.) having a flat end with a $45^\circ = 0.8$ mm (0.315 in.) chamfered edge contacting the test specimen's surface. See Figs. 1 and 3.

7. Sampling

7.1 *Lot Sample*—Divide the product into lots and take the lot sample as directed in Practice D 4354.

7.2 *Laboratory Sample*—For the laboratory sample take a swatch extending the full width of the geotextile, of sufficient length along the selvage from each sample roll so that the requirements of 7.3 and 8.1 can be met. Take a sample that will exclude material from the outer wrap and inner wrap around the core unless the sample is taken at the production



FIG. 1 Photographs of Test Setup and Fixture

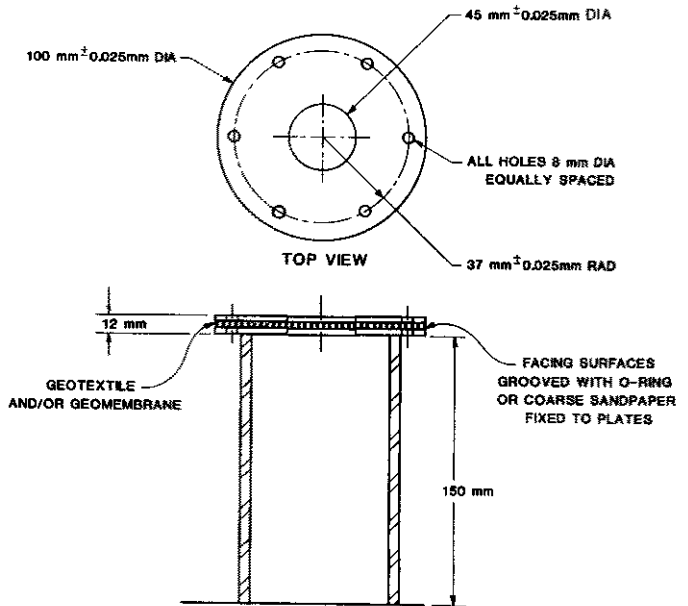


FIG. 2 Test Fixture Detail (Not to Scale)

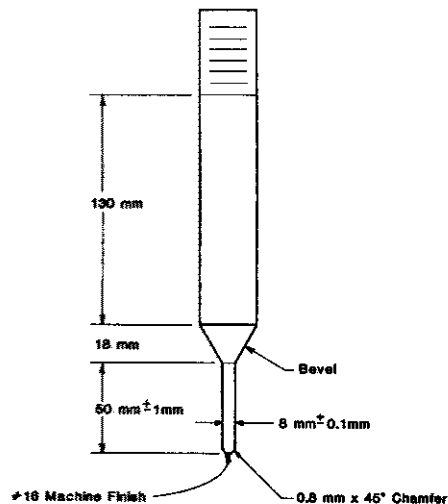


FIG. 3 Test Probe Detail (Not to Scale)

site, then inner and outer wrap material may be used.

7.3 *Test Specimens*—Select from the laboratory sample the number of specimens directed in Section 8. Minimum specimen diameter is 100 mm (4 in.) to facilitate clamping. Space the specimens along a diagonal on the unit of the laboratory sample. Take no specimens nearer the selvage or edge of the geotextile sample than 1/10 the width of the geotextile sample.

8. Number of Specimens

8.1 *Reliable Estimate of v*—When there is a reliable estimate of *v* based on extensive past records for similar materials tested in the user's laboratory, calculate the number of specimens per unit in the laboratory sample using Eq. 1:

$$n = (tv/a)^2 = (tv)^2/36 \tag{1}$$

where:

- n* = number of specimens (rounded upward to a whole number),
- v* = reliable estimate of the coefficient of variation for individual observations on similar materials in the user's laboratory under conditions of single-operator precision,
- t* = value of Student's test for two-sided limits, (see Table 1) a 95 % probability level, and the degrees of freedom associated with the estimate of *v*, and
- A* = 6 % of the average, the value of the allowable variable.

8.2 *No Reliable Estimate of v*—When there is no reliable estimate of *v* in the user's laboratory, specify the fixed number of 15 specimens per swatch in the laboratory sample. This number of specimens is calculated using *v* = 10 % of the average, which is a somewhat larger value of *v* than is usually found in practice. When a reliable estimate of *v* for the user's laboratory becomes available, Eq. 1 will usually require fewer than 15 specimens per swatch in the laboratory sample.

9. Conditioning

9.1 Bring the specimens to moisture equilibrium in the atmosphere for testing geotextiles (3.1). Equilibrium is considered to have been reached when the increase in the mass of the specimen, in successive weighings made at intervals of not less than 2 h, does not exceed 0.1 % of the mass of the specimen. In general, most geotextiles, geomembranes, and related products contain more moisture when received than they will after reaching moisture equilibrium.

NOTE 2—It is recognized that in practice, geotextile materials are frequently not weighed to determine when moisture equilibrium has been reached. While such a method cannot be accepted in cases of dispute, it may be sufficient in routine testing to expose the material to the standard atmosphere for a reasonable period of time before the specimens are tested. A time of at least 24 h has been found acceptable in most cases. However, certain fibers may contain more moisture upon receipt than after conditioning. When this is known, a preconditioning cycle, as described in Practice D 1776, may be agreed upon by the contractual parties for routine testing.

10. Procedure

10.1 Select the load range of the tensile/compression testing machine such that the rupture occurs between 10 and 90 % of the full-scale load.

TABLE 1 Values of Student's t for One-Sided Limits and the 95 % Probability^A

df	One-Sided	df	One-sided	df	One-Sided
1	6.314	11	1.796	22	1.717
2	2.920	12	1.782	23	1.711
3	2.353	13	1.771	26	1.706
4	2.123	14	1.761	28	1.701
5	2.015	15	1.753	30	1.697
6	1.943	16	1.746	40	1.684
7	1.895	17	1.740	50	1.676
8	1.860	18	1.734	60	1.671
9	1.833	19	1.729	120	1.658
10	1.812	20	1.725		

^A Values in this table were calculated using Hewlett Packard HP 67/97 Users' Library Program 03848D, "One-Sided and Two-Sided Critical Values of Student's t" and 00305D, "Improved Normal and Inverse Distribution." For values at other than the 95 % probability level, see published tables of critical values of Student's t in any standard statistical text. Further use of this table is defined in Practice D 2905.

10.2 Center and secure the specimen between the holding plates ensuring that the test specimen extends to or beyond the outer edges of the clamping plates.

10.3 Test at a machine speed of 300 ± 10 mm (12 in. ± 1/2 in.)/min until the puncture rod completely ruptures the test specimen.

NOTE 3—The rate of testing specified is not an indication of the performance of the specimen for its end use.

10.4 Read the puncture resistance from the greatest force registered on the recording instrument during the test. For the testing of composite geotextile or composite geomembrane materials, there may be a double peak. If so, the initial value should be reported even if the second peak is higher than the first one.

10.5 For geotextile testing, if the yarns fail to break due to the slippage of the specimen from the ring clamp or if the probe slips between the yarns without causing yarn breakage, discard the result and test another specimen.

11. Calculation

11.1 Calculate the average puncture resistance and standard deviation for all tests as read directly from the recording instrument.

12. Report

12.1 State that the specimens were treated as directed in Test Method D 4833.

12.2 Report on the following information:

12.2.1 The method of holding the test specimen in the clamping device.

12.2.2 The average puncture resistance of the specimens tested.

12.2.3 The coefficient of variation (if known) and standard deviation for each group of specimens.

12.2.4 The variation, if any, from the described test method.

13. Precision and Bias

13.1 *Precision*—The precision of the procedure in this test method for measuring the puncture resistance of geotextiles, geomembranes, and related materials is being established.

13.2 *Bias*—The procedure in this test method for measuring the puncture resistance of geotextiles, geomembranes, and related materials has no bias because the value of that property can be defined only in terms of a test method.

14. Keywords

14.1 geomembranes; geotextiles; puncture; puncture resistance

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.



Standard Test Method for Measuring Nominal Thickness of Geotextiles and Geomembranes¹

This standard is issued under the fixed designation D 5199; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method is used to measure the nominal thickness of geotextiles and geomembranes.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values are provided in inch-pound units for information only.

1.3 This test method does not provide thickness values for geotextiles and geomembranes under variable normal compressive stresses. This test method determines nominal thickness, not necessarily minimum thickness.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 123 Terminology Relating to Textiles²

D 1776 Practice for Conditioning Textiles for Testing²

D 1777 Method for Measuring Thickness of Textiles Materials²

D 4354 Practice for Sampling of Geotextiles for Testing³

D 4439 Terminology for Geotextiles³

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *geomembrane, n*—an essentially impermeable membrane used with foundation, soil, rock, earth or any other geotechnical engineering related material as an integral part of a man-made project, structure, or system.

3.1.2 *geotextiles, n*—a planar product manufactured from polymeric material used with soil, rock, earth, or other geotechnical engineering related material as an integral part of a man-made project, structure, or system.

3.1.3 *geotextiles, n*—any permeable textile used with soil, rock, earth or any other geotechnical material as an integral part of a man-made project, structure, or system.

3.1.4 *pressure, n*—the force or load per unit area.

3.1.5 *thickness*—(1) the distance between one planar surface and its opposite parallel and planar surface; (2) in the textiles the distance between the upper and lower surfaces of the material, measured under a specified pressure and time.

3.2 For definition of other textile terms used in this standard, refer to Terminology D 123.

3.3 For definitions of other terms relating to geotextiles and geomembranes used in this standard, refer to Terminology D 4439.

4. Summary of Test Method

4.1 The nominal thicknesses of geotextile and geomembrane materials is determined by observing the perpendicular distance that a movable plane is displaced from a parallel surface by the geotextile or geomembrane material while under a specified pressure (2 kPa for geotextiles and 20 kPa for geomembranes for 5 s).

5. Significance and Use

5.1 Thickness is one of the basic physical properties used to control the quality of many geotextiles and geomembranes. Thickness values are required in calculation of some geotextile and geomembrane parameters such as permeability coefficients, tensile stress (index), and the like thickness is not indicative of field performance and therefore is not recommended for specifications.

5.2 The thickness of geotextiles and geomembranes may vary considerably depending on the pressure applied to the specimen during measurement. Where observed changes occur, thickness decreases when applied pressure is increased. To minimize variation, specific sample size and applied pressure are indicated in this method to ensure all results are comparable.

5.3 To determine the effect of difference pressure loadings on the measure thickness of geotextiles and geomembranes, use this test method.

5.4 This test method may be used for acceptance testing of commercial shipments of geotextiles and geomembranes, but caution is advised since information on between-laboratory precision is incomplete. Comparative tests, as directed in 5.4.1 may be advisable.

5.4.1 In case of a dispute arising from differences in reported test results when using this test method for acceptance testing of commercial shipments, the purchaser and the supplier should conduct comparative tests to determine if there is a statistical bias between their laboratories. Competent statistical assistance is recommended for the investigation of bias. As a minimum, the two parties should take a group of test specimens that are as homogeneous as possible and that are formed from a lot of material of the type in question. The test specimens should be randomly assigned in equal numbers to each laboratory for testing. The average results from the two laboratories should be compared using Student's *t*-test for unpaired data and an acceptable probability level chosen by the two parties before the testing is

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-35 on Geosynthetics and is the direct responsibility of Subcommittee D35.03 on Permeability and Filtration.

Current edition approved Dec. 10, 1995. Published June 1996. Originally published as D 5199 - 91. Last previous edition D 5199 - 91.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 07.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.09.

begun. If bias is found, either its cause must be found and corrected or the purchaser and supplier must agree to interpret future tests in the light of the known bias.

NOTE 1—The user should be aware that the compressibility of the materials, their rebound characteristics, and the like will also affect the thickness of the geotextiles and geomembranes following the time when they are rolled up on rolls shipped and stored.

6. Apparatus

6.1 *Thickness Testing Instrument*—The thickness gage shall have a base (or anvil) and a free moving presser foot plate whose planar faces are parallel to each other to <0.01 mm. A gage with a 56.4 mm (2.22 in.) diameter presser foot, the base shall extend at least 10 mm in all directions further than the edge of the 2500 mm² circular pressor foot, shall be used for measurements of geotextiles. A gage with a 6.35 mm (0.250 in.) diameter pressor foot shall be used for laboratory measurements of geomembranes. A gage with 6.35 mm (0.250 in.) diameter pressor foot and base may be used for field measurements of geomembrane thickness. The instruments must be capable of measuring a maximum thickness of at least 10 mm to an accuracy of at least ±0.002 mm. The gages shall be constructed to permit gradual application of pressure to a specific force of 2 ± 0.02 kPa (0.29 ± 0.003 psi) for geotextiles and 20 ± 0.2 kPa (2.9 ± 0.03 psi) for geomembranes. Dead-weight loading may be used.

6.1.1 The specified force of 20 kPa may be inadequate for some HDPE geomembranes. A pressure in the range of 50 to 200 kPa is recommended for HDPE geomembranes if fictitiously high readings are suspected using the 20 kPa pressure.

NOTE 2—(X1) lists some of the suppliers of apparatus for thickness measurement.

6.2 *Cutting Dies*—Dies to cut specimens should have dimensions at least as large as a circle of 75 mm (3 in.) diameter.

NOTE 3—Due to compressibility of many geotextiles and geomembranes the cutting and handling preparation may change the thickness. Care should be exercised to minimize these effects.

7. Sampling

7.1 *Lot Sample*—In the absence of other guidelines divide the product into lots and take lot samples as specified in Practice D 4354.

7.2 *Laboratory Sample*—Consider the units in the lot sample as the units in the laboratory sample. For the laboratory sample, take a full width sample of sufficient length along the selvage or edge of the roll so that the requirements of 7.3 through 7.5.2 can be met. Exclude the inner and outer wraps of the roll or any material containing folds, crushed areas or other distortions not representative of the sampled lot.

7.3 Remove test specimens from the laboratory sample in a randomly distributed pattern across the width with no specimen taken nearer than 100 mm (4 in.) from the selvage or roll edge, unless otherwise specified. For geomembranes include at least one specimen taken no more than 152 mm (6 in.) from the edge. Since seams are an important part of geomembrane applications, thickness readings within 152 mm (6 in.) of each edge is appropriate.

7.4 *Test Specimens*—From each unit in the laboratory

sample, remove the specimens so that the edge of the specimen will extend beyond the edge of the presser foot by 10 mm (0.39 in.) in all directions (that is at least a circle of 75 mm ((3 in.)), diameter).

7.5 *Number of Specimens*—Unless otherwise agreed upon, as when provided in an applicable material specification, take a number of test specimens per laboratory sample such that the user may expect at the 95 % probability level that the test result is not more than 6.0 % of the average above or below the true average of the sample. Determine the number of specimens per sample as follows:

7.5.1 *Reliable Estimate of v*—When there is a reliable estimate of *v* based upon extensive part records for similar materials tested in the user's laboratory as directed in the method, calculate the required number of specimens for the machine and cross-machine directions as follows:

$$n = (tv/A)^2$$

where:

n = number of test specimens (rounded upward to a whole number),

v = reliable estimate of the coefficient of variation of individual observations on similar materials in the user's laboratory under conditions of single-operation precision, %,

t = the value of Student's *t* for one-sided limits (see Table 1), a 95 % probability level, and the degrees of freedom associated with the estimate of *v*, and

A = 5.0 % of the average, the value of the allowable variation.

7.5.2 *No Reliable Estimate of v*—When there is no reliable estimate of *v* for the user's laboratory, Eq 1 should not be used directly. Instead, specify the fixed number (10) of specimens. The number of specimens is calculated using *v* = 9.5 % of the average. These values for *v* are somewhat larger than usually found in practice. When a reliable estimate of *v* for the user's laboratory becomes available, Eq 1 will usually require fewer than the fixed number of specimens.

8. Conditioning

8.1 Bring the specimens to moisture equilibrium in the atmosphere for testing geotextiles and geomembranes, that is temperature of 21 ± 2°C (70 ± 4°F) and relative humidity of 60 ± 10 %.

TABLE 1 Values of Student's *t* for Two-Sided Limits and the 95 % Probability^a

df	<i>t</i> .025	df	<i>t</i> .025	df	<i>t</i> .025
1	12.706	11	2.201	21	2.080
2	4.303	12	2.179	22	2.074
3	3.182	13	2.160	23	2.069
4	2.776	14	2.145	24	2.064
5	2.571	15	2.131	25	2.060
6	2.447	16	2.120	26	2.056
7	2.365	17	2.110	27	2.052
8	2.306	18	2.101	28	2.048
9	2.262	19	2.093	29	2.045
10	2.228	20	2.086	inf.	1.960

^a Values in this table were calculated using Hewlett Packard HP 67/97 Users' Library Programs 03848D, "One-Sided and Two-Sided Critical Values of Student's *t*" and 00350D, "Improved Normal and Inverse Distribution." For values at other than the 95 % probability level, see published tables of critical values of Student's *t* in any standard statistical text. Further use of this table is defined in Practice D 2905.

8.2 Moisture Equilibrium is considered to have been reached when the increase in mass of the specimen, in successive weighings made at intervals of not less than 2 h, does not exceed 0.1 % of the mass of the specimen. In general, many geotextiles and geomembranes contain more moisture when received than they will after reaching moisture equilibrium.

NOTE 4—It is recognized that in practice, geotextiles and geomembranes are frequently not weighed to determine when moisture equilibrium has been reached. While such a method cannot be accepted in cases of dispute, it may be sufficient in routine testing for a reasonable period of time before the specimens are tested. A time of at least 24 h has been found acceptable in most cases. However, fibers may contain more moisture upon receipt than after conditioning and lose moisture relatively slowly during conditioning. When this is known, a preconditioning cycle, as described in Practice D 1776, may be agreed upon by the contractual parties for routine testing.

9. Procedure

9.1 Test the conditioned specimens in the standard atmosphere specified in 8.1.

9.2 Handle the test specimens carefully to avoid altering the natural state of the material.

9.3 With force applied to the presser foot on the base (no test specimen present), zero the measuring scale or record the "base reading." Lift the presser foot, center the test specimen on the base under the presser foot, and bring the presser foot into contact with the material. Gradually increase the pressure to 2 kPa (0.29 psi) for geotextiles and 20 kPa (2.9 psi) for geomembranes. After the full force has been applied to presser foot for 5 s against the specimen, record the thickness value to the nearest 0.002 mm and remove the specimen from the test device.

9.4 Repeat the method for each of the remaining specimens.

10. Calculation

10.1 Calculate the average of the thickness for all test results as read directly from the test instrument.

11. Report

11.1 The report for the nominal thickness shall include the following information:

11.1.1 Project, type of geotextile or geomembranes tested, and method of sampling.

11.1.2 Name or description of thickness apparatus used for testing.

11.1.3 Dimensions of the presser foot and of the specimen.

11.1.5 Loading time interval.

11.1.6 Number of tests.

11.1.7 Average nominal thickness, and

11.1.8 Coefficient of variation of thickness in the sample, in percent (optional).

11.1.9 Any unusual or out of standard conditions or observations made during the tests.

12. Precision and Bias

12.1 Precision: Geotextiles:

12.1.1 Inter-Laboratory Test Program⁴—An inter-laboratory study of Test Method D 5199 was performed in 1994. Each of six laboratories tested ten randomly drawn specimens from each of four materials.

12.1.2 Result—The precision information given below has been calculated for the comparison of six test results, each of which is the average of ten specimens. Four different materials were tested.

12.1.3 95 % Repeatability Limit—The repeatability limit is 14 % of the test results. For the different materials, the repeatability limits range from 22 % to 9 %.

12.1.4 95 % Reproducibility Limit (Between Laboratory)—The reproducibility limit is 23 % of the test results. For the different materials, the repeatability limits range from 33 % to 17 %.

12.1.5 The respective coefficients of variation percentages for the test results may be obtained by dividing the above numbers by 2.8. Hence for the four materials tested:

Repeatability	Reproducibility
Material A—8 %	Material A—12 %
Material B—4 %	Material B— 8 %
Material C—3 %	Material C— 7 %
Material D—5 %	Material D— 6 %

12.2 Precision: Smooth Surfaced Geomembranes

12.2.1 Inter-Laboratory Test Program⁴—An inter-laboratory study of Test Method D 5199 was performed in 1994. Each of three laboratories tested ten randomly drawn specimens from each of four materials.

12.2.2 Result—The precision information given below has been calculated for the comparison of three test results, each of which is the average of ten specimens. Four different materials were tested.

12.2.3 95 % Repeatability Limit—The repeatability limit is 5 % of the test results. For the different materials, the repeatability limits range from 8 % to 2 %.

12.2.4 95 % Reproducibility Limit (Between Laboratory)—The reproducibility limit is 12 % of the test results. For the different materials, the repeatability limits range from 18 % to 8 %.

12.2.5 The respective coefficients of variation percentages for the test results may be obtained by dividing the above numbers by 2.8. Hence for the four materials tested:

Repeatability	Reproducibility
Material A—1 %	Material A—4 %
Material B—1 %	Material B—7 %
Material C—3 %	Material C—3 %
Material D—2 %	Material D—4 %

12.3 Bias—The procedure in this test method has no bias because the value of that property can only be defined in terms of the test method.

13. Keywords

13.1 sample; selvage; specimen

⁴ The design of the experiment, similar to that of Practice E 691, and a within-between analyzer of the data will be available.

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. Some Suppliers of Thickness Measuring Apparatus— American Instrument Company, Custom Scientific Instruments, Inc., Federal Products Corporation, Frank E. Randall Company, Inc., Frazier Precision Instrument Company, Inc., Testing Machines, Inc., The Ames Company, and Thwing-Albert Instrument Company.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.



Standard Test Method for Measuring Mass per Unit Area of Geotextiles¹

This standard is issued under the fixed designation D 5261; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method can be used as an index to the determination of mass per unit area of all geotextiles.

1.2 The values stated in SI units or other units shall be regarded separately as standard. The values stated in parentheses are provided for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety problems, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 123 Terminology Relating to Textiles²

D 1776 Practice for Conditioning Textiles for Testing²

D 4354 Practice for Sampling of Geosynthetics for Testing³

D 4439 Terminology for Geotextiles³

2.2 ISO/DIS Document:

9864-1990 Mass per Unit Area of Geotextiles⁴

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *atmosphere for testing geotextiles, n*—air maintained at a relative humidity of $65 \pm 5\%$ and temperature of $21 \pm 2^\circ\text{C}$ ($70 \pm 4^\circ\text{F}$).

3.1.2 *geosynthetic, n*—a planar product manufactured from polymeric material used with soil, rock, earth, or other geotechnical-engineering-related material as an integral part of a man-made project, structure, or system.

3.1.3 *geotextile, n*—any permeable textile used with foundation, soil, rock, earth, or any other geotechnical-engineering-related material as an integral part of a man-made project, structure, or system.

3.1.3.1 *Discussion*—Current textile manufacturing techniques produce: nonwoven fabrics, knitted (non-tabular) fabrics, and woven fabrics.

3.2 For definitions of other textile terms used in this test method, refer to Terminology D 123.

3.3 For definitions of other terms relating to geotextiles used in this test method, refer to Terminology D 4439.

4. Summary of Test Method

4.1 The mass per unit area of a geotextile is determined by weighing test specimens of known dimensions, cut from various locations over the full width of the laboratory sample. The calculated values are then averaged to obtain the mean mass per unit area of the laboratory sample.

5. Significance and Use

5.1 This test method is used to determine if the geotextile material meets specifications for mass per unit area. This test method can be used for quality control to determine specimen conformance. This measurement allows for a simple control of the delivered material by a comparison of the mass per unit area of the delivered material and the specified mass per unit area.

5.2 The procedure in this test method may be used for acceptance testing of commercial shipments, but caution is advised since information about between-laboratory precision is incomplete. Comparative tests in accordance with 5.2.1 are advisable.

5.2.1 In case of a dispute arising from differences in reported test results when using the procedures in this test method for acceptance testing of commercial shipments, the purchaser and the manufacturer should conduct comparative tests to determine if there is a statistical bias between their laboratories. Competent statistical assistance is recommended for the investigation of bias. As a minimum, the two parties should take a group of test specimens that are as homogeneous as possible and which are from a lot of material of the type in question. The test specimen should then be randomly assigned in equal numbers to each laboratory for testing. The average results from the two laboratories should be compared using the appropriate student's *t*-test and an acceptable probability level chosen by the two parties before testing is begun. If a bias is found, either its cause must be found and corrected or the purchaser and the manufacturer must agree to interpret future test results in light of the known bias.

6. Apparatus

6.1 *Balance*, calibrated, capable of weighing to 5000 g, with an accuracy of 0.01 g.

7. Sampling

7.1 *Lot Sample*—Divide the test specimens into lots, and for the lot to be tested, take the lot sample in accordance with Practice D 4354.

7.2 *Laboratory Sample*—Consider the units in the lot sample as the units in the laboratory sample. For the laboratory sample, take a full width swatch of sufficient

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-35 on Geosynthetics and is the direct responsibility of Subcommittee D35.01 on Mechanical Properties.

Current edition approved June 15, 1992. Published August 1992.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 07.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08.

⁴ Available from ISO Case Postale 56, CH-1211, Geneva 20, Switzerland.

length along the salvage so that the requirements of 7.3 can be met.

7.2.1 The laboratory sample should be free from imperfections or other areas not representative of the material sampled.

7.3 The number of test specimens shall be a minimum of five, cut such that they are representative of the entire roll width and with a combined total minimum area of 100 000 mm² (155 in.²). Each test specimen shall be equal in area (not less than 10 000 mm² (15.5 in.²), as described in ISO/DIS 9864-1990). Cut each test specimen with an accuracy of ±0.5 % of its area.

NOTE 1—For test specimens prepared in the field, larger than minimum-sized test specimens will be required to stay within the cutting accuracy (0.5 %). Field experience has shown that a test specimen with an area not less than 90 000 mm² (139.5 in.²) will be necessary to achieve the required accuracy.

7.3.1 Cut the test specimens at least one tenth the width of the geotextile from any selvage, unless otherwise specified.

7.3.2 If the structure of the geotextile is such that the specified test specimen size is not representative of the laboratory sample, a larger size shall be agreed upon between the purchaser and the supplier.

8. Conditioning

8.1 Bring the test specimens to moisture equilibrium in the atmosphere for testing geotextiles. Equilibrium is considered to have been reached when the increase in mass of the test specimen in successive weighings, made at intervals of not less than 2 h, does not exceed ±0.1 % of the mass of the test specimen. In general practice, the industry approaches equilibrium from the “as-received” side.

NOTE 2—It is recognized that in practice geotextile materials frequently are not weighed to determine when moisture equilibrium has been reached. While such a procedure cannot be accepted in cases of dispute, it may be sufficient in routine testing to expose the material to the standard atmosphere for testing for a reasonable period of time before the specimens are tested. A time of at least 24 h has been found acceptable in most cases. However, certain fibers may exhibit slow moisture equilibration rates from the “as-received” wet side. When this is known, a preconditioning cycle, in accordance with Practice D 1776, may be agreed upon between the contractual parties.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

9. Procedure

9.1 Test the conditioned test specimens in the standard atmosphere for testing geotextiles.

9.2 Weigh each of the conditioned specimens separately on a calibrated balance to the nearest 0.01 g.

10. Calculation

10.1 Calculate the mass per unit area of each of the specimens as follows:

$$m = M_s \times 1\,000\,000/A$$

where:

m = mass per unit area rounded to the nearest 0.1 g/m²,

M_s = mass of the specimen, g, and

A = area of the specimen, mm².

10.2 Repeat this procedure for each test specimen.

10.3 Calculate the average and standard deviation of the mass per unit area results for the test specimens.

11. Report

11.1 Report the following information on mass per unit area of geotextiles:

11.1.1 Type of geotextile tested, sampling method used, the test specimen size, shape, and the number of test specimens tested,

11.1.2 The average mass per unit area and standard deviation to three significant figures, and

11.1.3 A statement of any departures from the suggested testing procedures so that the results can be evaluated and used.

12. Precision and Bias

12.1 *Precision*—The precision of this test method is being established.

12.2 *Bias*—This test method has no bias because the value of mass per unit area can only be defined in terms of a test method.

13. Keywords

13.1 geotextile; mass per unit area, weight



AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103
Reprinted from the Annual Book of ASTM Standards, Copyright ASTM
If not listed in the current combined index, will appear in the next edition.

Standard Test Method for CONSTANT HEAD HYDRAULIC TRANSMISSIVITY (IN-PLANE FLOW) OF GEOTEXTILES AND GEOTEXTILE RELATED PRODUCTS¹

This standard is issued under the fixed designation D 4716; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the procedure for determining the constant head hydraulic transmissivity within the manufactured plane of geotextiles and geotextile related products under varying normal compressive stresses. Hydraulic gradients and specimen contact surfaces are selected by the user to most closely model anticipated field conditions.

1.2 This test method is limited to geotextiles and related materials that allow continuous flow paths to develop parallel to the longest edge of the specimen tested.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values stated in parentheses are provided for information only.

1.4 *This standard may involve hazardous materials, operations and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate health and safety practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 4354 Practice for Sampling of Geotextiles for Testing²

D 4439 Terminology Relating to Geotextiles and Geotextile Related Products²

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *geotextile*, n —any permeable textile

used with foundation, soil, rock, earth or any other geotechnical engineering related material as an integral part of a man-made project, structure or system. (D 4439)

3.1.2 *geotechnics*, n —the application of scientific methods and engineering principles to the acquisition, interpretation, and use of knowledge of materials of the earth's crust to the solution of engineering problems. (D 4439)

3.1.2.1 *Discussion*—Geotechnics embraces the fields of soil mechanics, rock mechanics, and many of the engineering aspects of geology, geophysics, hydrology, and related sciences.

3.1.3 *normal stress*, σ (FL^{-2}), n —the stress component normal to a given plane. (D 123)

3.1.4 *hydraulic transmissivity*, θ ($L^2 T^{-1}$), n —for a geotextile or related product, the volumetric flow rate of water per unit width of specimen per unit gradient in a direction parallel to the plane of the specimen.

3.1.5 *head*, n —pressure at a point in a liquid, expressed in terms of the vertical distance of the point below the surface of the liquid. (D 123)

3.1.6 *hydraulic gradient*, i , n —the loss of hydraulic head per unit distance of flow, dh/dL . (D 123)

3.1.7 *laminar flow*, n —flow in which the

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-35 on Geotextiles, Geomembranes, and Related Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D 35.03 on Hydraulic Properties.

Current edition approved Aug. 19, 1987. Published October 1987.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08.



head loss is proportional to the first power of the velocity. (D 123)

3.1.8 *turbulent flow, n*—that type of flow in which any water particle may move in any direction with respect to any other particle, and in which the head loss is approximately proportional to the second power of the velocity. (D 123)

3.1.9 For definitions of terms relating to geotextiles, refer to Terminology D 4439.

3.2 *Descriptions of Terms Specific to This Standard:*

3.2.1 *in-plane flow, n*—fluid flow confined to a direction parallel to the plane of a geotextile or related product.

3.2.2 *gravity flow, n*—flow in a direction parallel to the plane of a geotextile or related product driven predominately by a difference in elevation between the inlet and outflow points of a specimen.

3.2.2.1 *Discussion*—The pressure at the outflow is considered to be atmospheric.

3.2.3 *pressure flow, n*—flow in a direction parallel to the plane of a geotextile or related product driven predominately by a differential fluid pressure.

4. Summary of Test Method

4.1 The hydraulic transmissivity is determined by measuring the quantity of water that passes through a test specimen in a specific time interval under a specific normal stress and a specific hydraulic gradient. The hydraulic gradient and specimen contact surfaces are selected by the user to model a given set of field parameters as closely as possible. Measurements are repeated under normal stresses ranging from 10 kPa (1.45 psig) to a maximum value specified by the user.

5. Significance and Use

5.1 This test method is intended as either an index test or as a design aid used to determine and compare the hydraulic transmissivity of one or several candidate geotextiles or related materials under specific conditions.

5.2 Test Method D 4716 for the determination of hydraulic transmissivity may be used for the acceptance testing of commercial shipments of geotextiles and related products, but caution is advised since information on between-laboratory precision is incomplete. Comparative tests

as directed in 5.2.1 may be advisable.

5.2.1 In case of a dispute arising from differences in reported test results when using Test Method D 4716 for acceptance testing of commercial shipments, the purchaser and the supplier should conduct comparative tests to determine if there is a statistical bias between their laboratories. Competent statistical assistance is recommended for the investigation of bias. As a minimum, two parties should take a group of test specimens that are as homogenous as possible and that are formed from a lot of material of the type in question. The test specimen should then be randomly assigned in equal numbers to each laboratory for testing. The average results from the two laboratories should be compared using Student's *t*-test for unpaired data and an acceptable probability level chosen by the two parties before the testing is begun. If bias is found, either its cause must be found and corrected or the purchaser and supplier must agree to interpret future test results in the light of the known bias.

6. Apparatus

6.1 A schematic drawing of an assembly is shown in Fig. 1. The individual components and accessories are as follows:

6.1.1 *Base*—A sturdy metal base with smooth flat bottom and sides capable of holding a test specimen of sufficient area and thickness. All seams between the bottom surface and sides of the base must be water tight and not inhibit in-plane flow of water through the specimen. All surfaces of the base in contact with the specimen shall be covered by a thin layer of rubber material of low compressibility in order to ensure a tight seal.

6.1.2 *Reservoir*—A clear plastic or glass water reservoir extending the full width of the base. The height of the reservoir shall be at least equal to the total length of the specimen. The reservoir shall have provision for maintaining a constant water level at any of several elevations.

6.1.3 *Loading Mechanism*, capable of sustaining a constant normal stress on the specimen ranging from 10 kPa (1.45 psig) to at least 250 kPa (34.7 psig). The use of static weights, pneumatic bellows systems, or piston applied stresses meeting the above conditions may be considered sufficient for use in this test.

6.1.4 *Outflow Collection*—A catch trough ex-



tending the entire width of the base is used for collection and measurement of the outflow from the specimen.

6.1.5 *Closed-cell Foam Rubber Layers*, used to model soil adjacent to the geotextile on one or both sides of the specimen if desired. This material should be selected to ensure that no continuous flow channels exist through the foam rubber layer. These layers shall extend the entire length and width of the base. The thickness of the sealed foam rubber layers shall be at least twice the thickness of the specimen of the geotextile or related material to be tested.

6.1.6 *Thickness Monitoring Device*, (optional) in the form of a dial gage, and the like may be used to monitor the change in the thickness of the geotextile specimen in the testing device under various applied normal stresses.

7. Sampling

7.1 *Lot Sample*—Divide the product into lots and for a lot to be tested take the lot sample as directed in Practice D 4354.

7.2 *Laboratory Sample*—Consider the units in the lot sample as the units in the laboratory sample. For the laboratory sample, take a full width swatch of sufficient length along the selvage so that the requirements of 7.3 can be met.

7.3 *Test Specimens*—From each unit in the laboratory sample, take three specimens with the length parallel to the machine direction of the laboratory sample and three specimens with the length parallel to cross-machine direction of the laboratory sample. Make the specimen width the larger of: (1) a width of at least 100 mm (4 in.), or (2) a width ten times the effective diameter of the largest openings in the specimen for geotextiles or related products having measurable openings within the plane of the material of 6 mm (0.25 in.) or larger. Specimen length is at least twice the specimen width up to a width of 300 mm (12 in.). Space the specimens along a diagonal on the unit of the laboratory sample so that each specimen will contain different warp ends and filling picks.

8. Procedure

8.1 *Specimen Preparation*—Trim the test specimens to the exact width of the base plate and at least the total length of the base plate.

8.1.1 Wrap the test specimens in a thin sheet of low compressibility plastic or rubber in order

to seal the sides of the specimen parallel to the direction of flow.

8.2 *Test Preparation*—Select the desired contact surfaces for the specimen substratum and superstratum as required.

NOTE 1—The nature of the material in contact with the geotextiles or related products in the field may be modeled using this test method. A rigid platen on one or both sides of the specimen simulates like surfaces encountered in the field (that is, concrete walls, stiff geomembranes, and the like) where intrusion into the geotextile pore space is not anticipated. Where pore intrusion is expected, as is the case when the geotextile is in contact with soil, a closed-cell foam rubber layer (no continuous flow paths) may be placed between the platen and the geotextile specimen.

Tests performed using on-site soils are recommended when the end use of the material is known. The long term effect of soil clogging should be considered when performing tests described in this test method.

8.2.1 Place the specimen substratum on the base and then place the test specimen over the substratum ensuring that all wrinkles, folds, etc. are removed. Place the desired specimen superstratum over the test specimen in a similar manner. Seat the top plate (platen) on the test assembly.

8.2.2 Place a small seating stress of 2 to 5 kPa (0.2 to 0.73 psig) on the platen and fill the reservoir with de-aired water to allow water to flow through the test specimen. Visually check for preferential flow paths along the boundaries of the test specimen. If such flows are observed, re-seat or discard the test specimen as required.

8.3 *Gradient Selection*—Select a test hydraulic gradient that is appropriate for the end use of the material and for specific field conditions. If the end use of a material is not known or when specific field conditions are unknown, use one of the following recommended test gradients as well as at least two lesser gradients.

8.3.1 A maximum hydraulic gradient of 1.0 is suggested for tests intended to model gravity flow conditions.

8.3.2 A maximum hydraulic gradient of 0.1 is suggested for tests intended to model pressure flow conditions.

8.3.3 For acceptance testing, perform hydraulic transmissivity tests under both of the hydraulic gradients suggested above.

8.4 *Selection of Applied Normal Stress*—Once uniform flow through the specimen is observed, adjust the normal stress applied to the test specimen to the minimum value to be used.



8.4.1 When the end use of a geotextile or related product is known, or when specific field conditions are known, select the minimum and maximum normal stress to be applied so as to model these conditions. Perform the tests using a minimum of three applied normal stresses; selecting at least one value greater than and one value less than the known design stress value.

8.4.2 For acceptance testing, perform hydraulic transmissivity tests using a minimum of five applied normal stresses ranging in value from 25 kPa (3.5 psig) to 250 kPa (34.7 psig).

8.5 *Testing*—Seat the specimen under the minimum compressive normal stress to be used in the test for a minimum of fifteen minutes (See Note 2). The specimen must be kept saturated at all times during testing. After the seating period has elapsed, fill the reservoir to the level corresponding to the hydraulic gradient selected for the test. Once uniform flow through the specimen is observed, allow at least 0.0005 m³ of water to flow through the specimen. Record the time required for at least an additional 0.0005 m³ of water to pass through the specimen. If this time exceeds 15 min, record the quantity of flow collected at 15 min for use in calculations of hydraulic transmissivity. Repeat the flow reading at least three times for each hydraulic gradient selected.

NOTE 2—The minimum seating period of 15 min suggested in 8.5 may not be sufficient when determining the hydraulic transmissivity for design purposes. Seating periods may have to be extended for a considerable length of time in order to determine the minimum or “long term” hydraulic transmissivity, which may be a function of the compressibility of the specimen. This is especially true for geotextiles or related products that exhibit significant compression creep or other long term deformation.

8.5.1 Increase the normal stress and repeat the procedure outlined in this section until the maximum desired normal stress is reached.

9. Calculation

9.1 Calculate the hydraulic transmissivity, θ , as follows (Note 3):

$$\theta = (QL)/(WH)$$

where:

- θ = hydraulic transmissivity, m²/s,
- Q = average quantity of fluid discharged per unit time, m³/s,
- L = length of the specimen, m,
- W = width of the specimen, m, and

H = difference in total head across the specimen, m.

NOTE 3—If the hydraulic transmissivity calculated in this test method is to be used to determine the coefficient of in-plane permeability of the specimen, the test must be conducted under laminar flow conditions. The constant head technique may be used as a check to determine if laminar or turbulent flow conditions exist. In this regard, it is possible to perform falling head tests for determination of the hydraulic transmissivity, keeping in mind that the gradient and flow regime cannot be determined directly. Laminar flow may not be assumed when only falling head tests are performed. To determine the flow regime under specific test conditions, plot the flow rate per unit width of the specimen versus the hydraulic gradient under each of the applied normal stresses. The data points for tests performed under each normal stress form a straight line passing through the origin if the test was conducted under laminar flow conditions. A non-linear response suggests that turbulent flow conditions exist and Darcy's Law (that is, the flow rate is linearly proportional to the hydraulic gradient under laminar flow conditions) is not considered valid.

9.2 Correct the hydraulic transmissivity to that for 20°C (68°F) by multiplying the hydraulic transmissivity by the ratio of the viscosity of water at test temperature to the viscosity of water at 20°C (68°F).

9.3 Results can be expressed as a plot of hydraulic transmissivity versus hydraulic gradient (see Fig. 2) or hydraulic transmissivity versus normal compressive stress, as shown in Fig. 3.

9.4 As an alternative, results can be presented as a plot of flow rate per unit width versus normal compressive stress, as illustrated in Fig. 4. Calculate the flow rate per unit width as follows:

$$Q/W = \theta (H/L)$$

where:

- Q = average quantity of water discharged per unit time, m³/s,
- W = width of the specimen, m,
- θ = hydraulic transmissivity, m²/s,
- H = difference in total head across the specimen, m, and
- L = length of the specimen, m.

10. Report

10.1 The report on the hydraulic transmissivity test shall include the following information:

10.1.1 Project, type of geotextile or related material tested, method of sampling used, and directions tested.

10.1.2 Type of test performed, and field con-



ditions modeled (for example, contact surface, and the like)

10.1.3 A statement of any departures from suggested testing procedure so the results can be evaluated and used.

10.1.4 Complete test data, including hydraulic head, quantity of flow collected, seating period for each stress, thickness (if monitored), temperature of water in the test reservoir, and geotextile specimen dimensions.

10.1.5 Test curves expressing the flow per unit width versus applied normal stress for each hy-

draulic gradient selected. Include temperature correction where applicable.

11. Precision and Bias

11.1 *Precision*—The precision of the procedure in Test Method D 4716 is being established.

11.2 *Bias*—The procedure in Test Method D 4716 for measuring hydraulic transmissivity of geotextiles or related material has no bias because the value of hydraulic transmissivity can be defined only in terms of a test method.

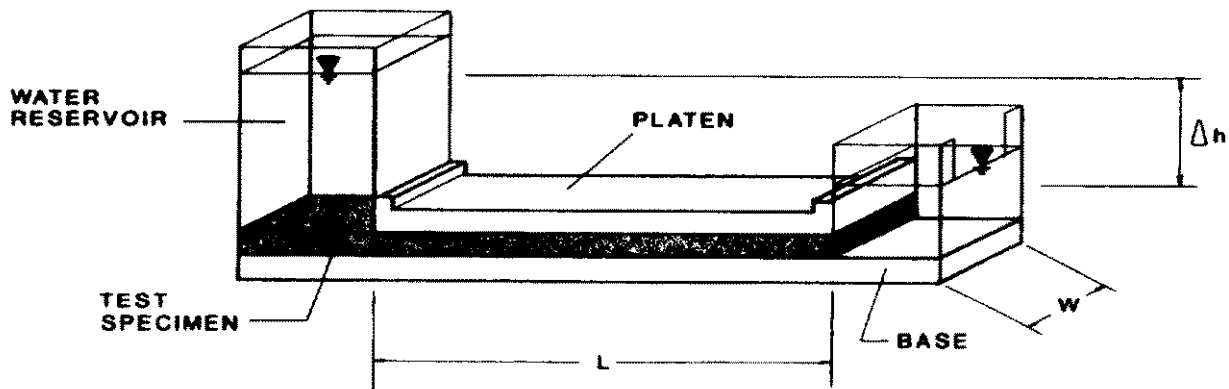


FIG. 1 A Constant Head Hydraulic Transmissivity Testing Device

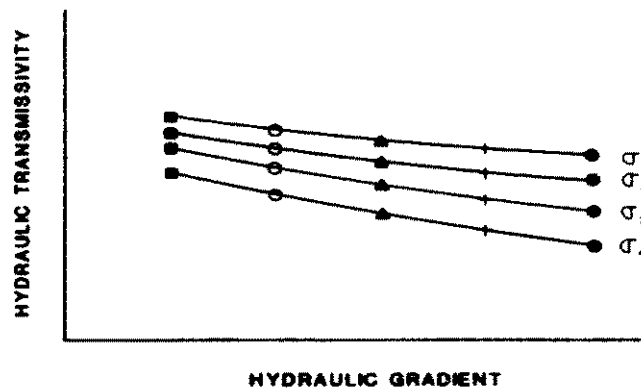


FIG. 2 Typical Plot of Hydraulic Transmissivity Versus Hydraulic Gradient Under Several Normal Compressive Stresses

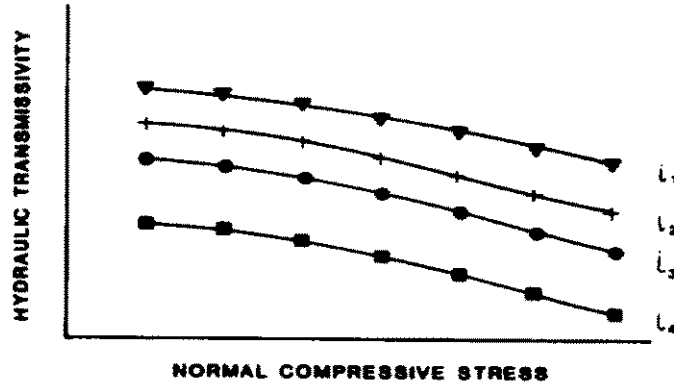


FIG. 3 Typical Plot of Hydraulic Transmissivity Versus Normal Compressive Stress Under Several Gradients

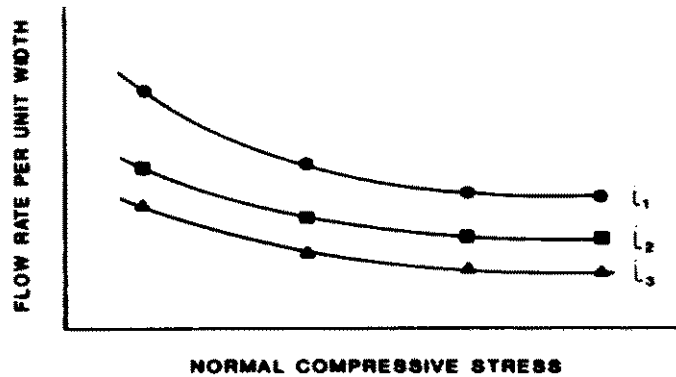


FIG. 4 Typical Plot of Flow Rate per Unit Width Versus Normal Compressive Stress Under Several Hydraulic Gradients

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.



Standard Test Method for Grab Breaking Load and Elongation of Geotextiles¹

This standard is issued under the fixed designation D 4632; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method is an index test which provides a procedure for determining the breaking load (grab strength) and elongation (grab elongation) of geotextiles using the grab method. This test method is not suitable for knitted fabrics and alternate test methods should be used. While useful for quality control and acceptance testing for a specific fabric structure, the results can only be used comparatively between fabrics with very similar structures, because each different fabric structure performs in a unique and characteristic manner in this test. The grab test methods does not provide all the information needed for all design applications and other test methods should be used.

1.2 Procedures for measuring the breaking load and elongation by the grab method in both the dry and wet state are included; however, testing is normally done in the dry condition unless specified otherwise in an agreement or specification.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as standard. The values stated in inch-pound units are provided for information only.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety problems, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 76 Specification for Tensile Testing Machines for Textiles²
- D 123 Terminology Relating to Textiles²
- D 461 Methods of Testing Felt²
- D 1682 Test Methods for Breaking Load and Elongation of Textile Fabrics²
- D 1776 Practice for Conditioning Textiles for Testing²
- D 2905 Practice for Statements on Number of Specimens for Textiles²
- D 4354 Practice for Sampling of Geosynthetics for Testing³
- D 4439 Terminology for Geotextiles³

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *atmosphere for testing geotextiles, n*—air maintained at a relative humidity of $65 \pm 5\%$ relative humidity and temperature of $21 \pm 2^\circ\text{C}$ ($70 \pm 4^\circ\text{F}$).

3.1.2 *breaking load, n*—the maximum force applied to a specimen in a tensile test carried to rupture.

3.1.3 *cross-machine direction, n*—the direction in the plane of the fabric perpendicular to the direction of manufacture.

3.1.4 *elongation at break, n*—the elongation corresponding to the breaking load, that is, the maximum load.

3.1.5 *geotextile, n*—any permeable textile material used with foundation, soil, rock, earth, or any other geotechnical material, as an integral part of a man-made product, structure, or system.

3.1.6 *grab test, n*—*in fabric testing*, a tension test in which only a part of the width of the specimen is gripped in the clamps.

3.1.6.1 *Discussion*—For example, if the specimen width is 101.6 mm (4 in.) and the width of the jaw faces 25.4 mm (1 in.), the specimen is gripped centrally in the clamps.

3.1.7 *machine direction, n*—the direction in the plane of the fabric parallel to the direction of manufacture.

3.1.8 For definitions of other terms used in this test method, refer to Terminology D 123 or Terminology D 4439.

4. Summary of Test Method

4.1 A continually increasing load is applied longitudinally to the specimen and the test is carried to rupture. Values for the breaking load and elongation of the test specimen are obtained from machine scales or dials, autographic recording charts, or interfaced computers.

5. Significance and Use

5.1 The grab method is applicable whenever it is desired to determine the "effective strength" of the fabric in use, that is, the strength of the material in a specific width, together with the additional strength contributed by adjacent material. There is no simple relationship between grab tests and strip tests since the amount of fabric assistance depends on the construction of the fabric. It is useful as a quality control or acceptance test.

5.2 The procedure in Test Method D 4632 for the determination of grab strength of geotextiles may be used for acceptance testing of commercial shipments, but caution is advised since information about between-laboratory precision is incomplete. Comparative tests as directed in 5.2.1 are advisable.

5.2.1 In case of a dispute arising from differences in reported test results when using the procedures in Test Method D 4632 for acceptance testing of commercial ship-

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-35 on Geosynthetics and is the direct responsibility of Subcommittee D35.01 on Mechanical Properties.

Current edition approved Oct. 31, 1986. Published December 1986.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 07.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08.

ments, the purchaser and the manufacturer should conduct comparative tests to determine if there is a statistical bias between their laboratories. Competent statistical assistance is recommended for the investigation of bias. As a minimum, the two parties should take a group of test specimens that are as homogeneous as possible and which are from a lot of material of the type in question. The test specimens should then be randomly assigned in equal numbers to each laboratory for testing. The average results from the two laboratories should be compared using the appropriate Student's *t*-test and an acceptable probability level chosen by the two parties before testing is begun. If a bias is found, either its cause must be found and corrected or the purchaser and the manufacturer must agree to interpret future test results in the light of the known bias.

5.3 Most geotextile fabrics can be tested by this test method. Some modification of clamping techniques may be necessary for a given fabric, depending upon its structure. Special adaptation may be necessary with strong fabrics, or fabrics made from glass fibers, to prevent them from slipping in the clamps or being damaged as a result of being gripped in the clamps, such as cushioning the clamp or boarding the specimen within the clamp.

5.4 This test method is applicable for testing fabrics either dry or wet. It may be used with constant-rate-of-traverse (CRT) or constant-rate-of-extension (CRE) type tension machines. However, there may be no overall correlation between the results obtained with the CRT machine and the CRE machine. Consequently, these two tension testers cannot be used interchangeably. In case of controversy, the CRE machine shall prevail.

6. Apparatus

6.1 *Tensile Testing Machine*, of the constant-rate-of-extension (CRE) or constant-rate-of-traverse (CRT) type with autographic recorder conforming to the requirements of Specification D 76.

6.2 *Clamps*, having all gripping surfaces parallel, flat, and capable of preventing slipping of the specimen during a test. Each clamp shall have one jaw face measuring 25.4 by 50.8 mm (1 by 2 in.), with the longer dimension parallel to the direction of application of the load. The other jaw face of each clamp shall be at least as large as its mate. Each jaw face shall be in line, both with respect to its mate in the same clamp and to the corresponding jaw of the other clamp.

7. Sampling and Selection

7.1 *Division into Lots and Lot Samples*—Divide the material into lots and take a lot sample as directed in Practice D 4354. Rolls of fabric are the primary sampling unit.

7.2 *Laboratory Sample*—Take for the laboratory sample a swatch extending the width of the fabric and approximately 1 m (39.37 in.) along the selvage from each roll in the lot sample. The swatch may be taken from the end portion of a roll provided there is no evidence that it is distorted or different from other portions of the roll. In cases of dispute, take a swatch that will exclude fabric from the outer wrap of the roll or the inner wrap around the core.

7.3 *Test Specimens*—Cut the number of specimens from each swatch in the laboratory sample determined as directed

in Section 8. Take no specimens nearer the selvage of fabric edge than $\frac{1}{20}$ of the fabric width or 150 mm (6 in.), whichever is the smaller. Cut rectangular specimens 101.6 by 203.2 mm (4 by 8 in.). Cut the specimens to be used for grab tests in the machine direction with the longer dimension parallel to the machine direction and the specimens to be used for grab tests in the cross-machine direction with the longer dimension parallel to the cross-machine direction. Locate each group of specimens along a diagonal line on the swatch so that each specimen will contain different warp ends and filling picks. Draw a line 37 mm (1.5 in.) from the edge of the specimen running its full length. For woven and reinforced nonwoven fabrics, this line must be accurately parallel to the lengthwise yarns in the specimen.

8. Number of Specimens

8.1 Unless otherwise agreed upon as when provided in an applicable material specification, take a number of test specimens per swatch in the laboratory sample such that the user may expect at the 95 % probability level that the test result is no more than 5 % above the true average for each swatch in the laboratory sample for each the machine and cross-machine direction, respectively.

8.1.1 *Reliable Estimate of v* —When there is a reliable estimate of v based upon extensive past records for similar materials tested in the user's laboratory as directed in the method, calculate the required number of specimens using Eq 1, as follows:

$$n = (tv/A)^2 \quad (1)$$

where:

n = number of test specimens (rounded upward to a whole number),

v = reliable estimate of the coefficient of variation of individual observations on similar materials in the user's laboratory under conditions of single-operator precision, %,

t = the value of Student's *t* for one-sided limits (see Table 1), a 95 % probability level, and the degrees of freedom associated with the estimate of v , and

A = 5.0 % of the average, the value of the allowable variation.

8.1.2 *No Reliable Estimate of v* —When there is no reliable estimate of v for the user's laboratory, Eq 1 should not be used directly. Instead, specify the fixed number of 10 specimens for the machine direction tests and 10 specimens for the cross-machine direction tests. The number of specimens is calculated using $v = 9.5$ % of the average for both machine direction and cross-machine direction. These values for v are somewhat larger than usually found in practice. When a reliable estimate of v for the user's laboratory becomes available, Eq 1 will usually require fewer than the fixed number of specimens.

9. Conditioning

9.1 Bring the specimens to moisture equilibrium in the atmosphere for testing geotextiles. Equilibrium is considered to have been reached when the increase in mass of the specimen in successive weighings made at intervals of not less than 2 h does not exceed 0.1 % of the mass of the specimen. In general practice, the industry approaches equi-

librium from the "as received" side.

NOTE 1—It is recognized that in practice geotextile materials are frequently not weighed to determine when moisture equilibrium has been reached. While such a procedure cannot be accepted in cases of dispute, it may be sufficient in routine testing to expose the material to the standard atmosphere for testing for a reasonable period of time before the specimens are tested. A time of at least 24 h has been found acceptable in most cases. However, certain fibers may exhibit slow moisture equilization rates from the "as received" wet side. When this is known, a preconditioning cycle, as described in Practice D 1776, may be agreed upon between contractual parties.

9.2 Specimens to be tested in the wet condition shall be immersed in water maintained at a temperature of $21 \pm 2^\circ\text{C}$ ($70 \pm 4^\circ\text{F}$). The time of immersion must be sufficient to wet-out the specimens thoroughly, as indicated by no significant change in strength or elongation following a longer period of immersion, and at least 2 min. To obtain thorough wetting, it may be necessary or advisable to add not more than 0.05 % of a nonionic neutral wetting agent to the water.

10. Procedure

10.1 Test the conditioned specimens in the standard atmosphere for testing in accordance with Section 9.

10.2 Set the distance between the clamps at the start of the test at 75 ± 1 mm (3 ± 0.05 in.). Select the load range of the testing machine such that the maximum load occurs between 10 and 90 % of full-scale load. Set the machine to operate at a speed of 300 ± 10 mm/min (12 ± 0.5 in./min).

10.3 Secure the specimen in the clamps of the testing machine, taking care that the long dimension is as nearly as possible parallel to the direction of application of the load. Be sure that the tension in the specimen is uniform across the clamped width. Insert the specimen in the clamps so that approximately the same length of fabric extends beyond the jaw at each end. Locate the jaws centrally in the widthwise direction by having the line which was drawn 37 mm (1.5 in.) from the edge of the specimen run adjacent to the side of the upper and lower front jaws which are nearest this edge. This ensures that the same lengthwise yarns are gripped in both clamps.

10.4 If a specimen slips in the jaws, breaks at the edge of or in the jaws, or if for any reason attributed to a faulty operation the result falls markedly below the average for the set of specimens, discard the result and take another specimen. Continue this procedure until the required number of acceptable breaks have been obtained.

NOTE 2—The decision to discard a break shall be based on observation of the specimen during the test and upon the inherent variability of the fabric. In the absence of other criteria for rejecting a so-called jaw break, any break occurring within 5 mm ($\frac{1}{4}$ in.) of the jaws which results in a value below 80 % of the average of all the other breaks shall be discarded. No other break shall be discarded unless it is known to be faulty.

NOTE 3—It is difficult to determine the precise reason for breakage of test specimens near the edge of the jaws. If breaks are caused by damage to the specimen by the jaws, then the results should be discarded. If, however, they are merely due to randomly distributed weak places in specimens, the results should be considered perfectly legitimate. In some cases, breaks may be caused by a concentration of stress in the area adjacent to the jaws. If this occurs, the specimen is prevented from contracting in width as the load is applied. In such cases, a break near the edge of the jaws is inevitable and shall be accepted as a characteristic of the geotextile when tested by this test method.

10.5 Start the tensile testing machine and the area measuring device, if used, and continue running the test to rupture. Stop the machine and reset to the initial gage position. Record and report the test results for each direction separately.

10.6 If fabric manifests slippage in the jaws, the jaw faces, but not the jaw dimensions, may be modified. If a modification is used, the method of modification should be stated in the report.

10.7 If a measure of the elongation of the specimen is required, the initial length and therefore the measured elongation depend upon the pretension applied in placing the specimen in the clamps of the machine. In this case, secure the specimen in one clamp of the machine and apply a pretension to the specimen of approximately $\frac{1}{2}$ % of the breaking load, or other initial load specified for the particular material in question, before gripping the specimen in the other clamp.

10.8 Unless otherwise specified, measure the elongation of the fabric at any stated load by means of a suitable autographic recording device, at the same time the breaking strength is determined. Measure the elongation from the point where the curve leaves the zero loading axis established after preload is applied, to a point of corresponding force in millimetres (inches).

11. Calculation

11.1 *Breaking Load*—Calculate the breaking load by averaging the value of breaking load for all accepted specimen results. The breaking load shall be determined separately for the machine direction specimens and cross-machine direction specimens.

11.2 *Apparent Elongation*—Calculate the apparent elongation at the breaking load or at other specified loads by averaging the values of apparent elongation for all accepted specimen results. The apparent elongation shall be determined separately for the machine direction specimens and cross-machine direction specimens and expressed as the percentage increase in length, based upon the initial nominal gage length of the specimen. Report this as the apparent elongation.

NOTE 4—The observed elongation calculated as a percentage of the initial nominal gage length of the specimen should be referred to as "apparent elongation." Because the actual length of fabric stretched is usually somewhat greater than this initial length due to pull-out of fabric from between the jaws, elongation calculated on initial length may be somewhat in error, depending upon the amount of this pull-out.

12. Report

12.1 Report the following:

12.1.1 State that the tests were performed as directed in Test Method D 4632. Describe the material(s) or product(s) sampled and the method of sampling used.

12.1.2 The average grab breaking load for specimens cut in each direction, for all specimens giving acceptable breaks.

12.1.3 The average grab percent apparent elongation of specimens cut in each direction, for all specimens giving acceptable breaks, if required. Identify this as "apparent breaking elongation," or "apparent elongation at x lb load," as required by the test specifications.

12.1.4 Number of specimens tested in each direction.

- 12.1.5 Condition of specimens (wet or dry).
- 12.1.6 Type of testing machine used.
- 12.1.7 Maximum load obtainable in the range used for testing.
- 12.1.8 Type of padding used in jaws, modification of specimen gripped in the jaws, or modification of jaw faces, if used.
- 12.1.9 Any modifications of sample specimens as manu-

factured, or test method as described.

13. Precision and Bias

13.1 *Precision*—The precision of the procedure in Test Method D 4632 is being established.

13.2 *Bias*—The procedure in Test Method D 4632 for measuring the breaking load and elongation by the grab test method has no bias because the value of the breaking load and elongation can be defined only in terms of a test method.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

Standard Test Method for Trapezoid Tearing Strength of Geotextiles¹

This standard is issued under the fixed designation D 4533; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method is an index test used to measure the force required to continue or propagate a tear in woven or non-woven geotextiles by the trapezoid method. While useful for quality control and acceptance testing, the trapezoid tear test does not provide all the information needed for all design applications and other test methods should be used.

1.2 This test method is applicable to most geotextiles that include woven fabrics, nonwoven fabrics, layered fabrics, knit fabrics, and felts that are used for geotextile applications.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety problems, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 76 Specification for Tensile Testing Machines for Textiles²

D 123 Terminology Relating to Textiles²

D 1776 Practice for Conditioning Textiles for Testing²

D 2905 Practice for Statements on Number of Specimens for Textiles²

D 4354 Practice for Sampling of Geosynthetics for Testing³

D 4439 Terminology for Relating to Geosynthetics³

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *atmosphere for testing geotextiles, n.*—air maintained at a relative humidity of $65 \pm 5\%$ and a temperature of $21 \pm 2^\circ\text{C}$ ($70 \pm 4^\circ\text{F}$).

3.1.2 *geotextile, n.*—any permeable textile material used with foundation, soil, rock, earth, or any other geotechnical engineering related material as an integral part of a man-made product, structure, or system.

3.1.3 *tearing strength, n.*—the force required to either (1) start, or (2) continue or propagate a tear in a fabric under specified conditions.

3.1.3.1 *Discussion*—This test method uses the maximum value of the tearing force as the tearing strength.

3.1.4 For definitions of other terms used in this test method, refer to Terminology D 123 or Terminology D 4439.

4. Summary of Test Method

4.1 An outline of an isosceles trapezoid is marked on a rectangular specimen cut for the determination of tearing strength (see Fig. 1), and the nonparallel sides of the trapezoid marked on the specimen are clamped in parallel jaws of a tensile testing machine. The separation of the jaws is continuously increased so the tear propagates across the specimen. At the same time, the force developed is recorded. The tearing strength, which is the maximum value of the tearing force, is obtained from the autographic force – extension curve (see Fig. 2).

5. Significance and Use

5.1 The trapezoid tear method is a test that produces tension along a reasonably defined course such that the tear propagates across the width of the specimen. The trapezoid tearing strength for woven fabrics is determined primarily by the properties of the yarns that are gripped in the clamps. In nonwoven fabrics, because the individual fibers are more or less randomly oriented and capable of some reorientation in the direction of the applied load, the maximum trapezoid tearing strength is reached when the resistance to further reorientation is greater than the force required to rupture one or more fibers simultaneously.

5.2 The trapezoid tearing strength method is useful for estimating the relative tear resistance of different fabrics or different directions in the same fabric.

5.3 This test method may be used for acceptance testing of commercial shipments; however, caution is advised since information about between-laboratory precision is incomplete. Comparative tests as directed in 5.3.1 may be advisable.

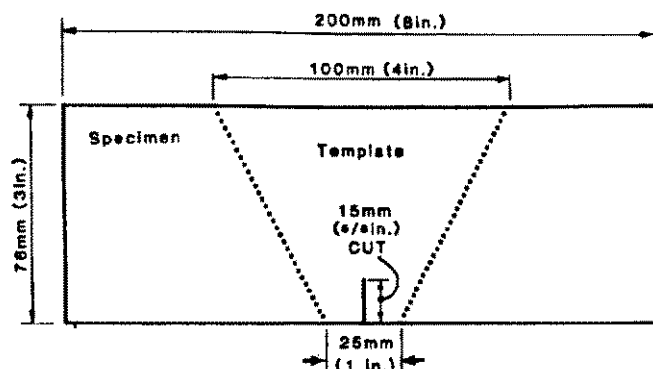


FIG. 1 Trapezoidal Template for Trapezoid Tearing Strength Test

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-35 on Geosynthetics and is the direct responsibility of Subcommittee D35.01 on Mechanical Properties.

Current edition approved Aug. 15, 1991. Published December 1991.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 07.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08.

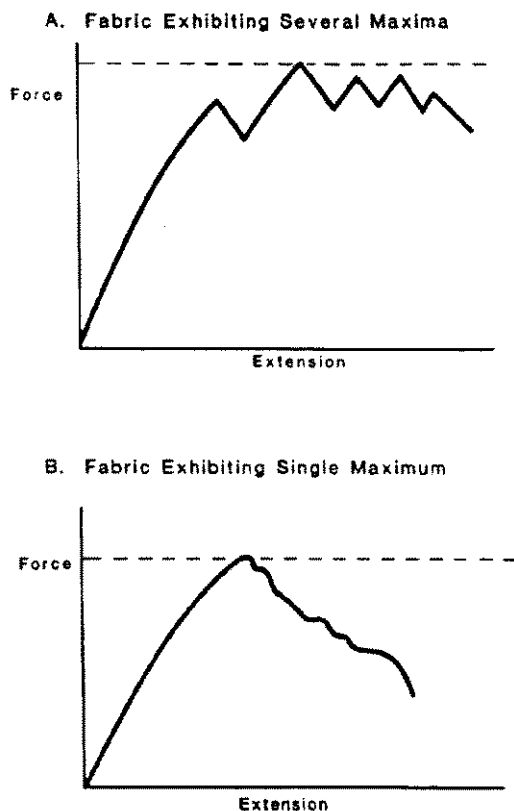


FIG. 2 Typical Tearing Force - Extension Curves for Individual Test Specimens

5.3.1 In case of a dispute arising from differences in reported test results when using this test method for acceptance testing of commercial shipments, the purchaser and the supplier should conduct comparative tests to determine if there is a statistical bias between their laboratories. Competent statistical assistance is recommended for the investigation of bias. As a minimum, the two parties should take a group of test specimens that are as homogeneous as possible and that are from a lot of material of the type in question. Test specimens should then be randomly assigned in equal numbers to each laboratory for testing. The average results from the two laboratories should be compared using the appropriate Student's *t*-test and an acceptable probability level chosen by the two parties before testing is begun. If a bias is found, either its cause must be found and corrected or the purchaser and the supplier must agree to interpret future test results in the light of the known bias.

5.4 Most geotextile fabrics can be tested by this test method. Some modification of clamping techniques may be necessary for a given fabric, depending upon its structure. Special adaptation may be necessary with strong fabrics, or fabrics made from glass fibers, to prevent them from slipping in the clamps or being damaged as a result of being gripped in the clamps.

5.5 This test method may be used with constant-rate-of-traverse (CRT) or constant-rate-of-extension (CRE) type tension machines. However, there may be no overall correlation between the results obtained with the CRT machine and the CRE machine. Consequently, these two tension testers cannot be used interchangeably. In case of contro-

versy, the CRE machine shall prevail.

6. Apparatus

6.1 *Tensile Testing Machine*, of the constant-rate-of-extension (CRE) or constant-rate-of-traverse (CRT) type with autographic recorder conforming to the requirements of Specification D 76.

6.2 *Clamps*, having all gripping surfaces parallel, flat, and capable of preventing slipping of the specimen during a test, and measuring 50.8 by no less than 76.2 mm (2 by no less than 3 in.), with the longer dimension perpendicular to the direction of application of the load.

6.3 *Trapezoidal Template*, optional, having the dimensions shown in Fig. 1.

7. Sampling and Selection

7.1 *Lot Sample*—As a lot sample for acceptance testing, take at random the number of rolls of fabric directed in an applicable material specification or other agreement between the purchaser and the supplier, such as agreement to sample as directed in Practice D 4354. Consider rolls of fabric to be the primary sampling units.

NOTE 1—An adequate specification or other agreement between the purchaser and the supplier requires taking into account the variability between rolls of fabric and between specimens from a swatch from a roll of fabric so as to provide a sampling plan with a meaningful producer's risk, consumer's risk, acceptable quality level, and limiting quality level.

7.2 *Laboratory Sample*—Take for the laboratory sample a sample extending the width of the fabric and approximately 1 m (39.37 in.) along the selvage from each roll in the lot sample. The sample may be taken from the end portion of a roll, provided there is no evidence that it is distorted or different from other portions of the roll. In cases of dispute, take a sample that will exclude fabric from the outer wrap of the roll or the inner wrap around the core.

7.3 *Test Specimens*—Take test specimens as follows:

7.3.1 *Woven Fabrics*—Take the specimens to be used for the measurement of the tearing strength of machine direction yarns from different sets of machine direction yarns. Take the specimens to be used for the measurement of the tearing strength of cross-machine direction yarns from different sets of cross-machine direction yarns and, when possible, from fabric woven from different bobbins.

7.3.2 *Nonwoven Fabrics*—Take the specimens for the measurement of the machine direction tearing strength from different positions across the fabric. Take the specimens for the measurement of the cross-machine direction tearing strength from different positions along the length of the fabric.

7.3.3 *Cutting Test Specimens*—Take no specimens nearer the selvage or edge of the fabric than 1/20th of the fabric width or, 150 mm (6 in.) whichever is smaller. Cut rectangular specimens 76.2 by 201.6 mm (3 by 8 in.). Cut the specimens to be used for the measurement of the tearing strength in the machine direction (or warp yarns), with the longer dimension parallel to the machine direction (or warp yarns). Cut the specimens to be used for the measurement of the tearing strength in the cross-machine direction (or filling yarns) with the longer dimension parallel to the cross-machine direction (or filling yarns). Mark each specimen with an isosceles trapezoid template (see Fig. 1). Make a

preliminary cut 15.9 mm (0.625 in.) long at the center of the 25.4 mm (1 in.) edge, as shown Fig. 1.

7.3.4 Number of Specimens—Unless otherwise agreed upon, as when provided in an applicable material specification, take a number of test specimens per swatch in the laboratory sample such that the user may expect at the 95 % probability level that the test result is not more than 5.0 % of the average above the true average of the swatch when testing in the machine and cross-machine directions, respectively. Determine the number of specimens per swatch as follows:

7.3.4.1 Reliable Estimate of v —When there is a reliable estimate of v based upon extensive past records for similar materials tested in the user's laboratory as directed in the method, calculate the required number of specimens for the machine and cross-machine directions as follows:

$$n = (tv/A)^2 \quad (1)$$

where:

n = number of test specimens (rounded upward to a whole number),

v = reliable estimate of the coefficient of variation of individual observations on similar materials in the user's laboratory under conditions of single-operator precision, %,

t = the value of Student's t for one-sided limits (see Table 1), a 95 % probability level, and the degrees of freedom associated with the estimate of v , and

A = 5.0 % of the average, the value of the allowable variation.

7.3.4.2 No Reliable Estimate of v —When there is no reliable estimate of v for the user's laboratory, Eq 1 should not be used directly. Instead, specify the fixed number (10) of specimens for the machine direction tests, and 10 specimens for the cross-machine direction tests. The number of specimens is calculated using $v = 9.5$ % of the average for both machine direction and cross-machine direction tests. These values for v are somewhat larger than usually found in practice. When a reliable estimate of v for the user's laboratory becomes available, Eq 1 will usually require fewer than the fixed number of specimens.

8. Conditioning

8.1 Bring the specimens to moisture equilibrium in the

TABLE 1 Values of Student's t for One-Sided Limits and the 95 % Probability^a

df	One-Sided	df	One-Sided	df	One-Sided
1	6.314	11	1.796	22	1.717
2	2.920	12	1.782	24	1.711
3	2.353	13	1.771	26	1.706
4	2.132	14	1.761	28	1.701
5	2.015	15	1.753	30	1.697
6	1.943	16	1.746	40	1.684
7	1.895	17	1.740	50	1.676
8	1.860	18	1.734	60	1.671
9	1.833	19	1.729	120	1.658
10	1.812	20	1.725		1.645

^a Values in this table were calculated using Hewlett Packard HP 87/97 Users' Library Programs 03848D, "One-Sided and Two-Sided Critical Values of Student's t " and 00350D, "Improved Normal and Inverse Distribution". For values at other than the 95 % probability level, see published tables of critical values of Student's t in any standard statistical text. Further use of this table is defined in Practice D 2905.

atmosphere for testing geotextiles (3.1). Equilibrium is considered to have been reached when the increase in mass of the specimen, in successive weighings made at intervals of not less than 2 h, does not exceed 0.1 % of the mass of the specimen. In general practice, the industry approaches equilibrium from the "as received" side.

NOTE 2—It is recognized that in practice, geotextile materials are frequently not weighed to determine when moisture equilibrium has been reached. While such a method cannot be accepted in cases of dispute, it may be sufficient in routine testing to expose the material to the standard atmosphere for testing for a reasonable period of time before the specimens are tested. A time of at least 24 h has been found acceptable in most cases. However, certain fibers may exhibit slow moisture equilization rates from the "as received" wet side. When this is known, a preconditioning cycle, as described in Practice D 1776, may be agreed upon by the contractual parties for routine testing.

8.2 Specimens to be tested in the wet condition shall be immersed in water maintained at a temperature of $21 \pm 2^\circ\text{C}$ ($70 \pm 4^\circ\text{F}$). The time of immersion must be sufficient to wet-out the specimens thoroughly; this is indicated by no significant change in strength or elongation following a longer period of immersion, and at least 2 min. To obtain thorough wetting, it may be necessary, and advisable, to add not more than 0.05 % of a nonionic neutral wetting agent to the water.

9. Procedure

9.1 Test the conditioned specimens in the standard atmosphere for testing as defined in 3.1.

9.2 Test the thoroughly wet specimen in the normal machine set-up within 2 min. after removal from the water.

9.3 Set the distance between the clamps at the start of the test at 25 ± 1 mm (1 ± 0.05 in.). Select the load range of the testing machine such that the maximum load occurs between 15 and 85 % of full-scale load. Set the machine to operate at a speed of 300 ± 10 mm/min (12 ± 0.5 in./min).

9.4 Secure the test specimen in the machine, clamping along the nonparallel sides of the trapezoid so that the end edges of the clamps are in line with the 25-mm (1-in.) long side of the trapezoid, and the cut is halfway between the clamps. Hold the short edge taut and let the remaining fabric lie in folds.

9.5 Start the machine and record the tearing force on the autographic recorder. The tearing force may not increase to a simple maximum value, but may show several maxima and minima, as shown in Fig. 2(A). Record the maximum force obtained in newtons (lbf), as illustrated in Fig. 2(A and B).

9.6 If a fabric slips in the jaws or if 25 % or more of the specimens break at a point within 5 mm (0.25 in.) of the edge of the jaw, then (1) the jaws may be padded; (2) the fabric may be coated under the jaw face area; or (3) the jaw face may be modified. If any of the modifications listed above are used, state the method of modification in the report.

9.7 If an individual test result deviates 25 % or more from the average test result of a swatch, it must be discarded and an additional specimen tested. Calculate the average excluding outlier values.

10. Calculation

10.1 For each swatch in the laboratory sample, calculate separately the average of the maximum tearing strengths of the machine direction (or warp) specimens and the average

of the maximum tearing strengths of the cross-machine direction (or filling) specimens.

11. Report

11.1 Report the following:

11.1.1 State that the tests were performed as directed in this test method. Describe the material(s) or product(s) sampled and the method of sampling used.

11.1.2 Report the following information for each swatch in the laboratory sample:

11.1.2.1 Average of the maximum tearing strengths in

newtons (lbf) for each direction.

11.1.2.2 Number of specimens tested for each direction.

11.1.2.3 Coefficient of variation of the observed tearing strength of individual specimens, if required.

11.1.2.4 Condition of the specimens (dry or wet).

12. Precision and Bias

12.1 *Precision*—The precision of this test method is being established.

12.2 *Bias*—The procedure in this test method has no bias because the value of the tearing strength of geotextiles can be defined only in terms of a test method.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.



Standard Test Methods for Water Permeability of Geotextiles by Permittivity¹

This standard is issued under the fixed designation D 4491; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense. Consult the DoD Index of Specifications and Standards for the specific year of issue which has been adopted by the Department of Defense.

1. Scope

1.1 These test methods provide procedures for determining the hydraulic conductivity (water permeability) of geotextiles in terms of permittivity under standard testing conditions, in the uncompressed state. Included are two procedures: the constant head method and the falling head method.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The inch-pound units stated in parentheses are provided for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 123 Terminology Relating to Textiles²
- D 653 Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids³
- D 4439 Terminology for Geosynthetics⁴
- D 5199 Test Method for Measuring Nominal Thickness of Geotextiles and Geomembranes⁴
- E 691 Practice for Conducting An Interlaboratory Study To Determine The Precision of a Test Method⁵

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *geotechnics, n*—the application of scientific methods and engineering principles to the acquisition, interpretation, and use of knowledge of materials of the earth's crust to the solution of engineering problems.

3.1.1.1 *Discussion*—Geotechnics embraces the fields of soil mechanics, rock mechanics, and many of the engineering aspects of geology, geophysics, hydrology, and related sciences.

3.1.2 *geotextile, n*—a permeable geosynthetic comprised solely of textiles.

3.1.3 *permeability, n*—the rate of flow of a liquid under a differential pressure through a material.

3.1.3.1 *Discussion*—The nominal thickness is used as it is difficult to evaluate the pressure on the geotextile during the test, thereby making it difficult to determine the thickness of the fabric under these test conditions.

3.1.4 *permeability, n—of geotextiles*, hydraulic conductivity.

3.1.5 *permittivity, (ψ), (T-1), n—of geotextiles*, the volumetric flow rate of water per unit cross sectional area per unit head under laminar flow conditions, in the normal direction through a geotextile.

3.1.6 For the definitions of other terms relating to geotextiles, refer to Terminology D 4439. For the definitions of textile terms, refer to Terminology D 123. For the definition of coefficient of permeability, refer to Terminology D 653.

4. Summary of Test Methods

4.1 These test methods describe procedures for determining the permittivity of geotextiles using constant head or falling head test procedures, as follows:

4.1.1 *Constant Head Test*—A head of 50 mm (2 in.) of water is maintained on the geotextile throughout the test. The quantity of flow is measured versus time. The constant head test is used when the flow rate of water through the geotextile is so large that it is difficult to obtain readings of head change versus time in the falling head test.

NOTE 1—Data has shown agreement between the falling and constant head methods of determining permittivity of geotextiles.⁶ Selection of the test method, that is, constant or falling head, is left to the technician performing the test.

4.1.2 *Falling Head Test*—A column of water is allowed to flow through the geotextile and readings of head changes versus time are taken. The flow rate of water through the geotextile must be slow enough to obtain accurate readings.

5. Significance and Use

5.1 These test methods are considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments of geotextiles since the methods have been used extensively in the trade for acceptance testing.

5.1.1 In case of a dispute arising from differences in reported test results when using these test methods for acceptance testing of commercial shipments, the purchaser and the supplier should conduct comparative tests to deter-

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D-35 on Geosynthetics and are the direct responsibility of Subcommittee D35.03 on Permeability and Filtration.

Current edition approved Sept. 10, 1996. Published December 1996. Originally published as D 4491 - 85. Last previous edition D 4491 - 95.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 07.01.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.08.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.09.

⁵ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

⁶ Data available from ASTM Headquarters. Request RR: D-35-1000.

mine if there is a statistical bias between their laboratories. Competent statistical assistance is recommended for the investigation of bias. As a minimum, the two parties should take a group of test specimens which are as homogeneous as possible and which are from a lot of material of the type in question. The test specimens should then be randomly assigned in numbers to each laboratory for testing. The average results from the two laboratories should be compared using Student's *t*-test for unpaired data and an acceptable probability level chosen by the two parties before the start of testing. If a bias is found, either its cause must be found and corrected, or the purchaser and the supplier must agree to interpret future test results in light of the known bias.

5.1.2 Permittivity is an indicator of the quantity of water that can pass through a geotextile in an isolated condition.

5.1.3 As there are many applications and environmental conditions under which a geotextile may be used, care should be taken when attempting to apply the results of these test methods to the field performance of a geotextile.

5.2 Since there are geotextiles of various thicknesses in use, evaluation in terms of their Darcy coefficient of permeabilities can be misleading. In many instances, it is more significant to evaluate the quantity of water which would pass through a geotextile under a given head over a particular cross-sectional area; this is expressed as permittivity.

5.3 If the permeability of an individual geotextile is of importance, a nominal coefficient of permeability, as related to geotechnical engineering, may be computed. By multiplying permittivity times the nominal thickness of the geotextile, as determined by Test Method D 5199, the nominal coefficient of permeability is obtained.

NOTE 2—The nominal thickness is used as it is difficult to evaluate the pressure on the geotextile during the test, thereby making it difficult to determine the thickness of the fabric under these test conditions.

6. Apparatus

6.1 The apparatus shall conform to one of the following arrangements:

6.1.1 The apparatus must be capable of maintaining a constant head of water on the geotextile being tested, or

6.1.2 The apparatus must be capable of being used as falling head apparatus.

6.2 In addition, the apparatus must not be the controlling agent for flow during the test. It will be necessary to establish a calibration curve of volumetric flow rate versus head for the apparatus alone in order to establish compliance with this requirement (see 11.7).

6.3 Refer to Fig. 1 for a schematic drawing of a device which conforms to all of the above requirements. The device consists of an upper and lower unit which fasten together. The geotextile specimen is positioned in the bottom of the upper unit. There is a standpipe for measuring the constant head value. The rotating discharge pipe allows adjustment of the head of water at the bottom of the specimen.⁷

⁷ Detailed drawings and a materials list for construction are available at a nominal cost through ASTM Headquarters. Request adjunct No. 12-44910-38.

7. Sampling

7.1 *Lot Sample*—As a lot sample for acceptance testing, take at random the number of rolls of geotextile directed in an applicable material specification or other agreement between the purchaser and the supplier. Consider rolls of geotextile to be the primary sampling units. If the specification requires sampling during manufacture, select the rolls for the lot sample at uniformly spaced time intervals throughout the production period.

NOTE 3—An adequate specification or other agreement between the purchaser and the supplier requires taking into account the variability between rolls of geotextile and between specimens from a swatch from a roll of geotextile so as to provide a sampling plan with a meaningful producer's risk, consumer's risk, acceptable quality level, and limiting quality level.

7.2 *Laboratory Sample*—Take for the laboratory sample a sample extending the full width of the geotextile, of sufficient length along the selvage from each sample roll so that the requirements of 9.1 can be met. Take a sample that will exclude material from the outer wrap of the roll or the inner wrap around the core unless the sample is taken at the production site, at which point inner and outer wrap material may be used.

8. Test Water Preparation

8.1 To provide reproducible test results, the test water shall be deaired under a vacuum of 710 mm (28 in.) of mercury (Hg) for a period of time to bring the dissolved oxygen content down to a maximum of 6 parts per million. The dissolved oxygen content may be determined by either commercially available chemical kits or by a dissolved oxygen meter.

NOTE 4—The deairing system may be either a commercially available system or one consisting of a vacuum pump capable of removing a minimum of 150 L/min of air in connection with a non-collapsible storage tank with a large enough storage capacity for the test series, or at least one specimen at a time.

8.2 Allow the deaired water to stand in a closed storage tank under a slight vacuum until room temperature is attained.

9. Specimen Preparation

9.1 In order to obtain a representative value of permittivity, take specimens from each 1-m² (1-yd²) sample.

9.2 Referring to Fig. 2, select four specimens, A, B, C, and D, as follows:

9.2.1 Take specimen A at the center of the sample, B at one corner (center located 200 mm (8 in.) from the corner), C midway between A and B, and D the same distance from A as C, located on a line with A, B, and C.

9.2.2 Cut specimens shall fit the testing apparatus, for example, 73 mm (2.87 in.) in diameter for the device illustrated in Fig. 1.

9.3 Condition the specimen by soaking in a closed container of deaired water, at room conditions, for a period of 2 h. The minimum specimen diameter is to be 25 mm (1 in.).

NOTE 5—If the illustrated device is used, the specimens are attached to the specimen ring by contact cement.

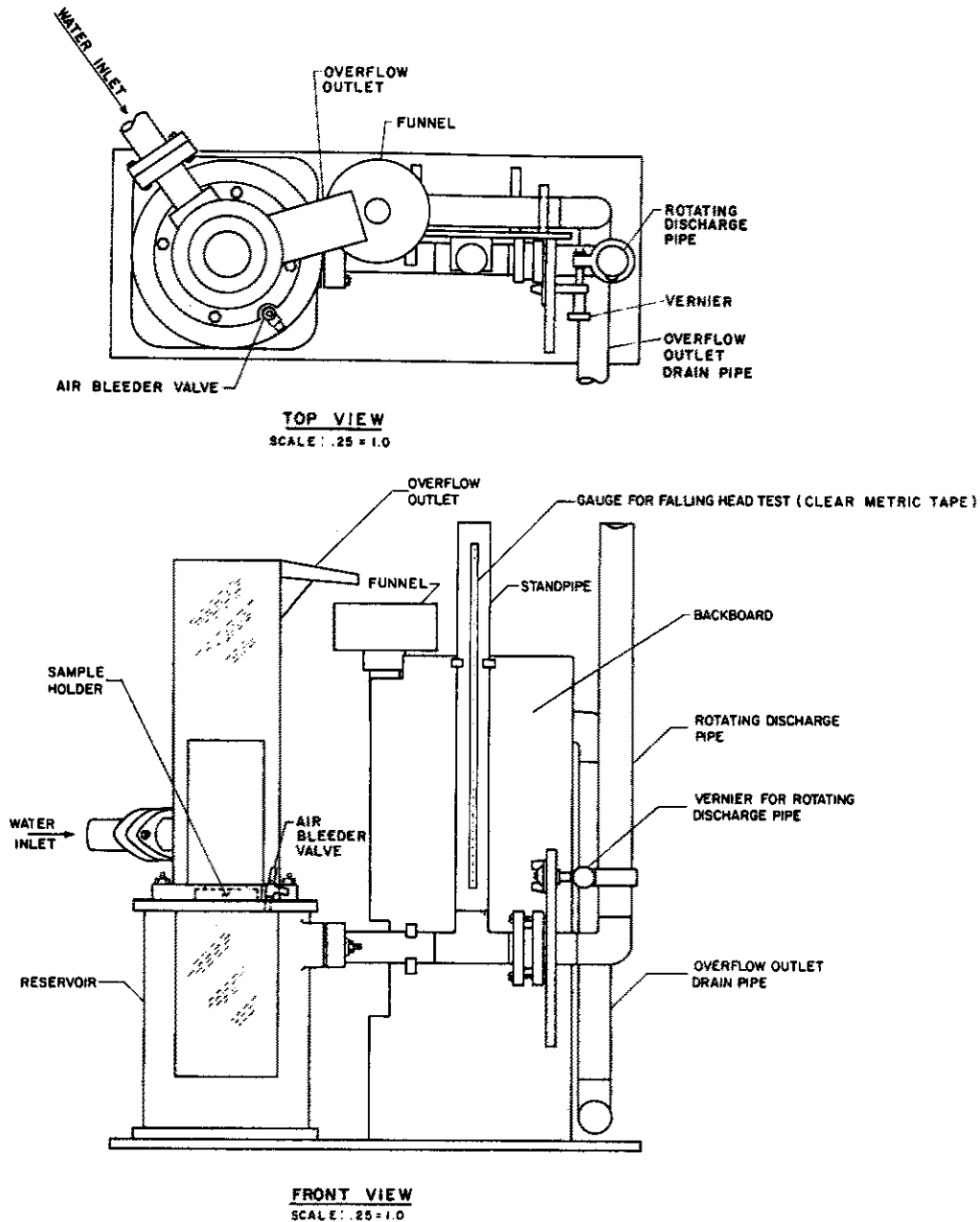


FIG. 1 Constant and Falling Head Permeability Apparatus

10. Operator Process Control

10.1 Prepare four specimens of Standard U.S. Mesh Sieve to fit the test apparatus.

10.2 Following Section 11 or Section 13, depending on method to be used for the geotextile specimens, perform testing on each mesh specimen.

10.3 Based on an interlaboratory involving seven laboratories, the permittivity of No 200 Standard US Mesh Sieve material has been determined to be 5.00 sec^{-1} , with a standard deviation of 0.65.

10.3.1 New operator process control shall be performed until it is demonstrated that the operator is proficient in test performance as demonstrated by obtaining the value of permittivity stated in section 10.3, \pm two standard deviations.

10.3.2 Following initial proficiency testing, the operator shall perform process control testing on a semi-annual basis.

CONSTANT HEAD TEST

11. Procedure

11.1 Assemble the apparatus with the specimen in place.

11.2 Open the bleed valve and backfill the system through the standpipe or discharge pipe, with deaired water. Backfilling in this manner forces any trapped air out of the system and the geotextile.

NOTE 6—The water should be at the bottom level of the specimen at the time of specimen installation.

11.3 Close the bleed valve once water flows from it. Continue to fill the apparatus with deaired water until the

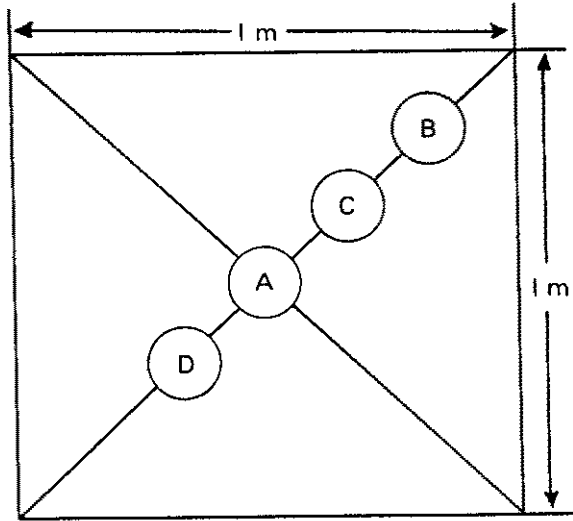


FIG. 2 Sampling Pattern

water level reaches the overflow.

11.4 With water flowing into the system through the water inlet, adjust the discharge pipe along with the rate of water flowing into the apparatus to obtain a 50-mm (2-in.) head of water on the geotextile. This is the head (h) under which the test will be performed initially.

11.5 Submerge a tube attached to a source of vacuum to just above 10 mm (0.5 in.) the surface of the geotextile, moving the tube gently over the surface while applying a slight vacuum in order to remove any trapped air which may be in or on the specimen. If necessary, readjust the head to 50 mm (2 in.) after removing the vacuum.

11.6 Record the values of time (t), quantity of flow (Q) as collected from the discharge pipe, and water temperature (T), holding the head at 50 mm (2 in.). Make at least five readings per specimen and determine an average value of permittivity for the specimen.

NOTE 7—The quantity of flow may be measured in millilitres and then converted to cubic millimetres for the computation of permittivity (1 mL = 1000 mm³).

11.7 After the first specimen has been tested under a 50 mm (2 in.) head, using the same specimen, start with a 10 mm (3/8 in.) head and repeat the procedure. Increase the head by 5 mm (3/16 in.) after every five readings. Increase the head until a 75 mm (3 in.) head is reached. Use this data to determine the region of laminar flow. Plot volumetric flow rate, v , (where v equals Q/At , values defined in 12.1) versus head. The quantity of flow (Q) should be corrected to 20°C (68°F). The initial straight line portion of the plot defines the region of laminar flow. If the 50 mm head is outside the region of laminar flow, repeat the test procedure using the head of water in the mid-region of laminar flow.

11.7.1 Compare the data from 10.7 with the apparatus calibration curve referred to in 6.2. The apparatus calibration plot of volumetric flow rate versus head should plot well above the same plot for the geotextile specimen. See Fig. 3. If the specimen curve intersects the calibration curve, the apparatus is controlling the flow through the geotextile rather than the structure of the geotextile itself. In such an instance, modify the apparatus by enlarging the discharge pipe so that

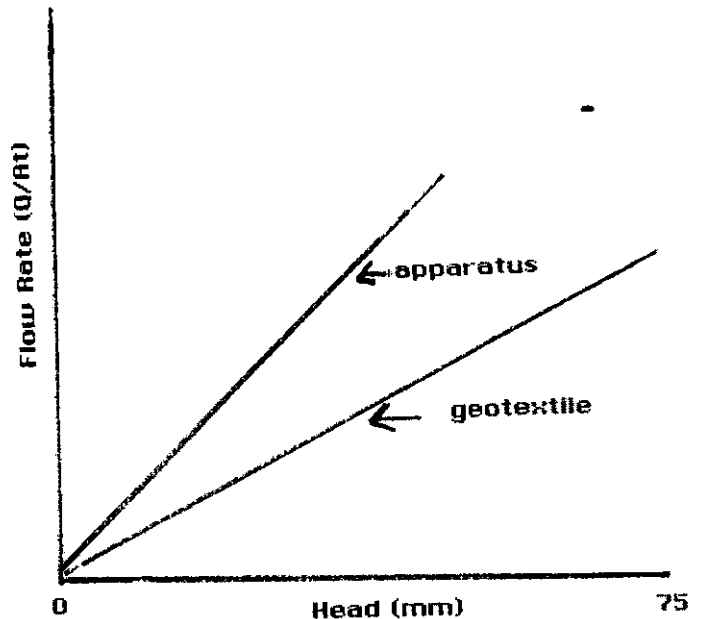


FIG. 3 Calibration Curve

the device does not control the flow.

11.8 Repeat 11.1 through 11.6 on the three remaining previously conditioned specimens.

12. Calculation

12.1 Calculate the permittivity, ψ , as follows:

$$\psi = QR_t/hAt \quad (1)$$

where:

ψ = permittivity, s⁻¹,

Q = quantity of flow, mm³,

h = head of water on the specimen, mm,

A = cross-sectional area of test area of specimen, mm²,

t = time for flow (Q), s, and

R_t = temperature correction factor determined using Eq. 2

$$R_t = u_t/u_{20_c} \quad (2)$$

where:

u_t = water viscosity at test temperature, millipoises, as determined from Table 1, and

u_{20_c} = water viscosity at 20°C, millipoises.

12.2 Calculate the permittivity for the five sets of readings per specimen at the 50 mm (2 in.) head.

12.3 Determine the average permittivity for the individual specimen tests.

12.4 Determine the average permittivity for the four specimens tested.

12.5 Determine the standard deviation and coefficient of variation for the four specimens tested.

FALLING HEAD TEST

13. Procedure

13.1 Proceed as in 11.1 through 11.5.

13.2 Adjust the discharge pipe so that its outlet is slightly above the level of the specimen.

13.3 By increasing the flow from the water supply, adjust

TABLE 1 Viscosity of Water Versus Temperature

Temperature, °C	Viscosity (Poiseuille) ^a
0	1.7921 × 10 ⁻³
1	1.7313 × 10 ⁻³
2	1.6278 × 10 ⁻³
3	1.6191 × 10 ⁻³
4	1.5674 × 10 ⁻³
5	1.5188 × 10 ⁻³
6	1.4728 × 10 ⁻³
7	1.4284 × 10 ⁻³
8	1.3860 × 10 ⁻³
9	1.3462 × 10 ⁻³
10	1.3077 × 10 ⁻³
11	1.2713 × 10 ⁻³
12	1.2363 × 10 ⁻³
13	1.2028 × 10 ⁻³
14	1.1709 × 10 ⁻³
15	1.1404 × 10 ⁻³
16	1.1111 × 10 ⁻³
17	1.0828 × 10 ⁻³
18	1.0559 × 10 ⁻³
19	1.0299 × 10 ⁻³
20	1.0050 × 10 ⁻³
21	0.9810 × 10 ⁻³
22	0.9579 × 10 ⁻³
23	0.9358 × 10 ⁻³
24	0.9142 × 10 ⁻³
25	0.8937 × 10 ⁻³

^a Poiseuille = kg s⁻¹ m⁻¹ = Nsm.

the water level to 150 mm (6 in.). Once the water is at this level, shut off the water supply and allow the water level to fall to 80 mm (3.2 in.). At this point, start the stop watch and determine the time for the water level to fall to the 20 mm (3/4 in.) level. Record the inside diameter (*d*) of the upper unit, the diameter (*D*) of the exposed portion of the specimen, and the water temperature (*T*). Make at least five readings per specimen. All measurements in 13.3 are in relation to the outlet water.

13.4 Repeat the procedure on the three remaining previously conditioned specimens.

14. Calculation

14.1 Calculate the permittivity, ψ , as follows:

$$\psi = [(a/At) \ln (h_0/h_1)]R_t \quad (3)$$

where:

- A* = $\pi D^2/4$ —cross-sectional test area of specimen, mm²,
- a* = $\pi d^2/4$ —cross-sectional area of standpipe above specimen,
- t* = time for head to drop from *h*₀ to *h*₁, s,
- h*₀ = initial head (80 mm),
- h*₁ = final head (20 mm), and
- R*_{*t*} = temperature correction factor determined from Eq. 2.

14.2 Repeat calculations for the five sets of data per specimen. Determine the average permittivity for the individual specimens tested.

15. Report

15.1 The report shall include the following:

15.1.1 State that the specimens were tested in accordance with this standard. Describe the material or product sampled and the method of sampling used,

15.1.2 Procedure used,

15.1.3 Any deviations from the standard test method, such as a head other than 50 mm for the constant head procedure,

15.1.4 The following permittivity results for the four specimens from each swatch in the laboratory sample:

15.1.4.1 Observations on each individual specimen,

15.1.4.2 Average permittivity,

NOTE 8—To express permittivity in litres per unit area per unit head per time (l/m²/min) multiply the results of 12.4 or 14.2 by 6 × 10⁴.

15.1.4.3 Standard deviation for the individual observations, and

15.1.4.4 Coefficient of variation for the four observations, and

15.1.4.5 A plot of flow rate versus head for the laminar flow test in the constant head procedure.

16. Precision and Bias

16.1 Precision:

16.1.1 *Inter-laboratory Test Program*⁸—An inter-laboratory study of the Test Method D 4491 was performed in 1991. Each of ten laboratories tested four randomly drawn test specimens, from each of four materials.

16.1.2 *Result*—The precision information given below has been calculated for the comparison of ten test results, each of which is the average of four specimens. Four different materials were tested.

16.1.3 *95 % Repeatability Limit*—The repeatability limit is 40 % of the test results. For the different materials, the repeatability limits ranged from 62 % to 22 %.

16.1.4 *95 % Reproducibility Limit (Between Laboratory)*—The reproducibility limit is 70 % of the test results. For the different materials, the reproducibility limits ranged from 51 % to 97 %.

16.1.5 The respective coefficients of variation percentages for the test results may be obtained by dividing the above numbers by 2.8. Hence for the four materials tested:

Repeatability	Reproducibility
Material 1-12 %	Material 1-21 %
Material 2-11 %	Material 2-24 %
Material 3-8 %	Material 3-18 %
Material 4-22 %	Material 4-34 %

16.2 *Bias*—The procedure in this test method has no bias because the value of that property can only be defined in terms of a test method.

⁸The design of the experiment, similar to that of Practice E 691, and a within-between analyzer of the data, are available from ASTM. Request RR: D35-4491-01.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.



Standard Terminology for Geosynthetics¹

This standard is issued under the fixed designation D 4439; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

absorption, n —the process by which a liquid is drawn into and tends to fill permeable pores in a porous solid body, also, the increase in mass of a porous solid body resulting from penetration of a liquid into its permeable pores.

C 125

aerobic, n —a condition in which a measurable volume of air is present in the incubation chamber or system. D 1987

anaerobic, n —a condition in which no measurable volume of air is present in the incubation chamber or system.

D 1987

apparent opening size (AOS), O_{95} , n —for a geotextile, a property which indicates the approximate largest particle that would effectively pass through the geotextile. D 4751

atmosphere for testing geosynthetics, n —air maintained at a relative humidity between 50 to 70 % and a temperature of $21 \pm 2^\circ\text{C}$ ($70^\circ \pm 4^\circ\text{F}$). D 4439, D 4751, D 5494

back flushing, n —a process by which liquid is forced in the reverse direction to the flow direction. D 1987

basis weight—deprecated term (do not use in the sense of mass per unit area). D 4439

bend, vt —in mechanics, to force an object from its natural or manufactured shape into a curve or into increased curvature. D 4439

blinding, n —for geotextiles, the condition where soil particles block the surface openings of the fabric, thereby reducing the hydraulic conductivity of the system. D 4439

biocide, n —a chemical used to kill bacteria and other microorganisms. D 1987

breaking force, (F), J , n —the force at failure. D 4885

breaking load, n —the maximum force applied to a specimen in a tensile test carried to rupture. D 4632

breaking toughness, T , (FL^{-1}), Jm^{-2} , n —for geotextiles, the actual work-to-break per unit surface area of material. D 4595, D 4885

chemical resistance, the ability to resist chemical attack. D 5322

clogging, n —for geotextiles, the condition where soil particles move into and are retained in the openings of the fabric, thereby reducing the hydraulic conductivity. D 4439

clogging potential, n —in geotextiles, the tendency for a given geotextile to decrease permeability due to soil particles that

have either lodged in the geotextile openings or have built up a restrictive layer on the surface of the geotextile.

D 5101

compressed thickness (t , (L), mm) n —thickness under a specified stress applied normal to the material. D 4439

constant-rate-of-load tensile testing machine (CRL), n —a testing machine in which the rate of increase of the load being applied to the specimen is uniform with time after the first 3 s. D 4439

corresponding force, n —synonym for force at specified elongation. D 4885

coupon, n —a portion of a material or laboratory sample from which multiple specimens can be taken for testing. D 5747

creep, n —the time-dependent increase in accumulative strain in a material resulting from an applied constant force. D 5262

critical height (ch), n —the maximum exposed height of a cone or pyramid that will not cause a puncture failure of a geosynthetic at a specified hydrostatic pressure for a given period of time. D 5514

cross-machine direction, n —the direction in the plane of the fabric perpendicular to the direction of manufacture. D 4632

density (ρ , (ML^{-3}), kg/m^3) n —mass per unit volume. D 4439

design load—the load at which the geosynthetic is required to operate in order to perform its intended function. D 5262

elastic limit, n —in mechanics, the stress intensity at which stress and deformation of a material subjected to an increasing force cease to be proportional; the limit of stress within which a material will return to its original size and shape when the force is removed, and hence, not a permanent set. D 4885

elongation at break, n —the elongation corresponding to the breaking load, that is, the maximum load. D 4632

failure, n —an arbitrary point beyond which a material ceases to be functionally capable of its intended use. D 4885, D 5262

failure, n —in testing geosynthetics, water or air pressure in the test vessel at failure of the geosynthetic. D 5514

field testing, n —testing performed in the field under actual conditions of temperature and exposure to the fluids for which the immersion testing is being performed. D 5496

fill—deprecated term, see filling.

filling, n —yarn running from selvage to selvage at right angles to the warp in a woven fabric. D 4439

force at specific elongation, FASE, n —the force associated with a specific elongation on the force-elongation curve. D 4439

¹This terminology is under the jurisdiction of Committee D-35 on Geosynthetics and is the direct responsibility of Subcommittee D35.93 on Terminology.

Current edition approved Oct. 10, 1996 and February 10, 1997. Published December 1997. Originally published as D 4439 - 84. Last previous edition D 4439 - 95.

force-elongation curve, *n*—in a tensile test, a graphical representation of the relationship between the magnitude of an externally applied force and the change in length of the specimen in the direction of the applied force. (Synonym for stress-strain curve.) **D 4885**

geocomposite, *n*—a product composed of two or more materials, at least one of which is a geosynthetic.

geogrid, *n*—a geosynthetic formed by a regular network of integrally connected elements with apertures greater than 6.35 mm (1/4 in.) to allow interlocking with surrounding soil, rock, earth, and other surrounding materials to function primarily as reinforcement. **D 5262**

geonet, *n*—a geosynthetic consisting of integrally connected parallel sets of ribs overlying similar sets at various angles for planar drainage of liquids or gases. **D 4439**

geomembrane, *n*—an essentially impermeable geosynthetic composed of one or more synthetic sheets. **D 4439, D 4873, D 4885, D 5994, D 5820**

geosynthetic, *n*—a planar product manufactured from polymeric material used with soil, rock, earth, or other geotechnical engineering related material as an integral part of a man-made project, structure, or system. **D 4354, D 4759, D 4873, D 5617, D 5818**

geosynthetic clay liner, *n*—a manufactured hydraulic barrier consisting of clay bonded to a layer or layers of geosynthetic materials.

geotechnical engineering, *n*—the engineering application of geotechnics. **D 4439, D 4595**

geotechnics, *n*—the application of scientific methods and engineering principles to the acquisition, interpretation, and use of knowledge of materials of the earth's crust to the solution of engineering problems. **D 4439, D 4491, D 4595, D 4716, D 4751**

geotextile, *n*—a permeable geosynthetic comprised solely of textiles. **D 1987, D 4439, D 5594**

DISCUSSION—Geotextiles perform several functions in geotechnical engineering applications, including: separation; filtration; drainage; reinforcement; and protection.

grab test, *n*—in fabric testing, a tension test in which only a part of the width of the specimen is gripped in the clamps. **D 4632**

gradient ratio, *n*—in geotextiles, the ratio of the hydraulic gradient through a soil-geotextile system to the hydraulic gradient through the soil alone. **D 5101**

gravity flow, *n*—flow in a direction parallel to the plane of a geotextile or related product driven predominately by a difference in elevation between the inlet and outflow points of a specimen. **D 4716**

head, *n*—pressure at a point in a liquid, expressed in terms of the vertical distance of the point below the surface of the liquid. **D 4716**

hydraulic conductivity, (*k*), *n*—the rate of discharge of water under laminar flow conditions through a unit cross-sectional area of a porous medium under a unit hydraulic gradient and standard temperature conditions (20°C). **D 5567**

hydraulic conductivity ratio (HCR), *n*—the ratio of the hydraulic conductivity of the soil/geotextile system, k_{sg} , at any time during the test, to the initial hydraulic conductivity, k_{sg0} , measured at the beginning of the test (new).

hydraulic gradient, *i, s (D)*—the loss of hydraulic head per unit distance of flow, dH/dL . **D 5101**

hydraulic transmissivity, θ ($L^2 T^{-1}$), *n*—for a geotextile or related product, the volumetric flow rate of water per unit width of specimen per unit gradient in a direction parallel to the plane of the specimen. **D 4716**

hydrostatic pressure, *n*—a state of stress in which all the principal stresses are equal (and there is no shear stress), as in a liquid at rest; induced artificially by means of a gaged pressure system; the product of the unit weight of the liquid and the difference in elevation between the given point and the free water elevation. **D 5514**

index test, *n*—a test procedure which may contain a known bias but which may be used to establish an order for a set of specimens with respect to the property of interest. **D 4833, D 4885**

inflection point, *n*—the first point of the force-elongation curve at which the second derivative equals zero. **D 4885**

initial tensile modulus, J_p (FL^{-1}), Nm^{-1} , *n*—for geosynthetics, the ratio of the change in force per unit width to the change in elongation of the initial portion of a force-elongation curve. **D 4885**

in-plane flow, *n*—fluid flow confined to a direction parallel to the plane of a geotextile or related product. **D 4716**

integral, *adj*—in geosynthetics, forming a necessary part of the whole; constituent. **D 4439**

laboratory sample, *n*—a portion of material taken to represent the lot sample, or the original material, and used in the laboratory as a source of test specimens. **D 4354**

laminar flow, *n*—flow in which the head loss is proportional to the first power of the velocity. **D 4716**

linear density, *n*—mass per unit length; the quotient obtained by dividing the mass of a fiber or yarn by its length.

lot, *n*—a unit of production, or a group of other units or packages, taken for sampling or statistical examination, having one or more common properties and being readily separable from other similar units. **D 4354**

lot sample, *n*—one or more shipping units taken at random to represent an acceptance sampling lot and used as a source of laboratory samples. **D 4354**

machine direction, *n*—the direction in the plane of the fabric parallel to the direction of manufacture. **D 4632**

modulus of elasticity, MPa (FL^{-2}), *n*—the ratio of stress (nominal) to corresponding strain below the proportional limit of a material, expressed in force per unit area, such as megapascals (pounds-force per square inch). **D 5323**

multi-axial tension, *n*—stress in more than one direction. **D 5617**

normal direction, *n*—for geotextiles, the direction perpendicular to the plane of a geotextile. **D 4439**

normal stress, (FL^{-2}), *n*—the component of applied stress that is perpendicular to the surface on which the force acts. **D 4439**

offset modulus, J_o (FL^{-1}), Nm^{-1} , *n*—for geosynthetics, the ratio of the change in force per unit width to the change in elongation below an arbitrary offset point at which there is a proportional relationship between force and elongation, and above the inflection point on the force-elongation curve. **D 4885**

performance property, *n*—a result obtained by conducting a performance test. **D 5141**

- performance test, *n***—a test which simulates in the laboratory as closely as practicable selected conditions experienced in the field and which can be used in design. (Synonym for **design test**.) **D 4885**
- performance test, *n***—*in geosynthetics*, a laboratory procedure which simulates selected field conditions which can be used in design. **D 5141**
- permeability, *n***—the rate of flow of a liquid under a differential pressure through a material. **D 1987, D 4491**
- permeability, *n***—*of geotextiles*, hydraulic conductivity. **D 4491**
- permeation, *n***—the transmission of a fluid through a porous medium (NEW).
- permittivity, (ψ), (T^{-1}), *n***—*of geotextiles*, the volumetric flow rate of water per unit cross sectional area per unit head under laminar flow conditions, in the normal direction through a geotextile. **D 1987, D 4491**
- pore volume of flow (V_{pq}), *n***—the cumulative volume of flow through a test specimen divided by the volume of voids within the specimen. **D 5567**
- pressure flow, *n***—flow in a direction parallel to the plane of a geotextile or related product driven predominately by a differential fluid pressure. **D 4716**
- primary sampling unit, *n***—the sampling unit containing all the sources of variability which should be considered in acceptance testing; the sampling unit taken in first stage of selection in any procedure for sampling a lot or shipment. **D 4354**
- production unit**—*as referred to in this practice*, is a quantity of geotextile agreed upon by the purchaser and seller for the purpose of sampling. **D 4354**
- proportional limit, *n***—the greatest stress which a material is capable of sustaining without any deviation from proportionality of stress to strain (Hooke's law). **D 4595**
- puncture resistance, (F), *n***—the inherent resisting mechanism of the test specimen to the failure by a penetrating or puncturing object. **D 4833**
- quality assurance, *n***—all those planned or systematic actions necessary to provide adequate confidence that a material, product, system, or service will satisfy given needs. **D 4354**
- quality control, *n***—the operational techniques and the activities which sustain a quality of material, product, system, or service that will satisfy given needs; also the use of such techniques and activities. **D 4354**
- rate of creep, *n***—the slope of the creep-time curve at a given time. **D 5262**
- sample, *n***—(1) a portion of material which is taken for testing or for record purposes. (2) a group of specimens used, or of observations made, which provide information that can be used for making statistical inferences about the population(s) from which the specimens are drawn. (See also **laboratory sample**, **lot sample**, and **specimen**.) **D 4354, D 5818**
- sample, laboratory**—See **laboratory sample**.
- sample, lot**—See **lot sample**.
- sampling unit, *n***—an identifiable, discrete unit or subunit of material that could be taken as part of a sample. (See also **primary sampling unit**, **laboratory sample**, and **specimen**.) **D 4354**
- sampling unit, primary**—See **primary sampling unit**.
- seam, *n***—a permanent joining of two or more materials. **D 5820**
- seam, *n***—the connection of two or more pieces of material by mechanical, chemical, or fusion methods to provide the integrity of a single piece of the material. **D 5641**
- seam allowance, *n***—the width of fabric used in making a seam assembly, bounded by the edge of the fabric and the furthest stitch line. **D 4884**
- seam assembly, *n***—the unit obtained by joining fabrics with a seam, including details such as fabric direction(s), seam allowance, sewing threads used, and number of stitches per unit length; and sometimes additional details of fabrication such as sewing-machine type and speed, needle type and size, etc. **D 4884**
- seam design engineering, *n***—the procedures used to select a specific thread, a specific stitch type, and a specific seam type to achieve the required seam strength. **D 4884**
- seam efficiency, sewn, *n***—*in sewn fabrics*, the ratio expressed as a percentage of seam strength to fabric strength.
- seam interaction, *n***—the result of combining a specific textile, a specific stitch type, and a specific seam type. **D 4884**
- seam type, *n***—*in sewn fabrics*, an alphanumeric designation relating to the essential characteristics of fabric positioning and rows of stitching in a specific sewn fabric seam (see Federal Standard 751). **D 4884**
- secant modulus, *n***—the ratio of stress (nominal) to corresponding strain at any specified point on the stress-strain curve. **D 5323**
- secant modulus, J_{sec} (FL^{-1}), Nm^{-1} , *n***—*for geosynthetics*, the ratio of change in force per unit width to the change in elongation between two points on a force-elongation curve. **D 4885**
- selvage, *n***—the woven edge portion of a fabric parallel to the warp. **D 4884**
- sewing thread, *n***—a flexible, small diameter yarn or strand, usually treated with a surface coating, lubricant, or both, intended to be used to stitch one or more pieces of material or an object to a material. **D 4884**
- sewn seam, *n***—*in sewn fabrics*, a series of stitches joining two or more separate plies of a material or materials of planar structure such as textile fabric. **D 4884**
- sewn seam strength, *n***—*for geotextiles*, the maximum resistance, measured in kilonewtons per metre, of the junction formed by stitching together two or more planar structures. **D 4884**
- specification, *n***—a precise statement of a set of requirements to be satisfied by a material, product, system or service that indicates the procedures for determining whether each of the requirements is satisfied. **D 4759**
- specific gravity, *n***—the ratio of the density of the substance in question to the density of a reference substance at specified conditions of temperature and pressure. **D 4439**
- specimen, *n***—a specific portion of a material or laboratory sample upon which a test is performed or which is taken for that purpose. (*Syn.* test specimen) **D 4354**
- stiffness, *n***—resistance to bending. **D 4439**
- stitch, *n***—the repeated unit formed by the sewing thread in the production of seams in a sewn fabric (see Federal Standard 751a). **D 4884**

strain, *n*—the change in length per unit of length in a given direction. **D 4439**

stress crack, *n*—an external or internal crack in a plastic caused by tensile stresses less than its short-time mechanical strength. **D 5397**

tangent point, *n*—for *geotextiles*, the first point of the force-elongation curve at which a major decrease in slope occurs. **D 4595**

tearing strength, (F, (F), kN) *n*—the force required either (1) to start or (2) to continue or propagate a tear in a fabric under specified conditions. **D 4439, D 4533**

temperature stability, *n*—for a *geotextile*, the percent change in tensile strength or in percent elongation as measured at a specified temperature and compared to values obtained at the standard conditions for testing *geotextiles*. **D 4594**

tensile creep rupture strength, [FL⁻¹], *n* for *geosynthetics*, the force per unit width that will produce failure by rupture in a creep test in a given time, at a specified constant environment **D 5262**

tensile creep strain, *n*—the total strain at any given time. **D 5262**

tensile modulus, *J*, (FL⁻¹), Nm⁻¹, *n*—for *geotextiles*, the ratio of the change in tensile force per unit width to a corresponding change in strain (slope). **D 4595**

tensile strength, *n*—for *geotextiles*, the maximum resistance to deformation developed for a specific material when subjected to tension by an external force. **D 4595**

tensile test, *n*—in *textiles*, a test in which a textile material is stretched in one direction to determine the force-elongation characteristics, the breaking force, or the breaking elongation. **D 4595**

test result, *n*—a value obtained by applying a given test method, expressed either as a single observation or a specified combination of a number of observations. **D 4354**

test section, *n*—a distinct area of construction. **D 5818**

thickness, compressed—See **compressed thickness**.

turbulent flow, *n*—that type of flow in which any water particle may move in any direction with respect to any other particle, and in which the head loss is approximately proportional to the second power of the velocity. **D 4716**

vacuum chamber, *n*—a device that allows a vacuum to be applied to a surface. **D 5641**

void ratio (e, (D)) *n*—the ratio of the volume of void space to the volume of solids. **D 4439**

warp, *n*—the yarn running lengthwise in a woven fabric. **D 4884**

weft, *n*—see **filling**.

wide strip tensile test, *n*—for *geosynthetics*, a tensile test in which the entire width of a 200 mm (8.0 in.) wide specimen is gripped in the clamps and the gage length is 100 mm (4.0 in.). **D 4885**

wide-width strip tensile test, *n*—for *geotextiles*, a uniaxial tensile test in which the entire width of a 200-mm (8.0-in.) wide specimen is gripped in the clamps and the gage length is 100 mm (4.0 in.). **D 4595**

work-to-break (W, LF) *n*—in *tensile testing*, the total energy required to rupture a specimen. **D 4439, D 4595, D 4885**

yield point, *n*—in *geosynthetics*, the point on the force-elongation curve at which the first derivative equals zero (the first maximum). **D 4885**

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.



Standard Practice for Sampling of Geosynthetics for Testing¹

This standard is issued under the fixed designation D 4354; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This practice covers three procedures for the sampling of geosynthetics for testing. This practice requires that instructions on taking laboratory samples and test specimens be part of every test method for geosynthetics.

1.1.1 The first procedure describes the sampling of production units for the purpose of manufacturer's quality control (MQC) (Table 1).

1.1.2 The second procedure describes the sampling of production units for the purpose of manufacturer's quality assurance (MQA) testing during the manufacturing process. This requires that backup statistical process control records be maintained during the manufacturing process (Table 2).

1.1.3 The third procedure describes the division of shipments of geosynthetics into lots and the determination of lot sample size for purchaser's specification conformance testing (Table 3).

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 123 Terminology Relating to Textiles²

D 4271 Practice for Writing Statements on Sampling in Test Methods for Textiles³

D 4439 Terminology for Geosynthetics⁴

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *geosynthetic, n*—a planar product manufactured from polymeric material used with soil, rock, earth, or other geotechnical engineering related material as an integral part of a man-made project, structure, or system.

3.1.2 *lot, n*—a unit of production, or a group of other units or packages, taken for sampling or statistical examination, having one or more common properties and being readily separable from other similar units.

3.1.3 *quality assurance, n*—all those planned or systematic actions necessary to provide adequate confidence that a

TABLE 1 Number of Units to be Selected as Lot Sample—
Manufacturer's Quality Control

Number of Units in Lot	Number of Units Selected
1 to 2	1
3 to 8	2
9 to 27	3
28 to 64	4
65 to 125	5
126 to 216	6
217 to 343	7
344 to 512	8
513 to 729	9
730 to 1000	10
1001 or more	11

material, product, system, or service will satisfy given needs.

3.1.4 *quality control, n*—the operational techniques and the activities which sustain a quality of material, product, system, or service that will satisfy given needs; also the use of such techniques and activities.

3.1.5 *sample, n*—(1) a portion of material which is taken for testing or for record purposes. (See also *sample, lot*; *sample, laboratory*; and *specimen*.) (2) a group of specimens used, or of observations made, which provide information that can be used for making statistical inferences about the population(s) from which the specimens are drawn.

3.1.6 *sample, laboratory, n*—a portion of material taken to represent the lot sample, or the original material, and used in the laboratory as a source of test specimens.

3.1.7 *sample, lot, n*—one or more shipping units taken at random to represent an acceptance sampling lot and used as a source of laboratory samples.

3.1.8 *sampling unit, n*—an identifiable, discrete unit or subunit of material that could be taken as part of a sample.

3.1.8.1 *Discussion*—Figure 1 is included to show the difference between *lot sample*, *laboratory sample* and *test specimen*.

3.1.9 *sampling unit, primary, n*—the sampling unit containing all the sources of variability which should be considered in acceptance testing; the sampling unit taken in first stage of selection in any procedure for sampling a lot or shipment.

3.1.9.1 *Discussion*—For textiles, the primary sampling units are generally taken as the shipping units making up a lot; such as bales of fiber, cases of yarn, rolls of fabric, or cartons of garments or other finished products. Adequate sampling for acceptance testing requires taking into account not only the variability between primary sampling units but also the variability between subunits within primary sampling units and between specimens from a single subunit in a primary sampling unit.

3.1.10 *specimen, n*—a specific portion of a material or laboratory sample upon which a test is performed or which is

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee D-35 on Geosynthetics and is the direct responsibility of Subcommittee D35.01 on Mechanical Properties.

Current edition approved August 10, 1996. Published November 1996. Originally published as D 4354 - 84. Last previous edition D 4354 - 89 (1994).

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 07.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 07.02.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.09.

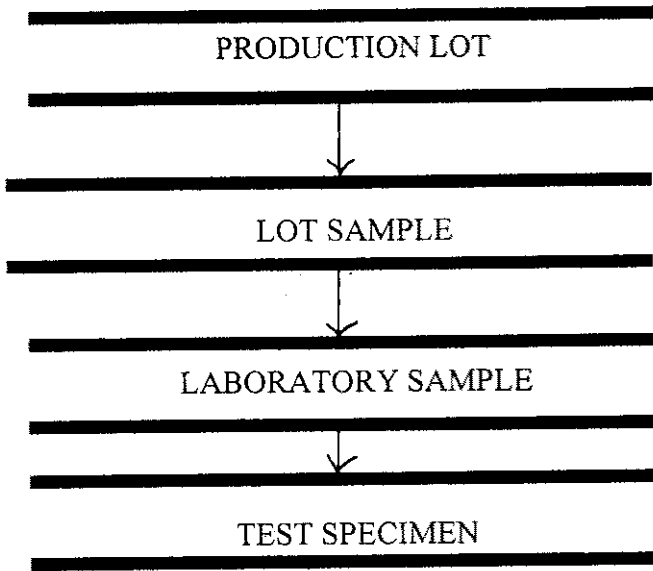


FIG. 1 Sampling Unit

taken for that purpose. (Syn. *test specimen*.)

3.1.11 *test result, n*—a value obtained by applying a given test method, expressed either as a single observation or a specified combination of a number of observations.

3.1.11.1 *Discussion*—A test result is the value reported for a single subunit of the laboratory sample. For different test methods a test result might be (1) the value of a single observation (such as a measurement of a property, a count of defects, or a grading or rating) on a single specimen from a single subunit of the laboratory sample; (2) the average or some other function of the values for single observations on each of n specimens from a single subunit of the laboratory sample; or (3) a ratio of successes to total observations for n specimens from a single subunit of the laboratory sample.

3.1.12 For definitions of other textile terms used in this practice, refer to Terminology D 123.

3.1.13 For definitions of other geosynthetic terms used in this practice, refer to Terminology D 4439.

3.2 *Description of a Term Specific to This Standard:*

3.2.1 *production unit*—as referred to in this practice, is a quantity of geosynthetic agreed upon by the purchaser and seller for the purpose of sampling.

3.2.1.1 *Discussion*—In the absence of an agreed upon quantity, 1000 m² (1200 yd²) is recommended. For example, a production run may be 6000 m². For the purpose of sampling, if 1000 m² criteria is used, this would be 6 production units.

3.2.1.2 *Discussion*—For the purpose of this practice, the purchaser is considered to be the project owner, while the seller is the entity supplying the geosynthetic to the project owner.

4. Summary of Practice

4.1 Instructions are given within this practice for dividing shipments or consignments of geosynthetics into lots and for the determination of the number of production units in a lot sample.

4.2 The number or method for determination of the number of specimens to be tested from the laboratory

sample is contained in the specific geosynthetic property test method.

5. Significance and Use

5.1 This practice provides a means by which samples of geosynthetics may be selected to provide a statistically valid sample for the selection of test specimens without previous knowledge of the variability that may exist between production units.

5.2 The principles stated in Practice D 4271, and the illustrative text in that practice can be used by test method authors in preparing sampling statements.

5.3 This practice gives three procedures for sampling: one for manufacturer's quality control (MQC), one for manufacturer's quality assurance (MQA) testing, and a third for purchaser's specification conformance testing. For this reason, test methods containing a section on sampling that requires the use of this practice should contain a statement in the section on reporting similar to the following: "Report which procedure from Practice D 4354 was used for sampling: Procedure A for Manufacturer's Quality Control (MQC), Procedure B for Manufacturer's Quality Assurance (MQA) Testing, or Procedure C for Purchaser's Specification Conformance Testing."

5.4 Manufacturer's Quality Assurance is done internally to ensure the manufacturer of the MQC program. When it is required to provide certification to a purchaser as to quality assurance, the MQA testing is to be done by an external MQA testing facility.

6. Procedure A—Sampling for Manufacturer's Quality Control (MQC) Testing

6.1 *Division into Lots*—Consider as a separate lot any portion of a production that represents the planned production quantity that the producer is testing, that differs from other portions in specifications, style, or physical characteristics. If portions that are billed or designated as separate lots are shipped from different production plants, treat each separately shipped portion as a separate lot. When sampling is required during manufacturing, consider a lot to be the planned production quantity.

6.2 *Determination of Lot Sample Size:*

6.2.1 Use Table 1 to determine the lot sample size for quality control testing.

6.2.2 When time intensive tests, such as ultraviolet degradation, are used do not test more than two units from a single lot. Maintain information on the number of such tests per lot and supply the information to the purchaser upon request.

6.2.3 If sampling is required during manufacture, select the units for the lot sample at uniformly spaced time intervals throughout the production period.

6.2.4 For properties that are evaluated as attributes, the units in the lot sample serve as both laboratory samples and test specimens.

7. Procedure B—Sampling for Manufacturer's Quality Assurance (MQA) Testing

7.1 *Division into Lots*—Consider as a separate lot any portion of a shipment that the user is testing, or planned production quantity that the producer is testing, that differs

TABLE 2 Number of Units to be Selected as Lot Sample—
Manufacturer's Quality Assurance

Number of Units in Lot	Number of Units Selected
1 to 200	1
201 to 500	2
501 to 1000	3
1001 or more	4

from other portions in specifications, style, or physical characteristics. If portions that are billed or designated as separate lots are shipped from different production plants, treat each separately shipped portion as a separate lot. When sampling is required during manufacturing, consider a lot to be the planned production quantity.

7.2 *Determination of Lot Sample Size*—Use Table 2 to determine the lot sample size for quality assurance testing.

7.2.1 When time intensive tests, such as ultraviolet degradation, are used do not test more than two units from a single lot. Maintain information on the number of such tests per lot and supply the information to the purchaser upon request.

8. Procedure C—Sampling for Purchaser's Specification Conformance Testing

NOTE 1—The conformance testing is done by the purchaser or designated person/organization. It is usually done as the geosynthetics are brought to the project site and justify the payment of the billing.

8.1 *Division into Lots*—Consider as a separate lot any portion of a shipment that the user is testing, or planned production quantity that the producer is testing, that differs

TABLE 3 Number of Units to be Selected as Lot Sample—
Purchaser's Specification Conformance

Number of Units in Lot	Number of Units Selected
1 to 200	1
201 to 500	2
501 to 1000	3
1001 or more	4

from other portions in specifications, style, or physical characteristics. If portions that are billed or designated as separate lots are shipped from different production plants, treat each separately shipped portion as a separate lot. When sampling is required during manufacturing, consider a lot to be the planned production quantity.

8.2 *Determination of Lot Sample Size*:

8.2.1 Take for the lot sample, production units, as directed in an applicable material specification, or as agreed upon by the purchaser and the seller. Consider the applicable units of production to be the primary sampling units.

8.2.2 In the absence of a material specification or other agreement use Table 3 to determine the lot sample size for specification conformance testing.

8.2.3 If the specification requires sampling during manufacture, select the units for the lot sample at uniformly spaced time intervals throughout the production period.

8.2.4 For properties that are evaluated as attributes, the units in the lot sample serve as both laboratory samples and test specimens.

9. Keywords

9.1 geosynthetic; quality assurance; quality control; sampling; specification conformance; testing

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.