



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE SISTEMAS DE SUBDRENAJE CON ELEMENTOS
FILTRANTES EN OBRAS VIALES**

Francisco José Monroy Melgar

Asesorado por el Ing. Omar Enrique Medrano Méndez

Guatemala, septiembre de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE SISTEMAS DE SUBDRENAJE CON ELEMENTOS
FILTRANTES EN OBRAS VIALES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

FRANCISCO JOSÉ MONROY MELGAR

ASESORADO POR EL ING. OMAR ENRIQUE MEDRANO
MÉNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortíz de León
VOCAL V	Agr. José Alfredo Ortíz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

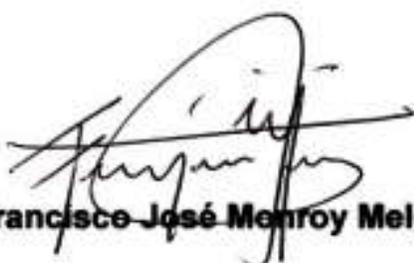
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
EXAMINADOR	Ing. Claudio César Castañon Contreras
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE SISTEMAS DE SUBDRENAJE CON ELEMENTOS FILTRANTES EN OBRAS VIALES,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, el 10 de septiembre de 2009.



Francisco José Menroy Melgar



Guatemala, 14 de junio de 2010

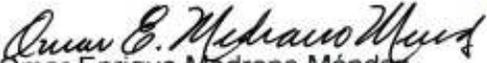
Ingeniero
José Gabriel Ordoñez Morales
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Ingeniero Ordoñez:

Luego de un breve saludo, sírvame la presente para informarle que el trabajo de graduación "**DISEÑO DE SISTEMAS DE SUBDRENAJE CON ELEMENTOS FILTRANTES EN OBRAS VIALES**", elaborado por el alumno Francisco José Monroy Melgar, ha sido finalizado a satisfacción y revisado por mi persona.

Sin otro particular me despido.

Atentamente,


Ing. Omar Enrique Medrano Méndez

Colegiado 6842

Jefe de la Sección de Mecánica de Suelos





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
20 de julio de 2010

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos
Guatemala

Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **DISEÑO DE SISTEMAS DE SUBDRENAJE CON ELEMENTOS FILTRANTES EN OBRAS VIALES**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Francisco José Monroy Melgar, quien contó con la asesoría del Ing. Omar Enrique Medrano Méndez.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante Monroy Melgar, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


José Gabriel Córdobez Morales
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

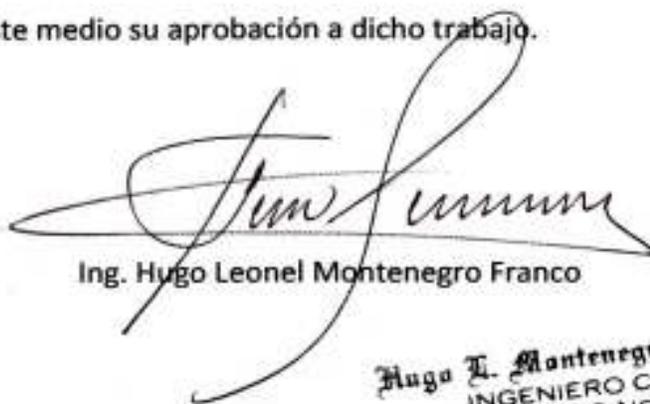
/bbdeb.

Más de 130^{Años} de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del asesor Ingeniero Omar Enrique Medrano Méndez y del Coordinador del Area de Materiales y Construcciones Civiles, Ingeniero José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Francisco José Monroy Melgar, titulado **DISEÑO DE SISTEMAS DE SUBDRENAJE CON ELEMENTOS FILTRANTES EN OBRAS VIALES**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.



Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco

Hugo L. Montenegro Franco
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO NO 3177

Guatemala, septiembre de 2010.

/bbdeb

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
DECANATO

Ref.D.T.G.Sept.2010

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE SISTEMAS DE SUBDRENAJE CON ELEMENTOS FILTRANTES EN OBRAS VIALES**, presentado por el estudiante universitario **Francisco José Monroy Melgar**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, septiembre de 2010

/gdech.

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

Gracias por bendecir e iluminar la trayectoria de mi carrera, por permitirme cumplir este sueño y vivir este momento, brindándome salud, fuerza y deseos, para obtener una meta más en mi vida.

MI MADRE

Rossana Patricia Melgar Palacios (+), por darme la vida y ser ejemplo de paciencia y apoyo, sé que me estás viendo desde el cielo.

MI PADRE

Francisco Adilio Monroy González, gracias por ser modelo en mi vida y por brindarme consejos de sabiduría para lograr alcanzar este sueño.

MIS HERMANAS

Merybeth y María José, deseándoles que mi logro sea un ejemplo de inspiración para alcanzar sus metas.

MI FAMILIA

Por su apoyo en todo momento, quienes de alguna manera me animaron a seguir adelante, para conseguir este objetivo que hoy en día se cumple.

MIS AMIGOS

Gracias a todos por estar siempre conmigo durante toda la carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios, mis padres y a mi familia por ser parte de mi vida y por el apoyo brindado durante el transcurso de mis estudios, dando como resultado este triunfo.

Al ingeniero Omar Enrique Medrano Méndez, por su asesoría y continuo apoyo en el transcurso del desarrollo del presente trabajo de graduación, sin el cual jamás hubiera sido posible.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por darme la oportunidad y ser la facilitadora de la adquisición de los conocimientos obtenidos hasta el día de hoy.

Al laboratorio de Mecánica de Suelos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, por la ayuda brindada en la realización de los ensayos de laboratorio de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. IMPORTANCIA DE UN SISTEMA DE SUBDRENAJE	1
1.1. Aspectos fundamentales de un sistema de subdrenaje	1
1.2. Metodología de diseño de subdrenajes	2
1.3. Estimación del caudal de diseño	3
1.3.1. Caudal por infiltración	4
1.3.2. Caudal por abatimiento del nivel freático	6
1.3.3. Caudal por escorrentía superficial	7
1.4. Dimensionamiento de la sección transversal	8
1.5. Flujo de fluidos en los suelos	11
1.5.1. Ley de Darcy	13
2. DISEÑO DE FILTROS CON GEOTEXILES	17
2.1. Retención	18
2.2. Permeabilidad	19
2.3. Colmatación	20
2.4. Supervivencia	22
2.5. Durabilidad	23
2.6. Cálculo hidráulico para la escogencia del geotextil	24
2.7. Diseño de filtros granulares	27

2.7.1. Permeabilidad	29
2.8. Propiedades del material base	32
2.8.1. Base de grava o piedra triturada	33
2.8.2. Base granular	35
2.9. Funciones de los geotextiles	37
2.9.1. Función de separación	37
2.9.2. Función de refuerzo	38
2.9.3. Función de drenaje	39
2.9.4. Función filtro	41
2.9.5. Función de impermeabilización	42
2.10. Tipos de geotextiles	42
2.10.1. Geotextiles tejidos	42
2.10.1.1. Geotextil tejido plano	43
2.10.1.2. Geotextil tejido canasta	43
2.10.2. Geotextiles no tejidos	44
2.10.2.1. Geotextiles no tejidos ligados punzonados por agujas	44
2.10.2.2. Geotextiles no tejidos ligados termosoldados	45
2.10.2.3. Geotextiles no tejidos ligados químicamente o resinados	45
3. ENSAYOS DE LABORATORIO	47
3.1. Análisis granulométrico (AASHTO T-27, T-11 – ASTM D421)	47
3.2. Límites de consistencia de Atterberg	49
3.2.1. Límite líquido (L.L.) (AASHTO T-89 – ASTM D423)	49
3.2.2. Límite plástico (L.P.) (AASHTO T-90 – ASTM D424)	49
3.3. Permeabilidad (AASHTO T-125-66 – ASTM D2434)	50
4. RESULTADOS	51
4.1. Análisis granulométrico	51
4.2. Límites de consistencia de Atterberg	58

4.2.1. Límite líquido	58
4.2.2. Límite plástico	61
4.3. Permeabilidad	63
4.4. Ejemplo ilustrativo	76
4.5. Interpretación de resultados	87
CONCLUSIONES	91
RECOMENDACIONES	93
BIBLIOGRAFÍA	95
APÉNDICE	97
ANEXOS	101

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Dirección de la resultante de dos pendientes dadas	3
2. Sección transversal del sistema de subdrenaje en una vía	8
3. Pendiente Vs. Velocidad, según el tamaño del agregado (para agregados de tamaño uniforme)	10
4. Trayectoria del flujo de agua en un suelo	12
5. Estado del agua en el suelo	13
6. Experimento de Darcy	14
7. Paso del agua a través del sistema de filtración	17
8. Colmatación del filtro por penetración de partículas	21
9. Esquema de la granulometría aceptable para un filtro de protección de un determinado suelo	29
10. Los granos grandes impiden el paso de los pequeños en las aberturas del filtro	30
11. La función de separación con geotextil evita pérdida de agregados	38
12. Función de refuerzo a la tracción del geotextil	39
13. Drenaje del flujo a través del mismo tejido	40
14. Función de filtración del fluido	41
15. Vista microscópica de algunos tipos de geotextiles tejidos	43
16. Vista microscópica de algunos tipos de geotextiles no tejidos	46
17. Máquina tamizadora con juego de tamices	48
18. Equipo para el ensayo del límite líquido	49
19. Equipo para el ensayo del límite plástico	49

20. Equipo para el ensayo de permeabilidad	50
21. Curva de distribución granulométrica por tamizado	53
22. Curva de distribución granulométrica por tamizado	56
23. Colocación del material en máquina tamizadora	58
24. Gráfico semilogarítmico para determinar el límite líquido	59
25. Copa de Casagrande utilizada para la obtención de límite líquido	60
26. Muestras obtenidas para determinar el contenido de humedad	60
27. Cilindros de suelo obtenidos para el límite plástico	62
28. Montaje del equipo para el ensayo de permeabilidad	63
29. Colocación del material en el permeámetro de compactación	66
30. Colocación del geotextil en el equipo de permeabilidad	69
31. Muestras obtenidas luego de realizar el ensayo de permeabilidad	75
32. Sistema de clasificación AASHTO	98

TABLAS

I.	Valores recomendados para F_i	5
II.	Valores recomendados para F_R	6
III.	Rango de algunas propiedades representativas de geotextiles utilizados para filtro	23
IV.	Propiedades mecánicas del geotextil según Especificaciones AASHTO M-288-05	24
V.	Factores de seguridad de geotextiles de drenaje	26
VI.	Granulometría de filtro tipo I según ASTM D 1241-68	31
VII.	Granulometría de filtro tipo II según ASTM D 1241-68	32
VIII.	Requisitos de granulometría de una base de grava o piedra triturada según norma ASTM D 1241	34
IX.	Requisitos de granulometría de una base granular según norma ASTM D 1241	36
X.	Análisis granulométrico por tamizado	52
XI.	Análisis granulométrico por tamizado	55
XII.	Datos para la determinación del límite líquido (LL)	59
XIII.	Datos para la determinación del límite plástico (LP)	61
XIV.	Clasificación de los suelos según su índice plástico (IP)	62
XV.	Datos del ensayo para determinar el coeficiente de permeabilidad con el método de cabeza constante sin geotextil	64
XVI.	Datos del ensayo para determinar el coeficiente de permeabilidad con el método de cabeza constante sin geotextil	67
XVII.	Datos del ensayo para determinar el coeficiente de permeabilidad con el método de cabeza constante con geotextil	70
XVIII.	Datos del ensayo para determinar el coeficiente de permeabilidad con el método de cabeza constante con geotextil	73
XIX.	Permeabilidad de la arcilla sin geotextil y con geotextil	87
XX.	Permeabilidad de la arena limosa sin geotextil y con geotextil	88

XXI.	Valores obtenidos según criterios de diseño para la arcilla limosa	89
XXII.	Valores obtenidos según criterios de diseño para la arena limosa	89
XXIII.	Sistema unificado de clasificación de los suelos SUCS	97
XXIV.	Corrección de viscosidad para η_T / η_{20}	99

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
ΔT	Variación en la temperatura
η	Viscosidad absoluta
η_T/η_{20}	Corrección de viscosidad de los fluidos a la temperatura T del ensayo y a 20 °C
Ψ_{adm}	Permitividad admisible
Ψ_{req}	Permitividad requerida del geotextil
Ψ_{ult}	Permitividad última
C_C	Coefficiente de curvatura
C_U	Coefficiente de uniformidad
D	Diámetro de las partículas más finas
D_{10}	Diámetro aparente de la partícula de suelo a un 10%
D_{30}	Diámetro aparente de la partícula de suelo a un 30%
D_{60}	Diámetro aparente de la partícula de suelo a un 60%
D_{85}	Diámetro aparente de la partícula de suelo a un 85%
F_i	Factor de infiltración
F_R	Factor de retención de la capa granular
i	Gradiente hidráulico

k	Coeficiente de permeabilidad
k_T	Coeficiente de permeabilidad a la temperatura del ensayo
$k_{20^{\circ}\text{C}}$	Coeficiente de permeabilidad expresado a 20 °C
k_g	Permeabilidad del geotextil
k_s	Permeabilidad del suelo
LL	Límite líquido
LP	Límite plástico
Q_T	Caudal total
TAA	Tamaño de abertura aparente
v	Velocidad

GLOSARIO

Caudal	Cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.
Colmatación	Proceso en el cual su permeabilidad original se ha reducido sustancialmente, a causa del progresivo taponamiento de los poros existentes entre sus partículas, con materiales finos transportados en suspensión por el agua que se va infiltrando.
Erosión	Proceso de sustracción o desgaste del relieve del suelo intacto, por acción de procesos geológicos como las corrientes superficiales de agua o hielo glaciar, el viento o la acción de los seres vivos.
Escorrentía	Agua procedente de la lluvia que circula por la superficie y se concentra en los cauces, es función de las características topográficas, geológicas, climáticas y de vegetación de la cuenca y está íntimamente ligada a la relación entre aguas superficiales y subterráneas.

Geotextil	Geosintético plano constituido por fibras poliméricas unidas por tejido, punzonado o termofijado y diseñado con determinadas características de resistencia y porosidad para utilizarlos en la solución de diversos problemas geotécnicos relacionados con la filtración, drenaje, estabilización y refuerzo de suelos.
Gradiente hidráulico	Razón entre la variación del valor de la altura piezométrica entre dos puntos de una masa de suelo y la distancia que los separa.
Granulometría	Relación de porcentajes en que se encuentran los distintos tamaños de granos de un árido respecto al total. El tamaño de los granos del suelo tiene una gran influencia sobre la compacidad, impermeabilidad y resistencias mecánicas.
Infiltración	Velocidad con la que el agua penetra en el suelo. La infiltración depende de muchos factores; un suelo desagregado y permeable tendrá una capacidad de infiltración mayor que un suelo arcilloso y compacto.
Nivel freático	Lugar geométrico de los puntos donde la presión del agua es la atmosférica. Por debajo de él, las presiones son positivas (agua freática) y por encima negativas (agua capilar, si está en comunicación con el agua freático, o agua de contacto si no lo está).

Permeabilidad	Capacidad de un material para que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable.
Permitividad	Es el caudal de agua en condiciones laminares, a través de una sección transversal unitaria, bajo una cabeza unitaria en dirección normal al geotextil.
Permeámetro	Aparato que sirve para medir la permeabilidad de los materiales ante el paso de fluidos a través de ellos. Es un método directo de medir el coeficiente de permeabilidad.
Porosidad	Capacidad de almacenamiento de fluidos que posee un suelo y se define como la fracción del volumen total del suelo que corresponde a espacios que pueden almacenar fluidos.
Subdrenaje	Es todo tipo de maniobras y materiales destinados a controlar el flujo del agua de una obra vial, evitando que fluya hacia la superficie y así restringir los cambios volumétricos del material y orientar favorablemente las corrientes de filtración.

Subrasante	Terreno de fundación de los pavimentos, pudiendo estar constituida por el suelo natural del corte o de la parte superior de un relleno debidamente compactado.
Supervivencia	Capacidad del geotextil de cumplir con valores mínimos de resistencia mecánica con el objetivo que soporte las actividades de instalación y manipulación.

RESUMEN

El presente trabajo “Diseño de sistemas de subdrenaje con elementos filtrantes en obras viales” es una guía práctica, que de tal forma ayuda a que se llegue a un diseño, técnica y económicamente más conveniente. 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.

El elemento filtrante es el encargado de retener las partículas de los suelos y dejar pasar el agua. El elemento drenante es el encargado de transportar los fluidos que pasan a través del elemento filtrante, función que desempeña cualquier medio poroso que bien puede ser natural o sintético.

Los ensayos realizados permitieron determinar las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas de los materiales, los cuales fueron una arcilla limosa con presencia de arena color café y una arena limosa color beige, estos ensayos fueron: granulometría, límites de Atterberg y permeabilidad, para luego determinar el diseño y el comportamiento más eficiente de los geotextiles basándose en criterios como: retención, permeabilidad, colmatación, supervivencia y durabilidad

Posteriormente, se evaluó el comportamiento de la permeabilidad del conjunto (suelo-filtro) con los dos tipos de suelos y el geotextil funcionando como elemento filtrante en el sistema, para finalmente presentar aportes para el diseño de elementos filtrantes en un sistema de subdrenaje.

OBJETIVOS

GENERAL

- Analizar el comportamiento de los geotextiles no tejidos como medio filtrante en un sistema de subdrenaje con diferentes tipos de suelos.

ESPECÍFICOS

- Determinar el sistema de filtración utilizando geotextiles no tejidos, basando el diseño de filtros en una serie de criterios como colmatación, permeabilidad, tamaño de abertura aparente, supervivencia y durabilidad, los cuales determinan el comportamiento más eficiente de los filtros en los diferentes tipos de suelos.
- Se pretende distinguir el efecto de la colmatación en un sistema de subdrenaje trabajando con geotextiles no tejidos como elementos filtrantes.
- Establecer si el criterio de retención del geotextil satisface la necesidad de impedir el paso de las partículas del suelo hacia el medio drenante en el sistema de subdrenaje.

INTRODUCCIÓN

Con el transcurso del tiempo, la creciente demanda de obras civiles durables y que permanezcan en buen estado ha hecho pensar en diseño óptimos de acuerdo con los mejores criterios de calidad.

Un buen sistema de drenaje y/o subdrenaje está íntimamente ligado con una mayor durabilidad de las obras, ya que la vida útil de las vías depende en gran parte del período de tiempo en que el exceso de agua esté presente en su estructura.

En el campo de pavimentos, desde la década de los 30-40 se han tenido en cuenta diferentes métodos y prácticas para calcular los efectos del agua en la estructura y se empiezan a publicar las primeras prácticas de sistemas de drenaje. Casi todos los planteamientos coinciden en que una falla en el drenaje y/o subdrenaje causa serios daños y fallas en los diferentes tipos de pavimentos.

El procedimiento de diseño de pavimentos debe garantizar que el exceso de agua pueda ser drenado rápidamente fuera de las secciones de la estructura. Los materiales estructurales en estado saturado, tienden a aumentar la presión de poros y disminuir los esfuerzos efectivos, cambiando los mecanismos de transmisión de esfuerzos de la estructura de pavimento. Adicionalmente, el exceso de agua en una estructura de pavimento oxida la carpeta asfáltica dando origen a la piel de cocodrilo, que no es más que la deformación que se presenta en la carpeta por sobrecargas o compresibilidad del terreno de fundación.

En el caso especial de la ingeniería vial, la consecuencia de la falta de sistemas de subdrenaje eficientes y estables es la saturación de la estructura de pavimento. Los subdrenajes no son diseñados ni construidos en la mayoría de los casos, porque se asume que las carpetas del pavimento son impermeables, cuando en realidad dejan pasar entre el 30% y el 67% del agua de lluvia precipitada sobre ellas. El agua infiltrada, sumada a la subterránea, pueden llegar a inundar la estructura; condición que conduce el deterioro acelerado de los pavimentos.

Las obras de drenaje carretero, han sido necesarias para la preservación en primera instancia de las carreteras, sirviendo para controlar la erosión, estabilización de taludes y como protección a la estructura del pavimento.

Al mismo tiempo que han sido obras complementarias a la construcción de carreteras, han servido como medida de mitigación de los impactos generados por la misma, puesto que al realizarse cortes al terreno y al destruir la capa vegetal, el suelo queda expuesto a la erosión, lo cual es a la vez un impacto negativo al medio ambiente, que es controlado por las obras de drenaje.

1. IMPORTANCIA DE UN SISTEMA DE SUBDRENAJE

El buen diseño de un sistema de subdrenaje 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.

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 subdrenajes en vías es evitar la inundación interna de la estructura, captando, conduciendo o evacuando el agua que pueda entrar en la estructura del pavimento.

1.1. Aspectos fundamentales de un sistema de subdrenaje

Para lograr el buen diseño de un subdrenaje, 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.

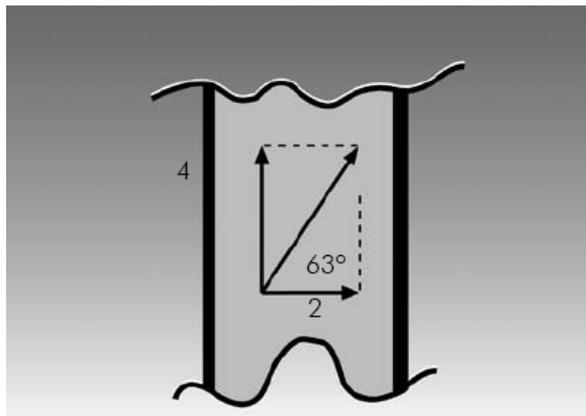
2. Estimar el caudal más crítico, para una longitud de diseño, el cual es la sumatoria de los caudales de aporte, que provienen del agua subterránea y del agua infiltrada. El agua de infiltración proviene de aguas de lluvia, que se infiltra directamente a través de la carpeta del pavimento a través del suelo aledaño al tramo de vía en consideración.
3. Dimensionar la sección transversal del subdrenaje 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.

1.2. Metodología de diseño de subdrenajes

Las líneas de subdrenaje, deben correr de tal manera que intercepten el agua lo más perpendicular posible. Lo anterior quiere decir, que en tramos donde la pendiente longitudinal sea mayor que la pendiente de bombeo, es más eficiente colocar subdrenajes 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 grados con respecto al eje horizontal, en esa dirección se moverá el agua, ver Figura 1. Si este ángulo es menor a 45 grados las líneas de subdrenaje deben correr paralelas al eje (subdrenes longitudinales), si es mayor a 45 grados las líneas de subdrenaje deben correr normal al eje (subdrenes transversales).

Figura 1. Dirección de la resultante de dos pendientes dadas



Fuente: PAVCO. **Manual de diseño de Geotextiles.** Pág. 165

1.3. Estimación del caudal de diseño

Para diseñar subdrenajes 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 similar. Entre más largo sea el recorrido de 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 subdrenajes 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 aledaños.

El caudal generado por la infiltración de agua de lluvia y por el abatimiento del nivel de agua subterránea, en la mayoría de los casos, van a estar presentes en el diseño de los subdrenajes para vías.

1.3.1. Caudal por infiltración

El agua de 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, rígidas como flexibles, no son impermeables. Por lo tanto, el caudal de infiltración se calcula de la siguiente forma:

$$Q_{inf} = I_R * B * L * F_i * F_R$$

Donde:

- I_R = Precipitación máxima horaria de frecuencia anual, registrada en la zona del proyecto.
- B = Para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la vía (ancho de la vía/2). Para el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes.
- L = Longitud del tramo de drenaje.
- F_i = Factor de infiltración. (Ver Tabla I)
- F_R = Factor de retención de la base, refleja el hecho de que las bases, dada su permeabilidad, entregan lentamente el agua al subdrén. (Ver Tabla II)

Tabla I. Valores recomendados para F_i

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

Fuente: PAVCO. **Manual de diseño de Geotextiles.** Pág. 166

Tabla II. Valores recomendados para F_R

TIPO DE BASE	F_R
Bases bien gradadas, en servicio 5 años o más	1/4
Bases bien gradadas, en servicio menos de 5 años	1/3
Bases de gradación abierta, en servicio 5 años o más	1/3
Bases de gradación abierta, en servicio menos de 5 años	1/2

Fuente: PAVCO. **Manual de diseño de Geotextiles**. Pág. 166

1.3.2. Caudal por abatimiento del nivel freático

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:

$$Q_{NF} = K * i * A_a$$

$$i = \frac{N_d - N_f}{B}$$

$$A_a = (N_d - N_f) * L$$

Donde:

- K = Es el coeficiente de permeabilidad del suelo adyacente.
- i = Es el gradiente hidráulico.
- N_d = Cota inferior del subdrén. (Ver Figura 2)
- N_f = Cota superior del nivel freático. (Ver Figura 2)

- 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 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:

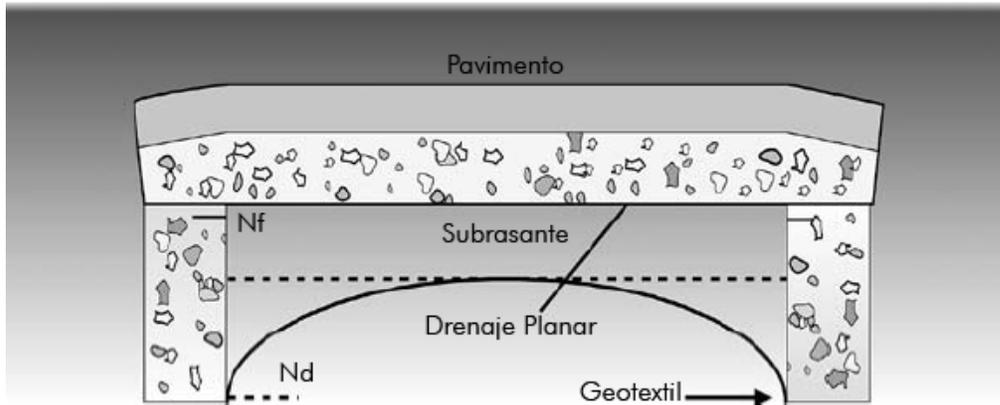
$$Q_T = Q_{inf} + Q_{NF}$$

Nota: El caudal por 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.

1.3.3. Caudal por escorrentía superficial

Este caudal puede ser controlado con métodos de captación, de manera tal, que se minimice la entrada a la estructura del pavimento. En tramos en donde se considere el caudal de agua infiltrada proveniente de taludes como un caudal de aporte, se debe estimar para ser considerado en el diseño.

Figura 2. Sección transversal del sistema de subdrenaje en una vía



Fuente: PAVCO. **Manual de diseño de Geotextiles.** Pág. 167

1.4. Dimensionamiento de la sección transversal

Teniendo el caudal final Q_T , el cual es la suma de los caudales calculados, se realiza el siguiente procedimiento:

$$Q_T = V * i * A$$

Donde:

- Q_T = Caudal total.
- V = Velocidad de flujo, la cual depende de la pendiente longitudinal y del tamaño del agregado usado en el subdrén. (Ver Figura 3)
- i = Gradiente hidráulico que 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 traslape (0.25 – 0.35m).

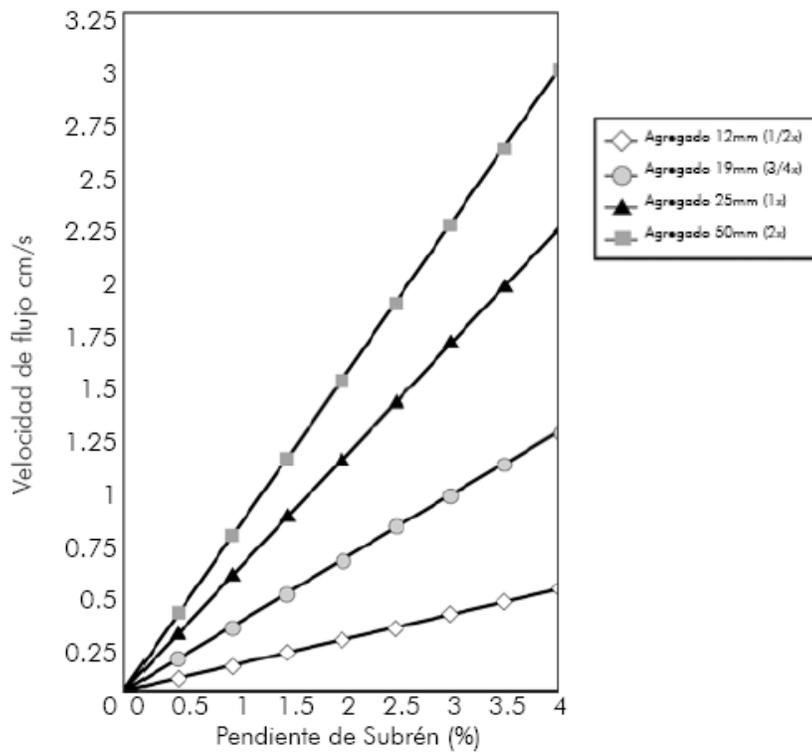
Para el caso en que se necesite aumentar la eficiencia de los subdrenes es recomendable usar tubería perforada, forrada con geotextil, dentro del subdrén, de esta manera se aumenta la eficiencia de drenaje, permitiendo el paso a un caudal mayor en una misma sección transversal. El diámetro de la tubería a usar se puede estimar haciendo uso de la ecuación de Maning. Por tanteo se asume un diámetro de tubería y se rectifica si cumple la siguiente igualdad:

$$Q_T = \left(\frac{1}{n}\right) * A * R^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

- Q_T = Caudal total calculado.
- n = Coeficiente de Maning. Para tubería perforada usualmente es 0.013.
- A = Área del tubo.
- R = AT/P_t (Área total / Perímetro total) A tubo lleno.
- S = Pendiente del subdrén.

Figura 3. Pendiente Vs. Velocidad, según el tamaño del agregado (para agregados de tamaño uniforme)



Fuente: PAVCO. **Manual de diseño de Geotextiles**. Pág. 168

La línea superior de flujo o nivel freático no debe superar en ningún momento la cota de subrasante, con este criterio se debe establecer la profundidad del subdrén N_d .

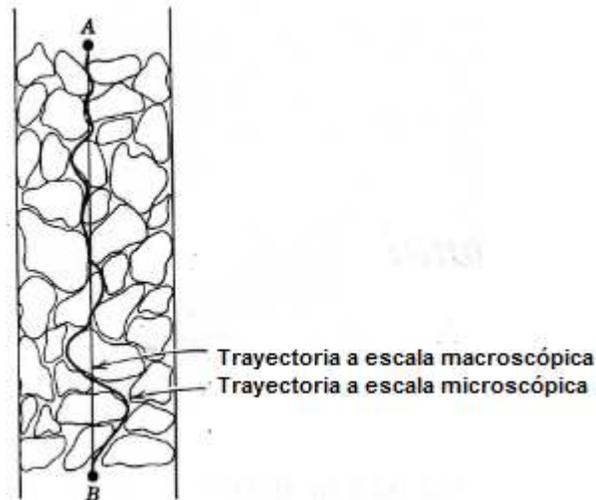
1.5. Flujo de fluidos en los suelos

Es importante conocer los principios del flujo de fluidos para resolver problemas correspondientes a: a) la velocidad a que el agua fluye a través del suelo, b) la consolidación y c) la resistencia.

En general, todos los poros del suelo están conectados con sus vecinos. Los poros aislados son imposibles en una agrupación de esferas, cualquiera que sea la forma de la misma. En los suelos gruesos, gravas, arenas e incluso limos, es difícil imaginar poros aislados. En las arcillas formadas como es habitual por partículas aplanadas, podrían existir un pequeño porcentaje de huecos aislados.

El suelo como se observa a través del estudio de la Mecánica de Suelos, es un material con arreglo variable de sus partículas que dejan entre ellas una serie de poros conectados unos con otros para formar una compleja red de canales de diferentes magnitudes que se comunican tanto con la superficie del terreno como con las fisuras y grietas de la masa del mismo; de aquí que el agua que cae sobre el suelo parte escurre y parte se infiltra por acción de la gravedad hasta estratos impermeables más profundos, formando la llamada capa freática. El límite superior de este manto acuoso se llama nivel freático.

Figura 4. Trayectoria del flujo de agua en un suelo



Fuente: William Lambe. **Mecánica de suelos**. Pág. 267

Al agua que pasa por los poros a través del suelo se le conoce como agua gravitacional y aquella que se encuentra por debajo del nivel freático se llama agua freática. Cuando se suspende el movimiento del agua gravitacional a través del suelo, parte del agua se queda retenida en los poros y sobre la superficie de las partículas debido a las fuerzas de tensión superficial y de absorción. Esta agua, que no puede ser drenada directamente, recibe el nombre de agua retenida. Según el estado en que se encuentra el agua en el suelo reciben los nombres que se muestran en la Figura 5.

Como los poros de un suelo están aparentemente comunicados entre sí, el agua puede fluir a través de los suelos naturales más compactados. Así pues, en una columna del suelo, como la que se muestra en la Figura 4, el agua puede circular del punto A a B una línea recta a velocidad constante, sino más bien un camino ondulante de un poro a otro, como el representado por la línea continua de la Figura 4.

Figura 5. Estado del agua en el suelo



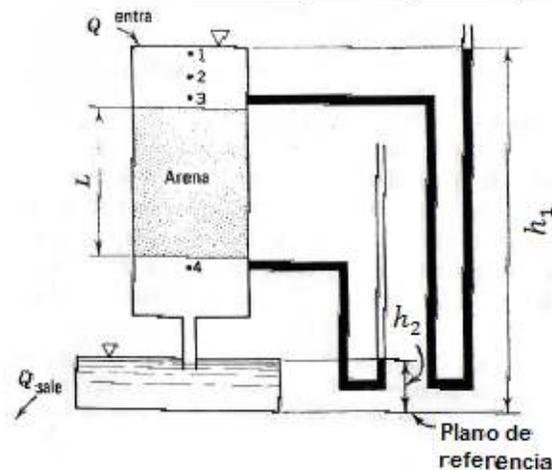
Fuente: Eulalio Juárez. **Mecánica de suelos**. Pág. 143

La velocidad del agua que fluye en un punto cualquiera de su trayectoria depende del tamaño del poro y de su posición en el mismo, especialmente de su distancia a la superficie de la partícula de suelo más próxima. Sin embargo, en problemas de ingeniería de suelos el agua puede considerarse que fluye del punto A a B según una línea recta con una determinada velocidad efectiva.

1.5.1. Ley de Darcy

El flujo de agua a través de medios porosos, de gran interés en la Mecánica de Suelos, está gobernado por una ley descubierta experimentalmente por Henri Darcy en 1856. Darcy investigó las características del flujo del agua a través de filtros, formados precisamente por materiales térreos, lo cual es particularmente afortunado para la aplicación de los resultados de la investigación a la Mecánica de Suelos.

Figura 6. Experimento de Darcy



Fuente: William Lambe. **Mecánica de suelos**. Pág. 268

Trabajando con dispositivos de diseño especial, esencialmente reproducidos en el esquema de la Figura 6, Darcy encontró que para velocidades suficientemente pequeñas, el gasto queda expresado por:

$$Q = k \left(\frac{h_1 - h_2}{L} \right) A * t$$

Donde:

- Q = Cantidad de agua, en cm^3 (descarga).
- k = Permeabilidad hidráulica del suelo, cm/s .
- h_1 = Altura, sobre el plano de referencia, que alcanza el agua en un tubo colocado a la entrada de la capa filtrante.
- h_2 = Altura, sobre el plano de referencia, que alcanza el agua en un tubo colocado a la salida de la capa filtrante.
- L = Longitud de la muestra.

- A = Área total interior de la sección transversal del recipiente de la muestra.
- i = Gradiente hidráulico del flujo.
- t = Tiempo, normalmente en segundos, durante el cual fluye la cantidad de agua.

De la expresión anterior se puede despejar la constante de permeabilidad o de conductividad hidráulica, obteniéndose:

$$k = \frac{V}{iAt}$$

como velocidad

$$v = \frac{V}{At}$$

por lo tanto, se obtiene:

$$v = ki$$

Donde:

- v = Velocidad de Darcy, en cm/s.
- k = Permeabilidad hidráulica del suelo, cm/s.
- i = Gradiente hidráulico del flujo.

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

Donde:

Δh = Diferencia de carga piezométrica entre las secciones.

L = Longitud de la muestra.

La conductividad hidráulica K es una propiedad importante de los suelos y su valor depende del tamaño de los poros, los cuales a su vez están en función de la forma, tamaño y acomodo de la partículas del suelo.

Un suelo fino, como la arcilla, tendrá una constante de permeabilidad mucho menor que una arena de grano grueso, debido a que aquella opondrá mayor resistencia al movimiento del agua debido al menor tamaño de los poros y de los canales de flujo. El valor de K indica la mayor o menor facilidad con que el agua fluye del suelo, estando sujeta a un gradiente hidráulico dado.

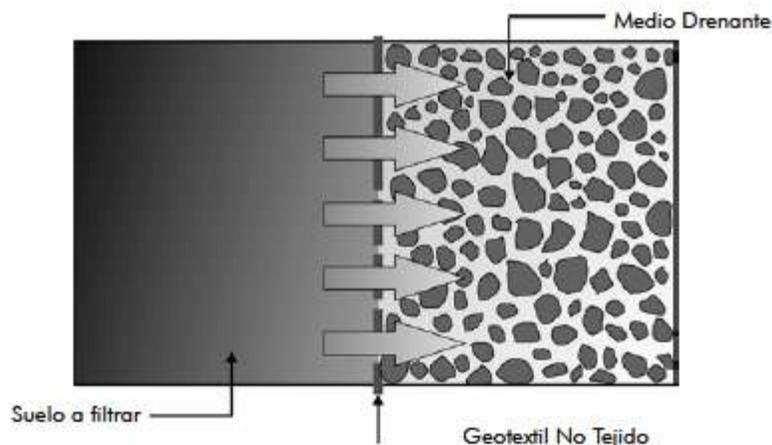
La medida de la constante de permeabilidad se hace por medio de permeámetros, los cuales puede ser:

- Permeámetro de cabeza constante (AASHTO T-215 – ASTM D2434)
- Permeámetro de cabeza variable (AASHTO T-215 – ASTM D2434)

2. DISEÑO DE SUBDRENAJE CON GEOTEXILES UTILIZADOS COMO FILTROS

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.

Figura 7. Paso del agua a través del sistema de filtración



Fuente: PAVCO. **Manual de diseño de Geotextiles.** Pág. 169

La metodología de diseño, consiste en revisar, cuáles de los geotextiles, satisfacen las características hidráulicas y mecánicas que resulten de la revisión de los criterios de diseño que se presentan a continuación:

2.1. Retención (TAA)

El criterio de retención por tamaño de abertura aparente permite determinar el tamaño de las aberturas del geotextil para que sean lo suficientemente pequeñas y evitar la migración del suelo hacia el medio drenante o hacia donde se dirige el flujo.

De acuerdo con lo establecido en “*Geotextiles Engineering Manual*” de la *Federal Highway Administration (FHWA)* y basados en los criterios de retención, un geotextil debe cumplir con la siguiente condición:

$$TAA < D_{85} * B$$

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 diámetros conocidos, cuando el 5% de un tamaño determinado de esferas pasa a través del geotextil, se define el TAA. Ensayo ASTM D4751.

D₈₅ = 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 depende del tipo de suelo a filtrar en contacto con el geotextil y de las condiciones de flujo, varía entre 1 y 3.

- Para arenas, arenas gravosas, arenas limosas y arenas arcillosas (con menos del 50% pasa tamiz # 200), B es función del coeficiente de uniformidad C_u , donde $C_u = D_{60}/D_{10}$, de la siguiente manera:

$$2 < C_u \leq 8 \Rightarrow B = 1$$

$$2 < C_u \leq 4 \Rightarrow B = 0.25 * C_u$$

$$4 < C_u \leq 8 \Rightarrow B = \frac{8}{C_u}$$

- Para suelos arenosos mal gradados usar B entre 1.5 y 2.
- Para suelos que utilicen geotextil B es función del tipo de geotextil.

Para Tejidos: $B = 1 \rightarrow TAA \leq D_{85}$

Para No Tejidos: $B = 1.8 \rightarrow TAA \leq 1.8 * D_{85}$

Donde:

$$TAA = 0.150 \text{ mm}$$

2.2. Permeabilidad

Se debe permitir un adecuado flujo del agua a través del geotextil considerando su habilidad para esto.

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:

1. 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 que debe de cumplir los geotextiles, este valor debe ser:

$$K_g > K_s$$

Donde:

$$K_g = \text{Permeabilidad del geotextil} = 36 * 10^{-3} \text{ cm/s}$$

$$K_s = \text{Permeabilidad del suelo}$$

2. 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:

$$K_g > 10 * K_s$$

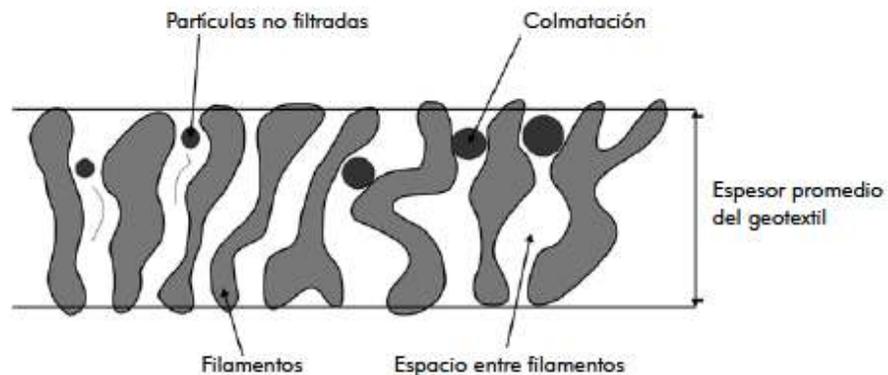
En estas condiciones también se recomienda colocar una capa de arena media a gruesa.

2.3. Colmatación

La colmatación resulta cuando partículas finas de suelo penetran dentro del geotextil, bloqueando sus canales de poros o cuando son depositadas del

lado aguas arriba del geotextil, produciendo una reducción significativa de la permeabilidad. Por lo tanto, el geotextil debe tener un porcentaje mínimo de espacios vacíos.

Figura 8. Colmatación del filtro por penetración de partículas



Fuente: PAVCO. **Manual de diseño de Geotextiles.** Pág. 171

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.

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 manual de diseño de geotextiles PAVCO, los geotextiles usados como medios filtrantes deben tener una porosidad $> 50\%$.

Este criterio es tal vez el que despierta más controversia para el empleo de geotextiles en aplicaciones de filtración y drenaje, debido a que es muy difícil cuantificar en el diseño el porcentaje de poros que serán taponados por la intrusión de finos al filtro dentro del período de servicio del sistema. Los elementos filtrantes se comportan de manera diferente dependiendo del material que se está filtrando, de la cantidad de agua presente y de la disposición de ésta en el sistema. El geotextil es parte fundamental de un sistema de subdrenaje, debe diseñarse para cada caso particular, de tal manera, que se garantice un óptimo funcionamiento del sistema del cual forman parte, y para el período de tiempo para el cual fueron diseñados.

2.4. 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 físicas, hidráulicas y físicas.

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 y resistencia al rasgado.

Tabla III. Rango de algunas propiedades representativas de geotextiles utilizados para filtro

Geotextil	Resistencia a la Tensión (KN/m)	Elongación Máxima (%)	Caudal de Flujo (l/m ² /seg)	Peso Unitario (g/m ³)
TEJIDOS				
Monofilamento	20 a 80	5 a 35	25 a 2000	150 a 300
Hilo	40 a 800	5 a 30	20 a 80	250 a 1300
Cinta	8 a 90	15 a 20	5 a 15	100 a 250
NO TEJIDOS				
Punzonado	7 a 90	50 a 80	25 a 200	150 a 2000
Fundido	3 a 25	20 a 60	25 a 150	70 a 350
Con Resina	4 a 30	30 a 50	20 a 100	130 a 800

Fuente: Brauns Schuler. **Filtres in Geotechnical and Hydraulic Engineering**. Pág 125

2.5. Durabilidad

Este criterio se basa en la resistencia que debe tener un geotextil en el tiempo, bien sea por ataque químico, biológico o por intemperismo.

**Tabla IV. Propiedades mecánicas del geotextil según Especificaciones
AASHTO M-288-05**

	Resistencia a la tensión ASTM D-4632 (N)	Resistencia de la costura ASTM D-4632 (N)	Resistencia al punzonamiento ASTM D-4833 (N)	Resistencia al estallido ASTM D-3786 (Kpa)	Resistencia al rasgado trapezoidal ASTM D-4533 (N)
Condiciones moderadas de instalación con esfuerzos bajos de contacto. (Aplicación típica de subdrenajes)	700	630	250	1300	250

Fuente: PAVCO. **Manual de diseño de Geotextiles.** Pág. 173

Los geotextiles por ser un material fabricado en polipropileno no son biodegradables y son altamente resistentes al ataque químico como en aplicaciones de manejo de 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.

2.6. Cálculo hidráulico para la escogencia 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, 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 = Permeabilidad del geocompuesto (m/s).
- t = Espesor del geotextil, frente a la cantidad de flujo volumétrico a evacuar por metro lineal.

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.

$$Q = K * i * A$$

$$Q = K * \Delta h/t * A$$

$$\Psi_{req} = Q/(\Delta h * A)$$

$$k/t = Q/(\Delta h * H * L)$$

Donde:

- k/t = Permitividad requerida del geotextil, $\Psi_{requerida}$
- Q = Caudal a evacuar calculado por metro lineal (teniendo el caudal final y la longitud del tramo en consideración (Q_f/L)).
- Δh = Cabeza hidráulica, que es igual a la altura del subdrenaje.
- A = Área por unidad de longitud.

H = Altura del subdrén.

L = Longitud del tramo de drenaje en consideración.

2. Calcular la permitividad disponible, la cual se obtiene de la permitividad entregada por el fabricante (Norma ASTM D4491), dividida por unos factores de seguridad, (Ver Tabla V)

$$\Psi_{adm} = \frac{\Psi_{ult}}{(FR_{SCB} * FR_{CR} * FR_{IN} * FR_{CC} * FR_{BC})}$$

3. Calcular el factor de seguridad final.

$$FS_g = \Psi_{adm} / \Psi_{req}, \text{ el cual debe ser mayor que } 1$$

Tabla V. Factores de seguridad de geotextiles de drenaje

Aplicación	Colmatación FS _{SCB}	Reducción de los vacíos por "Creep" FS _{CR}	Inclusión en los vacíos FS _{IN}	Taponamiento químico FS _{CC}	Taponamiento biológico FS _{BC}
Filtros en espaldones de estructuras de contención	2.0 – 3.0	1.5 – 2.0	1.0 – 1.2	1.0 – 1.2	1.0 – 1.3
Subdrenes	5.0 - 10	1.0 – 1.5	1.0 – 1.2	1.2 – 1.5	2.0 – 4.0
Filtros de control de erosión	2.0 - 10	1.0 – 1.5	1.0 – 1.2	1.0 – 1.2	2.0 – 4.0
Filtros en rellenos sanitarios	5.0 - 10	1.5 - 20	1.0 – 1.2	1.2 - 1.5	2.0 – 50
Drenaje por gravedad	2.0 – 4.0	2.0 – 3.0	1.0 – 1.2	1.2 – 1.5	1.2 – 1.5
Drenaje a presión	2.0 – 3.0	2.0 – 3.0	1.0 – 1.2	1.1 – 1.3	1.1 – 1.3

Fuente: PAVCO. **Manual de diseño de Geotextiles.** Pág. 83

2.7. Diseño de filtros granulares

El diseño de filtros granulares son los encargados de permitir el paso franco del agua hacia el exterior y de impedir el arrastre de las partículas del suelo protegido. Los suelos en obras viales pueden ser fácilmente erosionados por las fuerzas que produce el agua al fluir en su alrededor; si estos procesos se permiten sin restricción terminarán por desembocar en verdaderos problemas de erosión interna y tubificación. Así, todas las superficies a través de las que el agua salga al exterior deberán protegerse en los suelos, de manera que el agua pueda aflorar con facilidad, pero buscando también que las partículas del suelo queden en su lugar.

Muchos son los materiales que se utilizan hoy para tal misión; la tela, el papel, la fibra de plástico o de vidrio figuran entre ellos, pero por razones de economía sobre todo, en las obras viales es predominante la utilización de agregados naturales, del tamaño de la arena y la grava. Estos materiales naturales, cuando son de buena calidad son prácticamente indestructibles y eternos, en comparación a la vida útil de la obra; cuando se colocan convenientemente, tienen magnifico comportamiento tanto como filtros, como en lo que se refiere a resistencia y compresibilidad. Finalmente, son abundantes en la naturaleza, de manera que su obtención y su manipulación suelen ser comparativamente baratas. Su utilización suele estar combinada con la de tubos manufacturados, perforados o no, los que normalmente proporcionan la canalización y eliminación de las aguas.

Para cumplir su papel protector de filtro en forma conveniente, justificando la inversión que en ellos se haga, los materiales granulares naturales deben cumplir algunos requerimientos básicos que se han ido imponiendo por un efecto combinado de base teórica y, muchas veces,

experimental. Estos requerimientos deben ser estrictamente respetados para que no sea inútil todo el trabajo y el gasto relacionados con ellos. Pocas veces se tiene en la tecnología de las obras viales tan poco margen para el descuido o el error como el que se tiene en la elección, tratamiento y colocación de materiales granulares utilizados como filtros.

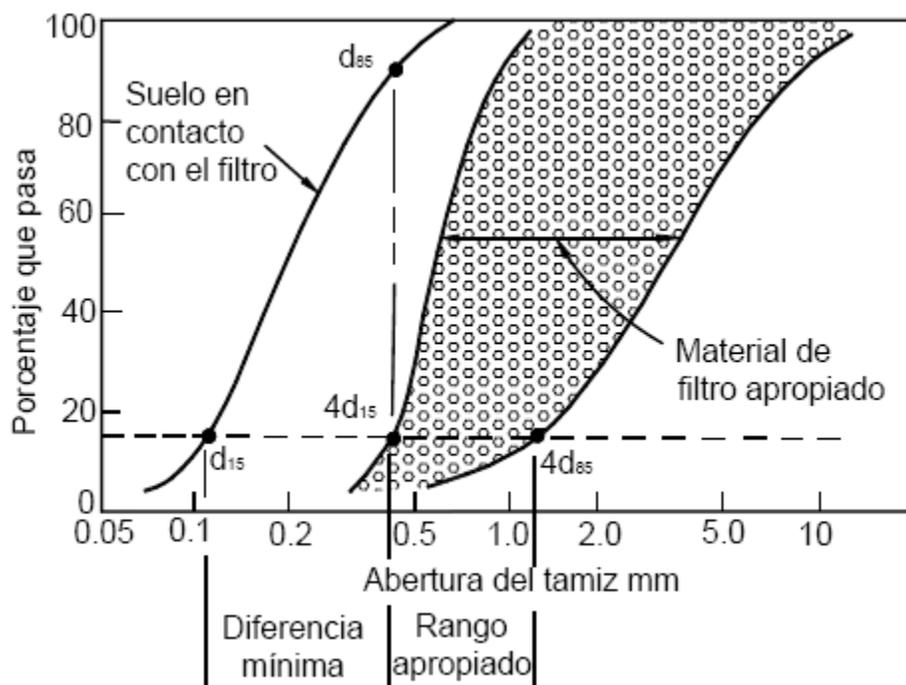
Muchos de los requerimientos que se imponen a los materiales de filtro son de naturaleza granulométrica y se refieren a su graduación. Otros, muy importantes, tienen que ver con el cuidado en la manipulación y colocación, para evitar contaminaciones y segregaciones. Puede haber también requerimientos de compactación, para reducir también la posibilidad de que se presenten cambios en la graduación granulométrica por invasión de finos procedentes del suelo a proteger.

Como se ha mencionado anteriormente, los filtros deben satisfacer dos requerimientos contradictorios:

- 1) Los espacios entre las partículas del filtro en contacto con el suelo por proteger, deben ser suficientemente pequeños como para que los finos de aquel no penetren en él.
- 2) Los espacios entre las partículas del filtro deben ser lo suficientemente grandes como para que el conjunto tenga la permeabilidad necesaria para que el agua pueda moverse libremente en su entorno y fluir rápidamente hacia el exterior, sin generar presiones de poro indeseable.

Para cumplir con estos objetivos, los materiales de filtro deben de cumplir ciertos requisitos de granulometría. Los materiales deben ser suficientemente gruesos para facilitar el drenaje y suficientemente finos para evitar el peso del suelo que se va a proteger.

Figura 9. Esquema de la granulometría aceptable para un filtro de protección de un determinado suelo



2.7.1. Permeabilidad

El criterio más utilizado para garantizar un drenaje fácil del agua a través del filtro, es el propuesto por Terzaghi y Peck (1948):

$$D_{15}(\text{filtro})/D_{15}(\text{suelo}) \geq 4$$

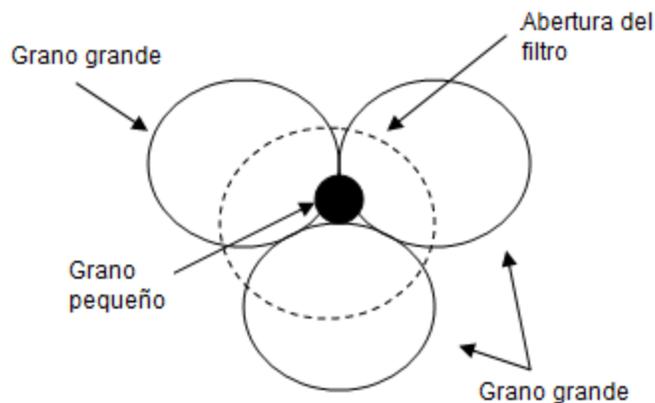
Donde:

D_{15} = es el diámetro de partícula para el 15% de pasantes en la curva granulométrica.

El Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos recomienda un límite de 5 para la desigualdad anterior, lo cual equivale a que la permeabilidad del filtro sea 10 a 100 veces mayor que la del promedio del suelo a su alrededor.

Es muy importante que el material de filtro no posea más de un 5% de material que pase la malla 200, para evitar la migración de finos del filtro hacia las tuberías de drenaje y para garantizar una permeabilidad suficiente a fin de que el agua drene fácilmente. Algunas entidades exigen limitar los finos a solo 3%. Un material con el 6% de finos posee de 1/3 a 1/5 la permeabilidad de un material que tiene el 3% de finos.

Figura 10. Los granos grandes impiden el paso de los pequeños en las aberturas del filtro



Se deben evitar los filtros cuya gradación tenga vacíos de algunos tamaños de granos, o sea los materiales con curvas granulométricas que presenten gradas.

En ocasiones, es difícil encontrar un material natural que cumpla las condiciones del material de filtro para un determinado suelo y se requiere fabricarlo mediante tamizado y/o mezcla de materiales.

Tabla VI. Granulometría de filtro tipo I según ASTM D 1241-68

Malla Tamiz ASTM	Porcentaje que Pasa en Peso
1 ½"	100
1"	80 a 100
¾"	85 a 100
⅜"	40 a 80
No. 4	20 a 55
No. 10	0 a 35
No. 20	0 a 20
No. 40	0 a 12
No. 100	0 a 7
No. 200	0 a 5

Anteriormente, se recomendaba un filtro general básico en todo tipo de suelos para subdrenajes de carreteras. Este tipo de filtro, aunque cumple con las especificaciones para una gran gama de suelos, en algunos casos podría presentar problemas de erosión interna o taponamiento.

La especificación de filtro tipo II es similar, pero existen diferencias significativas entre las dos recomendaciones. De acuerdo con lo anteriormente mencionada, es fundamental la limitación a solo 3% del porcentaje de finos.

Tabla VII. Granulometría de filtro tipo II según ASTM D 1241-68

Malla Tamiz ASTM	Porcentaje que Pasa en Peso
1"	100
$\frac{3}{4}$ "	90 a 100
$\frac{3}{8}$ "	40 a 100
No. 4	25 a 40
No. 8	18 a 33
No. 30	5 a 15
No. 50	0 a 7
No. 200	0 a 3

2.8. Propiedades del material base

La base es una capa de la estructura del pavimento, destinada a distribuir y transmitir uniformemente las cargas del tránsito a las capas de sub-base o subrasante y sobre la cual se construye la carpeta de rodadura.

La base no estabilizada puede ser de grava o piedra triturada o granular.

2.8.1. Base de grava o piedra triturada

Consiste en piedra o grava de buena calidad triturada y mezclada con un material de relleno. El material de base debe llenar los requisitos siguientes:

- a. Valor soporte: el material debe tener un CBR (AASHTO T-193) mínimo de 90%, de una muestra saturada al 95% de compactación Proctor (AASHTO T-180) o un valor R (AASHTO T-190) mayor de 85.
- b. Abrasión: la porción retenida en el tamiz No. 4, no debe tener un porcentaje de abrasión mayor de 50 a 500 revoluciones (AASHTO T-96).
- c. Caras fracturadas y partículas planas y alargadas: al menos un 50% de la porción retenida en el tamiz No. 4, debe tener por lo menos una cara fracturada; ni más del 20% deben ser partículas planas o alargadas, o sea con una relación longitud espesor mayor de 5.
- d. Impurezas: deberá estar razonablemente exento de basura, materias vegetales, terrones de arcilla y otros materiales que a criterio profesional puedan causar una falla en el pavimento.
- e. Graduación: deberá llenar los requisitos de las normas AASHTO T-27 y T-11 para los tipos que se especifican en la Tabla VIII.
- f. Plasticidad y cohesión: la porción que pasa el tamiz No. 40 debe tener un índice de plasticidad (AASHTO T-90) menor que 3 y un límite líquido (AASHTO T-89) menor de 25, determinados ambos límites por la vía húmeda (AASHTO T-146).

El material que pasa el tamiz 200 debe ser menor que la mitad del porcentaje que pasa el tamiz No. 40; y el equivalente de arena (AASHTO T-176) menor de 40.

- g. Material de relleno: cuando se necesite ajustar el material para adecuarlos a la granulometría y cohesión necesarias, el material, a agregar debe ser un suelo libre de impurezas y consistir en un suelo arenoso, limo inorgánico, polvo de roca u otro, con alto contenido de material que pasa el tamiz No. 10.

Tabla VIII. Requisitos de granulometría de una base de grava o piedra triturada según norma ASTM D 1241

Tamiz	% en peso que pasa tamiz de malla cuadrada					
	Tipo A		Tipo B		Tipo C	
	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2
2"	100	100				
1 ½"			100	100		
1"	65 a 85	70 a 90	70 a 95	70 a 100	100	100
¾"	50 a 80	50 a 75	55 a 85	60 a 90	70 a 100	70 a 100
⅜"				45 a 75		50 a 80
No. 4	30 a 60	25 a 60	30 a 60	30 a 60	35 a 65	35 a 65
No. 10				20 a 50		25 a 50
No. 40	10 a 25	7 a 30	10 a 25	10 a 30	15 a 25	15 a 30
No. 200	3 a 10	0 a 15	3 a 10	5 a 15	3 a 10	5 a 15

2.8.2. Base granular

El material debe consistir en piedra o grava clasificada sin triturar, o triturada parcialmente, combinados con arena y material de relleno. El material de base deberá llenar los requisitos siguientes:

- a. Valor soporte: deberá tener un CBR (AASHTO T-193) mínimo de 70%, efectuando en una muestra saturada al 95% de su compactación Proctor (AASHTO T-180) y un hinchamiento máximo de 5% en ensayo (AASHTO T-193) o un valor R (AASHTO T-190) mayor de 65.
- b. Abrasión: la porción retenida en el tamiz No. 4, no debe tener un porcentaje de abrasión (AASHTO T-96) mayor de 50 a 500 revoluciones.
- c. Partículas planas o alargadas: del material retenido en el tamiz No. 4, no más del 25% en peso deben ser partículas planas o alargadas, con una relación largo ancho de 5.
- d. Impurezas: el material deberá estar razonablemente exento de basura, materiales que a criterio profesional puedan causar una falla en el pavimento.
- e. Graduación: debe llenar los requisitos de los métodos (AASHTO T-27 y AASHTO T-11), que se especifican a continuación:

**Tabla IX. Requisitos de granulometría de una base granular según norma
ASTM D 1241**

Tamiz	% en peso que pasa tamiz de malla cuadrada					
	Tipo A		Tipo B		Tipo C	
	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2
2"	100	100				
1 ½"			100	100		
1"	70 a 90	60 a 85			100	100
¾"			60 a 90			
No. 4	25 a 60	20 a 50	30 a 60	20 a 50	35 a 65	40 a 70
No. 40					15 a 30	
No. 200	3 a 15	3 a 10	5 a 15	3 a 10	5 a 15	3 a 15

f. Plasticidad y cohesión: la porción que pasa el tamiz No. 40 debe tener un índice de plasticidad (AASHTO T-90) mayor de 6 y un límite líquido (AASHTO T-89) menor de 25, determinados ambos límites por la vía húmeda (AASHTO T-146).

El material que pasa el tamiz 200 debe ser menor que la mitad del porcentaje que pasa el tamiz No. 40.

g. Material de relleno: cuando se necesite ajustar el material para adecuarlo a la granulometría y cohesión necesarias, el material a agregar, debe ser un suelo libre de impurezas y consistir en un suelo arenoso, limo inorgánico, polvo de roca u otro, con alto contenido de material que pase el tamiz No. 10.

2.9. Funciones de los geotextiles

El uso de los geotextiles tejidos y no tejidos en los diferentes campos de aplicación puede definirse mediante las funciones que va a desempeñar. En la mayoría de las aplicaciones el geotextil puede cumplir simultáneamente varias funciones, aunque siempre existirá una principal que determine la elección del tipo de geotextil que se debe utilizar.

A continuación se describen las distintas funciones y aplicaciones que pueden desempeñar los geotextiles, así como las exigencias mecánicas e hidráulicas necesarias para su desarrollo.

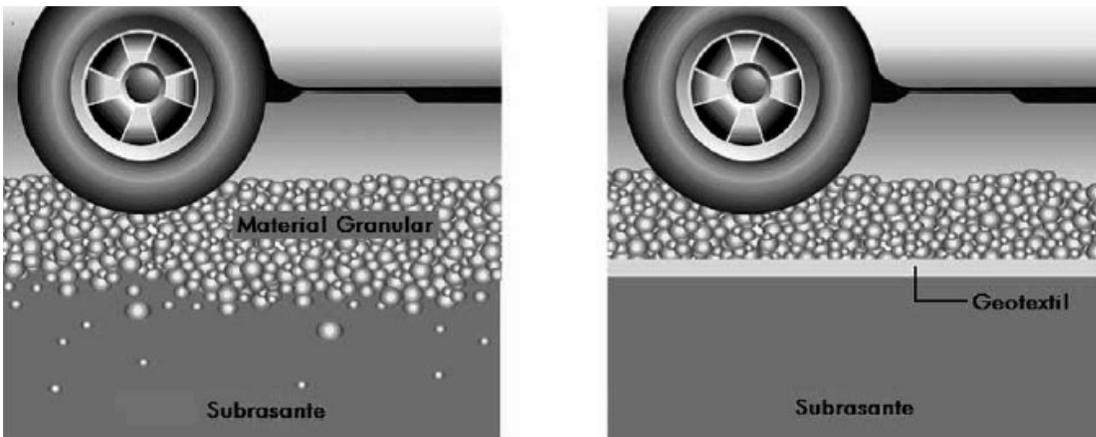
2.9.1. Función de separación

Esta función, desempeñada por los geotextiles consiste en la separación de dos capas de suelo de diferentes propiedades geomecánicas (granulometría, densidad, capacidad, etc.) evitando permanentemente la mezcla de material.

A continuación se referencian las aplicaciones de los geotextiles cumpliendo la función de separación:

- Entre la subrasante y la base de piedra en caminos y pistas de aterrizaje pavimentados.
- Entre rellenos y capas de base de piedra.
- Entre taludes y bermas de estabilidad aguas abajo.
- Debajo de campos deportivos y de atletismo.
- Entre capas de drenaje en masas de filtro pobremente gradado.
- Entre diversas zonas de presas en tierra.
- Entre capas antiguas y nuevas de asfalto.

Figura 11. La función de separación con geotextil evita pérdida de agregados



Fuente: PAVCO. **Manual de diseño de Geotextiles.** Pág. 88

2.9.2. Función de refuerzo

En esta función se aprovecha el comportamiento a tracción del geotextil para trabajar como complemento de las propiedades mecánicas del suelo, con el fin de controlar los esfuerzos transmitidos tanto en la fase de construcción como en la de servicio de las estructuras.

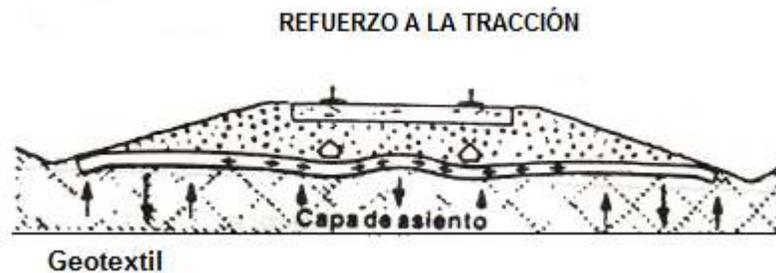
El geotextil actúa como un elemento estructural y de confinamiento de los granos del suelo, permitiendo difundir y repartir las tensiones locales. Estas acciones aumentan la capacidad portante y la estabilidad de la construcción.

A continuación se referencian las aplicaciones de los geotextiles cumpliendo la función de refuerzo.

- Refuerzo de suelos débiles y otros materiales.

- Para reforzar terraplenes.
- Para ayudar en la construcción de taludes pronunciados.
- Para reforzar presas de tierra y roca.
- Para estabilización temporal de taludes.
- Para detener o disminuir la reptación en taludes de suelo.
- Para reforzar pavimentos flexibles con juntas.
- Para mantener colchones de filtro de piedra gradada.
- Para anclar bloques de concreto en muros de retención pequeños.
- Para crear taludes laterales más estables debido a la alta resistencia friccional.

Figura 12. Función de refuerzo a la tracción del geotextil



Fuente: PAVCO. **Manual de diseño de Geotextiles**. Pág. 9

2.9.3. Función de drenaje

Consiste en la captación y conducción de fluidos y gases en el plano del geotextil.

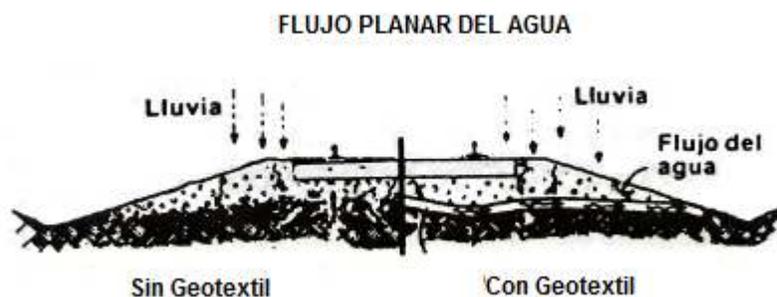
La efectividad del drenaje de un suelo dependerá de la capacidad de drenaje del geotextil empleado y del gradiente de presiones a lo largo del camino de evacuación del fluido.

Para realizar el drenaje satisfactoriamente el espesor debe ser suficiente al aumentar la tensión normal al plano de conducción. Adicionalmente, el geotextil debe impedir el lavado ó transporte de partículas finas, las cuales al depositarse en él, reducen su permeabilidad horizontal. Además, debe garantizar el transporte de agua en su plano sin ocasionar grandes pérdidas de presión.

A continuación se referencian las aplicaciones de los geotextiles cumpliendo la función de drenaje:

- Como una cubierta de drenaje debajo de un relleno de sobrecarga.
- Como un dren detrás de un muro de retención.
- Como un dren debajo de campos deportivos.
- Como un dissipador de presión de poros en rellenos de tierra.
- En reemplazo de drenes de arena.
- Para disipar el agua de filtración de las superficies de suelo ó roca expuestas.

Figura 13. Drenaje del flujo a través del mismo tejido



Fuente: PAVCO. **Manual de diseño de Geotextiles.** Pág. 10

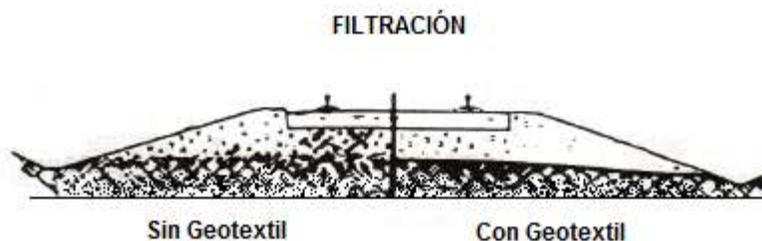
2.9.4. Función filtro

Esta función impide el paso a través del geotextil de determinadas partículas del terreno (según sea el tamaño de dichas partículas y el del poro del geotextil) sin impedir el paso de fluidos o gases. En la práctica se utiliza el geotextil como filtro en muchos sistemas de drenaje. En los embalses con sistema de drenaje en la base, a fin de localizar posibles fugas, se utiliza como filtro en los tubos de drenaje a fin de evitar el taponamiento de los orificios de drenaje de dichos tubos.

A continuación se referencian las aplicaciones de los geotextiles cumpliendo la función de filtro:

- En lugar de filtro de suelo granular.
- Debajo de base de piedras para caminos y pistas de aterrizaje pavimentados.
- Alrededor de piedra picada sin subdrenes (Drenes franceses).
- Para filtrar rellenos hidráulicos y sanitarios
- Para proteger el material de drenaje en chimeneas.
- Entre el suelo de relleno y vacíos en muros de retención.
- Entre el suelo de relleno y muros de gaviones.

Figura 14. Función de filtración del fluido



Fuente: PAVCO. **Manual de diseño de Geotextiles**. Pág. 11

2.9.5. Función de impermeabilización

Esta función se consigue desarrollando mediante la impregnación del geotextil con asfalto u otro material impermeabilizante sintético.

El geotextil debe tener la resistencia y rigidez necesaria para la colocación del mismo, así como la capacidad de deformación suficiente para compensar las tensiones térmicas.

2.10. Tipos de geotextiles

Los geotextiles son sistemas de refuerzo, separación, filtración y drenaje para la construcción de vías. A continuación se presentan los tipos de geotextiles existentes:

2.10.1. Geotextiles tejidos

Los geotextiles tejidos fueron los primeros en ser desarrollados y representan casi una cuarta parte de los geotextiles usados en el mundo.

Pueden ser fabricados de monofilamentos o, con tiras laminares o una combinación de ambos. Como su nombre lo indica, son hechos mediante procesos de tejido similares a los textiles de ropa y con leves patrones tales como el “uno arriba, uno abajo” (patrón sencillo), el “uno abajo, dos arriba” (patrón cruzado), o el “uno abajo, cinco arriba” (patrón satinado).

Los geotextiles han ido ocupando con el tiempo y gracias al desarrollo de polímeros más resistentes, el nicho de materiales para refuerzo y separación, sobre todo por el confinamiento relativo que dan las partículas del suelo.

Dentro de los geotextiles tejidos se pueden especificar diferentes modalidades:

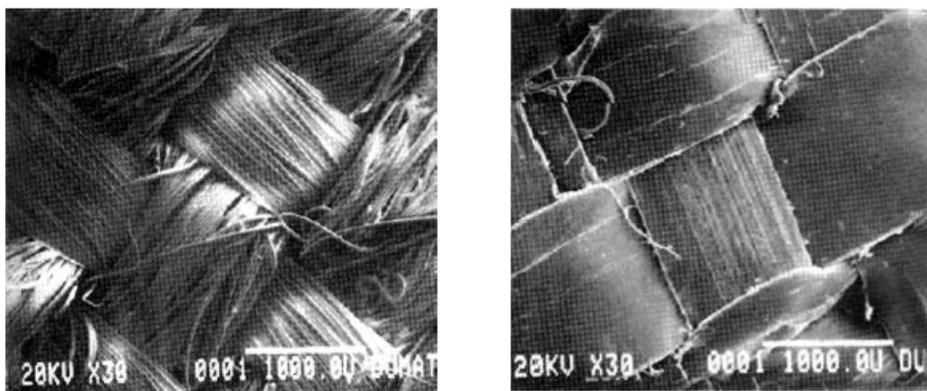
2.10.1.1. Geotextil tejido plano

Fabricado mediante el tejido de cintas por un procedimiento textil de una película cortada polimérica extruída. Es el tejido más simple y común, conocido también como “uno arriba y uno abajo”.

2.10.1.2. Geotextil tejido canasta

Este tejido usa dos o más urdimbres y/o tramas de relleno como si fuera una sola cinta. Por ejemplo, un tejido canasta pueden ser dos por dos urdimbres y tramas o dos tramas y un urdimbre, actuando como unidades individuales.

Figura 15. Vista microscópica de algunos tipos de geotextiles tejidos



Fuente: PAVCO. **Manual de diseño de Geotextiles.** Pág. 6

2.10.2. Geotextiles no tejidos

Se denomina de esta forma para diferenciarlos de los tejidos y porque en apariencia final no llevan patrones simétricos como se da en los anteriores.

Están formados por fibras o filamentos superpuestos en forma laminar, consolidándose esta estructura por distintos sistemas según cuál sea el sistema empleado para unir los filamentos o fibras. Los geotextiles no tejidos se clasifican a su vez en:

- Geotextiles no tejidos ligados mecánicamente o punzonados por agujas
- Geotextiles no tejidos ligados térmicamente o termosoldados
- Geotextiles no tejidos ligados químicamente o resinados

2.10.2.1. Geotextiles no tejidos ligados punzonados por agujas

Los geotextiles no tejidos punzonados por agujas, se forman a partir de un entrelazado de fibras o filamentos mezclados aleatoriamente, conformando lo que se denomina como velo o napa, el cual se consolida al pasar por un tablero de agujas en la máquina punzonadora, dichas agujas se mueven en sentido alternativo, subiendo y bajando a altas velocidades penetrando en la napa y entrelazando las fibras. Esto se obtiene por que el perfil de las agujas no es regular, si no que están provistas de unas espigas o salientes en dirección a su sentido de penetración, lo cual hace penetrar a las fibras sin llevárselas en su movimiento de retroceso. La frecuencia de golpes o penetraciones de las agujas va consolidando el geotextil no tejido. Los geotextiles fabricados por este proceso tienen buenas características mecánicas manteniendo en parte el espesor de la napa el cual les confiere mayor estructura tridimensional, gran elongación (pueden estirarse desde un 40% hasta un 120% o más, antes de

entrar en carga de rotura) lo que les proporciona muy buena adaptabilidad a las desuniformidades de los terrenos, unas excelentes propiedades para protección, (suele denominarse efecto colchón) y muy buenas funciones de filtración y separación.

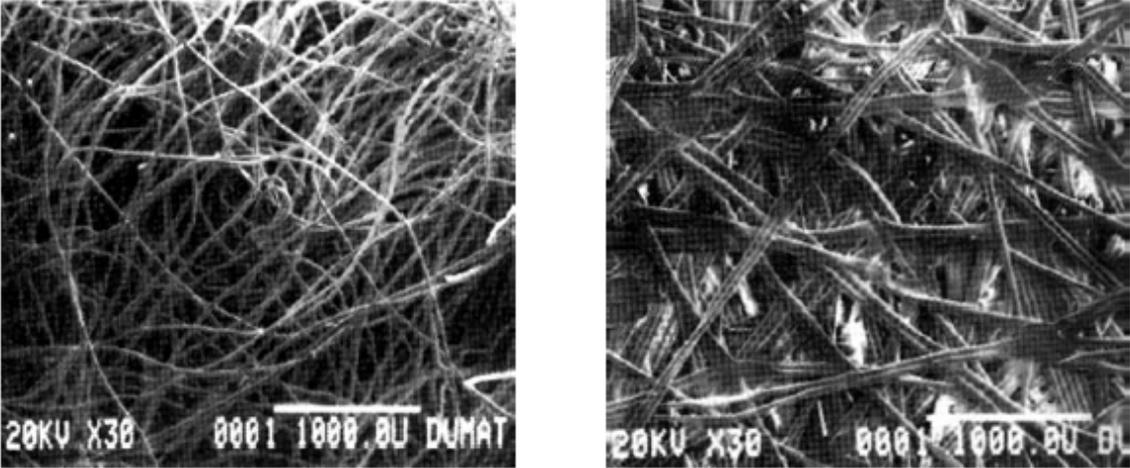
2.10.2.2. Geotextiles no tejidos ligados termosoldados

Los geotextiles no tejidos termosoldados, se forman a partir de una napa o velo en la que la unión de fibras y consolidación del geotextil se logra por fusión de las fibras y soldadura en los puntos de intersección mediante un calandrado a temperatura elevada. Su espesor y su elongación son sensiblemente inferiores a la de los agujados, por lo cual su transmisividad y permeabilidad son menores, tienen buenas propiedades mecánicas y poca flexibilidad (son algo rígidos).

2.10.2.3. Geotextiles no tejidos ligados químicamente o resinados

Los geotextiles no tejidos ligados químicamente, su unión entre sus filamentos se consigue incorporando ligantes químicos o resinas. Este sistema no se utiliza para la fabricación de geotextiles de protección y separación, puesto que en su composición (de los de protección) deben evitarse elementos químicos distintos a los polímeros que pudiesen alterar sus propiedades y provoquen incompatibilidades químicas con otros materiales con los que pudiese estar en contacto. Su empleo está muy poco extendido debido a su elevado costo.

Figura 16. Vista microscópica de algunos tipos de geotextiles no tejidos



Fuente: PAVCO. **Manual de diseño de Geotextiles.** Pág. 6

3. ENSAYOS DE LABORATORIO

Los diferentes ensayos de laboratorio permiten clasificar y establecer la permeabilidad de los diferentes tipos de suelo, para después evaluar el comportamiento del conjunto (suelo-filtro) en la permeabilidad del sistema, teniendo en cuenta el tipo de suelo utilizado en el ensayo con su respectivo gradiente hidráulico y elemento filtrante.

Para un mejor estudio del comportamiento del suelo, se tomaron dos muestras, una arcilla limosa con presencia de arena color café y una arena limosa color beige, para las cuales se determinarán sus propiedades con la ayuda de ensayos de granulometría, límites de Atterberg y permeabilidad, y así determinar el mejor diseño en sistemas de subdrenaje.

3.1. Análisis granulométrico (AASHTO T-27, T-11 – ASTM D421)

A partir de la granulometría, se pueden obtener diámetros característicos como el D_{10} , D_{85} , D_{60} , etc. La letra D se refiere al tamaño del grano o diámetro aparente, de la partícula de suelo y el subíndice (10, 85, 60) denota el porcentaje de material más fino.

Una indicación de la variación o rango del tamaño de los granos presentes en la muestra se obtiene mediante el “Coeficiente de uniformidad” C_u , definido como:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

El “Coeficiente de curvatura” C_c , es una medida de la forma de la curva entre el D_{60} y el D_{10} , y se define de la siguiente forma:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60}D_{10}}$$

Valores de C_c muy diferentes de uno indican que falta una serie de diámetros entre los tamaños correspondientes al D_{60} y el D_{10} . Los diámetros correspondientes al D_{15} y al D_{85} pueden utilizarse para determinar la capacidad del suelo para ser utilizado en diseño de filtros para una presa o para recubrir los agujeros de tubería perforada como sistema de subdrenaje dentro de un suelo.

Figura 17. Máquina tamizadora con juego de tamices



Fuente: ELE International. *Testing Equipment for Construction Materials*. Pág. 126

3.2. Límites de consistencia de Atterberg

3.2.1. Límite líquido (L.L) (AASHTO T-89 – ASTM D423)

Figura 18. Equipo para el ensayo del límite líquido



Fuente: ELE International. *Testing Equipment for Construction Materials*. Pág. 45

3.2.2. Límite Plástico (L.P) (AASHTO T-90 – ASTM D424)

Figura 19. Equipo para el ensayo del límite plástico



Fuente: ELE International. *Testing Equipment for Construction Materials*. Pág. 32

3.3. Permeabilidad (AASHTO T-125-66 – ASTM D2434)

Figura 20. Equipo para el ensayo de permeabilidad



Fuente: ELE International. *Testing Equipment for Construction Materials*. Pág. 23

4. RESULTADOS

4.1. Análisis granulométrico (AASHTO T-27, T-11 – ASTM D421)

ARCILLA LIMOSA CON PRESENCIA DE ARENA COLOR CAFÉ

Antes de ser sometido al proceso de lavado

Peso Bruto Seco (PBS ₁)	1118 gr.
Tara	318 gr.
Peso Neto Seco (PNS ₁)	800 gr.

El material obtenido en el paso anterior (PNS), se somete al proceso de lavado por el tamiz de lavado No. 200. Después de éste proceso, el material se coloca en una tara para introducirlo en el horno y posteriormente determinar el peso neto seco del material que se sometió al proceso de lavado.

Peso Bruto Seco (PBS ₂)	805 gr.
Tara	318 gr.
Peso Neto Seco (PNS ₂)	487 gr.

El propósito fundamental de los pasos anteriores, es determinar el peso del material más fino que se encuentra en la muestra por medio del proceso de lavado.

Para determinar el peso del material más fino se hace de la siguiente manera:

PNS material más fino = $PNS_2 - PNS_1 = 800 \text{ gr.} - 487 \text{ gr.} = 313 \text{ gr.}$

Este peso se coloca en la casilla correspondiente al tamiz No. 200.

Luego de haber obtenido el peso del material mal fino se procede a colocar la muestra representativa al juego de tamices para así poner a funcionar la tamizadora y obtener los pesos retenidos en cada uno de los tamices de la siguiente manera:

Tabla X. Análisis granulométrico por tamizado

Tamiz	Abertura mm.	Peso Bruto gr.	Tara gr.	Peso Neto gr.	Porcentaje que pasa
¾"	19.00	805	318	487	100
No. 4	4.76	801.9	318	483.9	99.61
No. 10	2.00	771.2	318	453.2	95.77
No. 40	0.42	567.4	318	249.4	70.3
No. 200	0.074	XXX	318	313	39.13

Determinar los porcentajes de los materiales contenidos en la muestra.

$$\%Grava = 100 - \text{Porcentaje que pasa No. 4}$$

$$\%Grava = 100 - 99.61 = 0.39\%$$

$$\%Arena = \text{Porcentaje que pasa No. 4} - \text{Porcentaje que pasa No. 200}$$

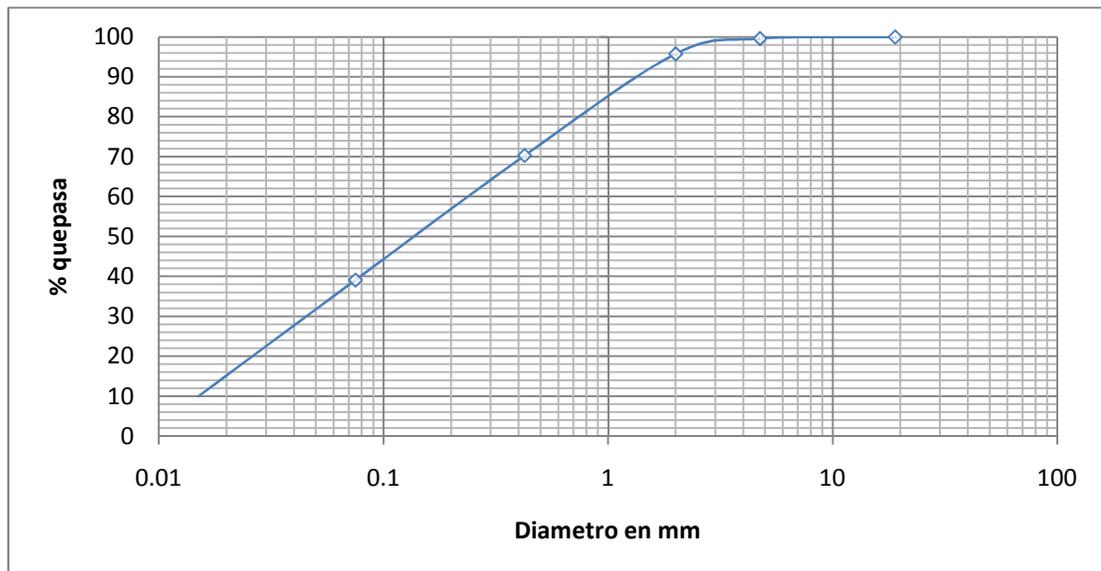
$$\%Arena = 99.61 - 39.13 = 60.48\%$$

$\%Finos = \text{Porcentaje que pasa No. 200}$

$\%Finos = 39.13\%$

Trazar la curva de distribución granulométrica, calcular el Coeficiente de uniformidad C_u y el Coeficiente de curvatura C_c para poder realizar la clasificación del suelo en análisis.

Figura 21. Curva de distribución granulométrica por tamizado



Determinar de manera aproximada los diámetros correspondientes para determinar el Coeficiente de uniformidad (C_u) y el Coeficiente de curvatura (C_c).

$$D_{10} = 0.015 \text{ mm}$$

$$D_{30} = 0.045 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 0.25 \text{ mm}$$

$$D_{85} = 1.00 \text{ mm}$$

Coeficiente de uniformidad C_u :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.25mm}{0.015mm}$$

$$C_u = 16.67$$

Coeficiente de curvatura C_c :

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60}D_{10}} = \frac{(0.045mm)^2}{(0.25mm)(0.015mm)}$$

$$C_c = 0.54$$

De acuerdo con la Figura 32, sistema de clasificación AASHTO. Se tiene que el porcentaje que pasa el tamiz No. 200 es 39.13, se ubica en el grupo de suelos arcillosos y limosos (más de 35% pasa malla No. 200).

- La clasificación final para el suelo, arcilla limosa con presencia de arena color café es: A-6 (2), suelos arcillosos de calidad regular a mala.

De acuerdo con la Tabla XIX, sistema unificado de clasificación de los suelos SUCS, se tiene que el porcentaje que pasa el tamiz No. 200 es 39.13 < 50; se ubica en los suelos de grano grueso.

- Por lo que se clasifica como SC, arenas arcillosas

ARENA LIMOSA COLOR BEIGE

Se hace el mismo procedimiento que se hizo con la muestra anterior

Antes de ser sometido al proceso de lavado

Peso bruto seco (PBS ₁)	1122.2 gr.
Tara	322.2 gr.
Peso neto seco (PNS ₁)	800 gr.

Después de ser sometido al proceso de lavado.

Peso bruto seco (PBS ₂)	932.3 gr.
Tara	322.2 gr.
Peso neto seco (PNS ₂)	610.1 gr.

PNS material más fino = PNS₂ - PNS₁ = 800 gr. – 610.1 gr. = 189.9 gr.

Tabla XI. Análisis granulométrico por tamizado

Tamiz	Abertura mm.	Peso Bruto gr.	Tara gr.	Peso Neto gr.	Porcentaje que pasa
1 ½"	38.1	932.2	322.2	610.1	100
¾"	19.00	925.5	322.2	603.3	99.15
No. 4	4.76	875.5	322.2	553.3	92.9
No. 10	2.00	808.2	322.2	486	84.49
No. 40	0.42	630.4	322.2	308.2	62.26
No. 200	0.074	xxx	322.2	189.9	23.74

Determinar los porcentajes de los materiales contenidos en la muestra.

$$\%Grava = 100 - \text{Porcentaje que pasa No. 4}$$

$$\%Grava = 100 - 92.9 = 7.10\%$$

$$\%Arena = \text{Porcentaje que pasa No. 4} - \text{Porcentaje que pasa No. 200}$$

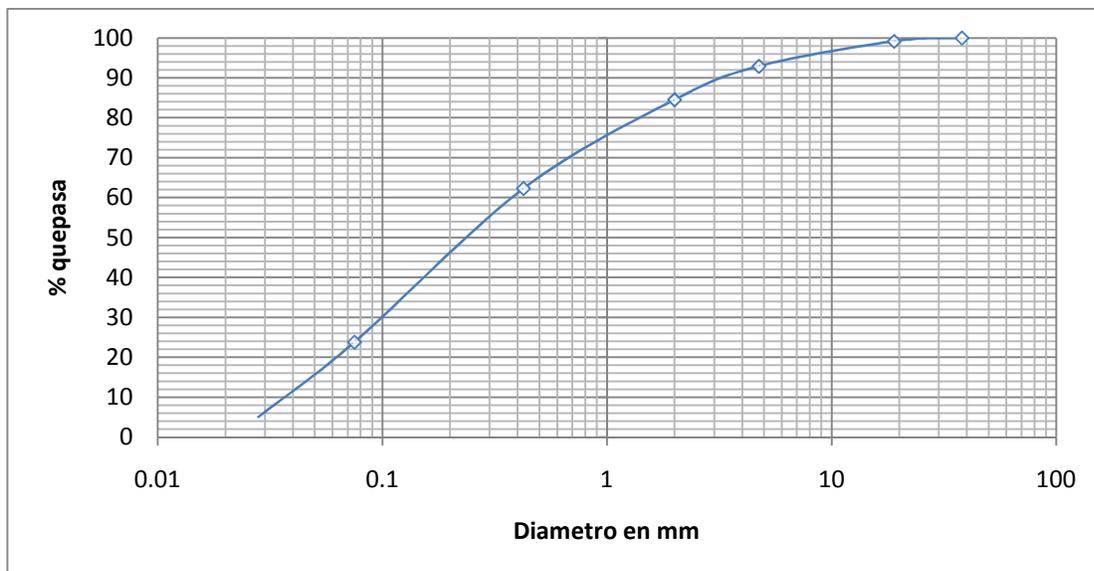
$$\%Arena = 92.9 - 23.74 = 69.16\%$$

$$\%Finos = \text{Porcentaje que pasa No. 200}$$

$$\%Finos = 23.74\%$$

Trazar la curva de distribución granulométrica, calcular el Coeficiente de uniformidad C_u y el Coeficiente de curvatura C_c para poder realizar la clasificación del suelo en análisis.

Figura 22. Curva de distribución granulométrica por tamizado



Determinar de manera aproximada los diámetros correspondientes para determinar el Coeficiente de uniformidad (C_u) y el Coeficiente de curvatura (C_c).

$$D_{10} = 0.037 \text{ mm}$$

$$D_{30} = 0.10 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 0.38 \text{ mm}$$

$$D_{85} = 2.10 \text{ mm}$$

Coeficiente de uniformidad C_u :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.38\text{mm}}{0.037\text{mm}}$$

$$C_u = 10.27$$

Coeficiente de curvatura C_c :

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60}D_{10}} = \frac{(0.10\text{mm})^2}{(0.38\text{mm})(0.037\text{mm})}$$

$$C_c = 0.71$$

De acuerdo con la Figura 32, sistema de clasificación AASHTO, se tiene que el porcentaje que pasa el tamiz No. 200 es 23.74; se ubica en el grupo de suelos granulares (35% o menos pasa malla No. 200).

- La clasificación final para el suelo, arena limosa color beige es: A-2-4 (0), arena limosa. De excelente a buena.

De acuerdo con la Tabla XIX, sistema unificado de clasificación de los suelos SUCS, se tiene que el porcentaje que pasa el tamiz No. 200 es $23.74 < 50$; se ubica en los suelos de grano grueso.

Por lo que se clasifica como SM, arenas limosas.

Figura 23. Colocación del material en máquina tamizadora



4.2. Límites de consistencia de Atterberg

4.2.1. Límite líquido (L.L.) (AASHTO T-89 – ASTM D423)

Se tienen las siguientes humedades a diferente número de golpes. Dibujar una proyección para $N = 25$ golpes, la cual debe tocar la recta de regresión; posteriormente, dibujar una línea horizontal para determinar el porcentaje de humedad correspondiente al límite líquido.

Tabla XII. Datos para la determinación del límite líquido (LL)

Descripción: Arcilla limosa con presencia de arena color café						
Ensayo	Límite Líquido		Límite Líquido		Límite Líquido	
No. Golpes	30		28		25	
Tarro	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2
PBH gr.	44.60	49.70	42.50	44.60	43.40	44.50
PBS gr.	40.10	44.50	38.20	39.80	38.90	39.80
Tara	24.60	25.00	20.50	24.80	22.60	23.80
Dif. gr.	4.50	5.20	4.30	4.80	4.50	4.70
PNS gr.	15.50	19.50	17.70	15.00	16.30	16.00
Humedad	29.03	26.67	24.29	32.00	27.61	29.38
PROMEDIO	27.85		28.15		28.49	

Se puede observar que la humedad correspondiente al límite líquido es 28.16%, aproximando al entero más cercano se obtiene que el límite líquido para el suelo en cuestión es del 28%.

Figura 24. Gráfico semilogarítmico para determinar el límite líquido

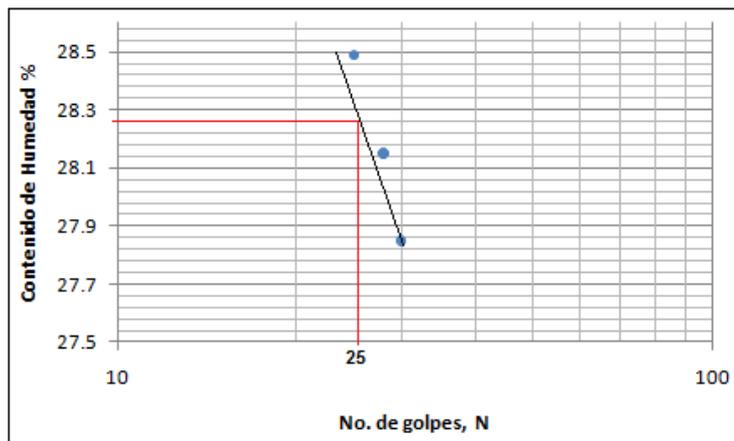


Figura 25. Copa de Casagrande utilizada para la obtención de límite líquido



Figura 26. Muestras obtenidas para determinar el contenido de humedad



4.2.2. Límite Plástico (L.P.) (AASHTO T-90 – ASTM D424)

Tabla XIII. Datos para la determinación del límite plástico (LP)

Descripción: Arcilla limosa con presencia de arena color café				
Ensayo	Límite Plástico		Límite Plástico	
Tarro	A-1	A-2	B-1	B-2
PBH gr.	35.70	36.10	39.80	38.60
PBS gr.	34.10	34.70	38.30	36.80
Tara	24.60	25.00	26.60	25.40
Dif. gr.	1.60	1.40	1.50	1.80
PNS gr.	9.50	9.70	11.70	11.40
Humedad	16.84	14.43	12.82	15.79
PROMEDIO	15.64		14.30	

Como se puede observar la humedad correspondiente al límite plástico de la muestra es de 14.97%.

$$LP = \frac{15.64\% + 14.30\%}{2} = 14.97\%$$

$$Diferencia = 15.64\% - 14.30\% = 1.34\%$$

Esta diferencia indica que el valor de la humedad para el límite líquido igual a 14.97%, se encuentra entre el rango de tolerancia de 0.1 a 2%.

Índice de plasticidad (IP)

$$IP = LL - LP$$

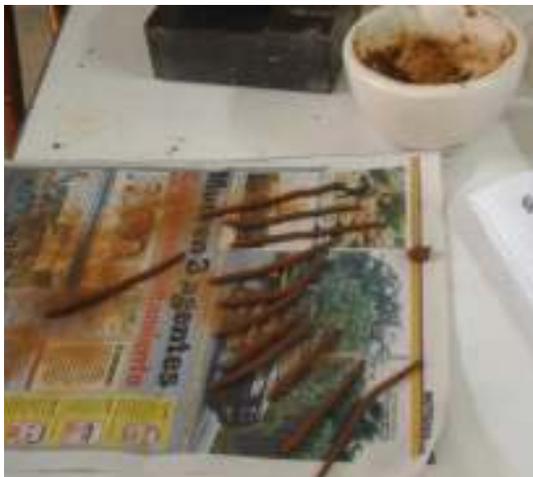
$$IP = 28.16\% - 14.97\% = 13.1$$

Tabla XIV. Clasificación de los suelos según su índice plástico (IP)

Si $IP = 0$	Si no es posible determinar uno de los dos límites (LL o LP), o si la diferencia es negativa (IP), el suelo se clasifica como No Plástico (NP).
Si $IP < 7$	El suelo tiene una baja plasticidad
Si $7 < IP < 17$	El suelo es medianamente plástico
Si $IP > 17$	Suelo altamente plástico

Fuente: Joseph Bowles. **Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil** Pág. 21

Figura 27. Cilindros de suelo obtenidos para el límite plástico



4.3. Permeabilidad (AASHTO T-125-66 – ASTM D2434)

Figura 28. Montaje del equipo para el ensayo de permeabilidad



Las dimensiones de la muestra se toman con base en las del permeámetro de compactación, que son las mismas que la del molde de compactación Proctor de 4 plg de diámetro por 4.58 plg de altura.

$$A = \frac{\pi}{4} (4\text{plg})^2 = 12.57\text{plg}^2 = 81.10\text{cm}^2$$

$$L(\text{altura}) = 4.58\text{plg} = 11.63\text{cm}$$

$$\text{Vol} = (12.57\text{plg}^2)(4.58\text{plg}) = 57.57\text{plg}^3 = 944\text{cm}^3$$

Tabla XV. Datos del ensayo para determinar el coeficiente de permeabilidad con el método de cabeza constante sin geotextil

Determinación de la permeabilidad sin geotextil				
Descripción: Arcilla limosa con presencia de arena color café				
Experimento No.	Tiempo S	V _{salida} cm ³	Temperatura T, °C	h cm
1	30	13	23	90
2	30	12.5	23	90
3	30	12.5	23	90
PROMEDIO	30	12.7	23	90
4	60	24	23	90
5	60	23.5	23	90
6	60	23	23	90
PROMEDIO	60	23.5	23	90
7	120	46	23	90
8	120	46	23	90
9	120	45	23	90
PROMEDIO	120	45.7	23	90
PROMEDIO	70	27.3	23.0	90

Determinar el coeficiente de permeabilidad K_T

$$K_T = \frac{VL}{Aht}$$

$$K_T = \frac{(27.3\text{cm}^3)(11.63\text{cm})}{(81.10\text{cm}^2)(90\text{cm})(70\text{s})}$$

$$K_T = 0.000622 \text{ cm/s}$$

Corrección de la viscosidad del agua:

$$\text{Variación de la temperatura: } \Delta T = 23^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C} = 0$$

De la Tabla XX, para una temperatura promedio de 23 °C y una variación de la misma igual a cero $\Delta T = 0$, se obtiene el valor de la corrección de viscosidad siguiente:

Corrección de la viscosidad:

$$\frac{\eta_{23}}{\eta_{20}} = 0.9311$$

Determinar el coeficiente de permeabilidad K , refiriéndolo a la temperatura del agua a 20 °C, $K_{20^{\circ}\text{C}}$

$$k_{20^{\circ}\text{C}} = \left(\frac{\eta_T}{\eta_{20}} \right) K_T$$

$$k_{20^{\circ}\text{C}} = (0.9311)(0.000622 \text{ cm/s})$$

El coeficiente de permeabilidad es:

$$k_{20^{\circ}\text{C}} = 5.7914 * 10^{-4} \text{ cm/s}$$

Determinar el gradiente hidráulico i

$$i = \frac{h}{L}$$

$$i = \frac{90\text{cm}}{11.63\text{cm}} = 7.74$$

Determinar la velocidad de Darcy v , en cm/s

$$v = ki$$

$$v = (5.7914 * 10^{-4} \text{ cm/s})(7.74)$$

$$v = 0.0045\text{cm/s}$$

Figura 29. Colocación del material en el permeámetro de compactación



Tabla XVI. Datos del ensayo para determinar el coeficiente de permeabilidad con el método de cabeza constante sin geotextil

Determinación de la permeabilidad sin geotextil				
Descripción: Arena limosa color beige				
Experimento No.	Tiempo S	V _{salida} cm ³	Temperatura T, °C	h cm
1	30	60	22	90
2	30	60	22	90
3	30	58	22	90
PROMEDIO	30	59.3	22.0	90
4	60	118	22	90
5	60	117	22	90
6	60	120	22	90
PROMEDIO	60	118.3	22.0	90
7	120	235	22	90
8	120	232	22	90
9	120	230	22	90
PROMEDIO	120	232.3	22	90
PROMEDIO	70	136.7	22.0	90

Determinar el coeficiente de permeabilidad K_T

$$K_T = \frac{VL}{Aht}$$

$$K_T = \frac{(136.7\text{cm}^3)(11.63\text{cm})}{(81.10\text{cm}^2)(90\text{cm})(70\text{s})}$$

$$K_T = 0.0031 \text{ cm/s}$$

Corrección de la viscosidad del agua:

$$\text{Variación de la temperatura: } \Delta T = 22^{\circ}\text{C} - 22^{\circ}\text{C} = 0$$

De la Tabla XX, para una temperatura promedio de 22 °C y una variación de la misma igual a cero $\Delta T = 0$, se obtiene el valor de la corrección de viscosidad siguiente:

Corrección de la viscosidad:

$$\frac{\eta_{22}}{\eta_{20}} = 0.9531$$

Determinar el coeficiente de permeabilidad K , refiriéndolo a la temperatura del agua a 20 °C, $K_{20^{\circ}\text{C}}$

$$k_{20^{\circ}\text{C}} = \left(\frac{\eta_T}{\eta_{20}} \right) K_T$$

$$k_{20^{\circ}\text{C}} = (0.9531)(0.0031 \text{ cm/s})$$

El coeficiente de permeabilidad es:

$$k_{20^{\circ}\text{C}} = 2.9657 * 10^{-3} \text{ cm/s}$$

Determinar el gradiente hidráulico i

$$i = \frac{h}{L}$$

$$i = \frac{90\text{cm}}{11.63\text{cm}} = 7.74$$

Determinar la velocidad de Darcy v , en cm/s

$$v = ki$$

$$v = (2.9657 * 10^{-3} \text{ cm/s})(7.74)$$

$$v = 0.02295\text{cm/s}$$

Figura 30. Colocación del geotextil en el equipo de permeabilidad



Tabla XVII. Datos del ensayo para determinar el coeficiente de permeabilidad con el método de cabeza constante con geotextil

Determinación de la permeabilidad con geotextil				
Descripción: Arcilla limosa con presencia de arena color café				
Experimento No.	Tiempo S	V _{salida} cm ³	Temperatura T, °C	h cm
1	30	3	23	90
2	30	2.8	23	90
3	30	2.6	23	90
PROMEDIO	30	2.8	23	90
4	60	6.1	23	90
5	60	5.6	23	90
6	60	5.5	23	90
PROMEDIO	60	6	23	90
7	120	11	23	90
8	120	11	23	90
9	120	12	23	90
PROMEDIO	120	11.3	23	90
PROMEDIO	70	6.6	23.0	90

Determinar el coeficiente de permeabilidad K_T

$$K_T = \frac{VL}{Aht}$$

$$K_T = \frac{(6.6\text{cm}^3)(11.63\text{cm})}{(81.10\text{cm}^2)(90\text{cm})(70\text{s})}$$

$$K_T = 0.00015 \text{ cm/s}$$

Corrección de la viscosidad del agua:

$$\text{Variación de la temperatura: } \Delta T = 23^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C} = 0$$

De la Tabla XX, para una temperatura promedio de 23 °C y una variación de la misma igual a cero $\Delta T = 0$, se obtiene el valor de la corrección de viscosidad siguiente:

Corrección de la viscosidad:

$$\frac{\eta_{23}}{\eta_{20}} = 0.9311$$

Determinar el coeficiente de permeabilidad K , refiriéndolo a la temperatura del agua a 20 °C, $K_{20^{\circ}\text{C}}$

$$k_{20^{\circ}\text{C}} = \left(\frac{\eta_T}{\eta_{20}} \right) K_T$$

$$k_{20^{\circ}\text{C}} = (0.9311)(0.00015 \text{ cm/s})$$

El coeficiente de permeabilidad es:

$$k_{20^{\circ}\text{C}} = 1.3988 * 10^{-4} \text{ cm/s}$$

Determinar el gradiente hidráulico i

$$i = \frac{h}{L}$$

$$i = \frac{90cm}{11.63cm} = 7.74$$

Determinar la velocidad de Darcy v , en cm/s

$$v = ki$$

$$v = (1.3988 * 10^{-4} cm/s)(7.74)$$

$$v = 0.0011cm/s$$

Tabla XVIII. Datos del ensayo para determinar el coeficiente de permeabilidad con el método de cabeza constante con geotextil

Determinación de la permeabilidad con geotextil				
Descripción: Arena limosa color beige				
Experimento No.	Tiempo S	V _{salida} cm ³	Temperatura T, °C	h cm
1	30	53.8	22	90
2	30	53.4	22	90
3	30	52.3	22	90
PROMEDIO	30	53.2	22	90
4	60	102	22	90
5	60	99	22	90
6	60	99.1	22	90
PROMEDIO	60	100	22	90
7	120	189	22	90
8	120	186	22	90
9	120	182	22	90
PROMEDIO	120	185.7	22	90
PROMEDIO	70	113.0	22.0	90

Determinar el coeficiente de permeabilidad K_T

$$K_T = \frac{VL}{Aht}$$

$$K_T = \frac{(113\text{cm}^3)(11.63\text{cm})}{(81.10\text{cm}^2)(90\text{cm})(70\text{s})}$$

$$K_T = 0.00257 \text{ cm/s}$$

Corrección de la viscosidad del agua:

$$\text{Variación de la temperatura: } \Delta T = 22^\circ\text{C} - 22^\circ\text{C} = 0$$

De la Tabla XX, para una temperatura promedio de 22 °C y una variación de la misma igual a cero $\Delta T = 0$, se obtiene el valor de la corrección de viscosidad siguiente:

Corrección de la viscosidad:

$$\frac{\eta_{22}}{\eta_{20}} = 0.9531$$

Determinar el coeficiente de permeabilidad K , refiriéndolo a la temperatura del agua a 20 °C, $K_{20^\circ\text{C}}$

$$k_{20^\circ\text{C}} = \left(\frac{\eta_T}{\eta_{20}} \right) K_T$$

$$k_{20^\circ\text{C}} = (0.9531)(0.00257 \text{ cm/s})$$

El coeficiente de permeabilidad es:

$$k_{20^\circ\text{C}} = 2.4515 * 10^{-3} \text{ cm/s}$$

Determinar el gradiente hidráulico i

$$i = \frac{h}{L}$$

$$i = \frac{90\text{cm}}{11.63\text{cm}} = 7.74$$

Determinar la velocidad de Darcy v , en cm/s

$$v = ki$$

$$v = (2.4515 * 10^{-3} \text{ cm/s})(7.74)$$

$$v = 0.0189\text{cm/s}$$

Figura 31. Muestras obtenidas luego de realizar el ensayo de permeabilidad



4.4. Ejemplo ilustrativo

Se requiere diseñar los subdrenes longitudinales en una vía de dos tramos y establecer que características hidráulicas y mecánicas debe tener el geotextil a usar en filtro que tiene un $I_R=60\text{mm/h}$ en un período de retorno de 2 años. Los tramos seleccionados para este ejemplo, tiene una longitud de 50 metros cada uno y una pendiente longitudinal de 1%, el ancho de la vía es de 10.5 metros. 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 reemplazará colocando una base granular. Sobre dicha base se colocará una carpeta de pavimento rígido de 20 cm de espesor. Para el primer tramo, el material de la subrasante es una arcilla limosa con presencia de arena color café y para el segundo tramo el material es una arena limosa color beige, las cuales presenta las siguientes características:

Arcilla limosa con presencia de arena color café (Primer tramo)

Permeabilidad (K) = 0.0005791 cm/s (Obtenida por ensayos de laboratorio)

$D_{85} = 1.00$ mm (Dato extraído de la curva granulométrica del suelo)

Arena limosa color beige (Segundo tramo)

Permeabilidad (K) = 0.002966 cm/s (Obtenida por ensayos de laboratorio)

$D_{85} = 2.10$ mm (Dato extraído de la curva granulométrica del suelo)

Primer tramo:

Se calcula el caudal que puede llegar al subdrén:

$$Q_{inf} = I_R * B * L * F_i * F_R$$

$I_R = 60 \text{ mm/h} = 0.00167 \text{ cm/s}$ (Dato suministrado para el proyecto)

$B = 525 \text{ cm}$ (Semibanca)

$L = 5000 \text{ cm}$

$F_i = 0.67$ (Ver Tabla I)

$F_R = 1/3$ (Ver Tabla II)

$$Q_{inf} = 0.00167 \text{ cm/s} * 525 \text{ cm} * 5000 \text{ cm} * 0.67 * 1/3$$

$$Q_{inf} = 979 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$Q_{NF} = K * i * A_a$$

$$i = \frac{N_d - N_f}{B}$$

Donde:

N_d = Cota más baja del subdrén necesaria para que el nivel freático no sobrepase la subrasante.

N_f = Nivel freático.

$$i = \frac{1.0 - 0.5}{5.25} = 0.095$$

$$K = 0.0005791 \text{ cm/s}$$

$$A_a = (N_d - N_f) * L = 50 \text{ cm} * 5000 \text{ cm} = 250000 \text{ cm}^2$$

$$Q_{NF} = 0.0005791 \text{ cm/s} * 0.095 * 250000 \text{ cm}^2 = 13.75 \text{ cm}^3/\text{s}$$

El nivel freático se encuentra a los dos lados de la sección transversal del subdrenaje.

Entonces:

$$Q_{NF} = 13.75 \text{ cm}^3/\text{s} * 2 = 27.50 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$Q_T = Q_{inf} + Q_{NF} = 979 + 27.50 = 1006.5 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$Q_T = V * i * A$$

El agregado disponible para colocar como material drenante, es una grava, la cual tiene un tamaño uniforme de 19 mm (3/4").

De la Figura 3, se obtiene la velocidad entrando con la pendiente del subdrén y el tamaño del agregado.

$$V = 0.32 \text{ cm/s}$$

$$i = 1$$

$$A = (1006.5 \text{ cm}^3/\text{s}) / (0.32 \text{ cm/s}) = 3145.3 \text{ cm}^2$$

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 50 cm.

$$A = L * \text{ancho}$$

$$A = 3145.3 \text{ cm}^2$$

$$\text{ancho} = 60 \text{ cm}$$

$$L = 3145.3/60 = 52.4 \text{ Aprox. } 55\text{cm}$$

Sección Transversal 55 x 55 cm

Se revisa que los geotextiles cumplan según los criterios de diseño:

- Criterio de retención: $TAA = 0.150\text{mm}$

$$O_{95}; \text{ ó } TAA < B * D_{85}$$

$$B = 1.8 \text{ para los no tejidos}$$

$$D_{85} = 1.00\text{mm}$$

$$TAA < 1.8 * 1.00\text{mm}$$

$$TAA < 1.8\text{mm}$$

- Criterio de permeabilidad: $K_g = 36 * 10^{-3} \text{ cm/s}$

Debe cumplir:

$$K_g \geq 10 * K_s$$

$$K_s = 0.0005791 \text{ cm/s}$$

$$K_g \geq 0.005791 \text{ cm/s}$$

- Criterio de colmatación:

La porosidad de los geotextiles no tejidos punzonados por agujas son superiores al 80%, por lo tanto los geotextiles no tejidos punzonados por aguja 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 M288-05, valores que se encuentran en la Tabla IV.

Cálculo hidráulico del geotextil

Cálculo de la permitividad requerida por el geotextil como medio filtrante

$$Q = K * i * A$$

$$Q = K * \Delta h / t * A$$

$$k/t = Q / (\Delta h * H * L)$$

$$\Psi_{req} = Q / (\Delta h * H * L)$$

$$\Psi_{req} = \frac{1.0065 * 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{s}}{(0.55\text{m} * 0.55\text{m} * 50.0\text{m})}$$

$$\Psi_{req} = 6.65 * 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

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.

$$\Psi_{ult} = 2.0s^{-1} \text{ (Especificaciones de productos)}$$

Con base a la permitividad última del geotextil, se calcula la permitividad admisible, teniendo en cuenta los factores de reducción para sistemas de subdrenaje que aparecen en la (Tabla V)

$$\Psi_{adm} = \frac{\Psi_{ult}}{(FR_{SCB} * FR_{CR} * FR_{IN} * FR_{CC} * FR_{BC})}$$

$$\Psi_{adm} = \frac{2.0s^{-1}}{(5.0 * 1.1 * 1.1 * 1.2 * 2.0)}$$

$$\Psi_{adm} = 0.14s^{-1}$$

Finalmente, se compara la permitividad admisible con la requerida para determinar el factor de seguridad global:

$$FS_g = \Psi_{adm} / \Psi_{req}$$

$$FS_g = 0.14s^{-1} / 6.65 * 10^{-5}s^{-1}$$

$$FS_g \gg 1.0$$

Por lo que el geotextil es apto como medio “filtrante” en el sistema.

Segundo tramo:

Se calcula el caudal que puede llegar al subdrén:

$$Q_{inf} = I_R * B * L * F_i * F_R$$

$$I_R = 60 \text{ mm/h} = 0.00167 \text{ cm/s (Dato suministrado para el proyecto)}$$

$$B = 525 \text{ cm (Semibanca)}$$

$$L = 5000 \text{ cm}$$

$$F_i = 0.67 \text{ (Ver Tabla I)}$$

$$F_R = 1/3 \text{ (Ver Tabla II)}$$

$$Q_{inf} = 0.00167 \text{ cm/s} * 525 \text{ cm} * 5000 \text{ cm} * 0.67 * 1/3$$

$$Q_{inf} = 979 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$Q_{NF} = K * i * A_a$$

$$i = \frac{N_d - N_f}{B}$$

Donde:

N_d = Cota más baja del subdrén necesaria para que el nivel freático no sobrepase la subrasante.

N_f = Nivel freático.

$$i = \frac{1.0 - 0.5}{5.25} = 0.095$$

$$K = 0.002966 \text{ cm/s}$$

$$A_a = (N_d - N_f) * L = 50 \text{ cm} * 5000 \text{ cm} = 250000 \text{ cm}^2$$

$$Q_{NF} = 0.002966 \text{ cm/s} * 0.095 * 250000 \text{ cm}^2 = 70.44 \text{ cm}^3/\text{s}$$

El nivel freático se encuentra a los dos lados de la sección transversal del subdrenaje.

Entonces:

$$Q_{NF} = 70.44 \text{ cm}^3/\text{s} * 2 = 140.88 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$Q_T = Q_{inf} + Q_{NF} = 979 + 140.88 = 1119.9 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$Q_T = V * i * A$$

El agregado disponible para colocar como material drenante, es una grava, la cual tiene un tamaño uniforme de 19 mm (3/4").

De la Figura 3, se obtiene la velocidad, entrando con la pendiente del subdrén y el tamaño del agregado.

$$V = 0.32 \text{ cm/s}$$

$$i = 1$$

$$A = (1119.9 \text{ cm}^3/\text{s}) / (0.32 \text{ cm/s}) = 3499.69 \text{ cm}^2$$

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 50 cm.

$$A = L * \text{ancho}$$

$$A = 3499.69 \text{ cm}^2$$

$$\text{ancho} = 60 \text{ cm}$$

$$L = 3499.69/60 = 58.33 \text{ Aprox. } 60\text{cm}$$

Sección Transversal 60 x 60 cm

Se revisa que los geotextiles cumplan según los criterios de diseño:

- Criterio de retención: $TAA = 0.150\text{mm}$

$$O_{95}; \text{ ó } TAA < B * D_{85}$$

$$B = 1.8 \text{ para los no tejidos}$$

$$D_{85} = 2.10\text{mm}$$

$$TAA < 1.8 * 2.10\text{mm}$$

$$TAA < 3.78\text{mm}$$

- Criterio de permeabilidad: $K_g = 36 * 10^{-3} \text{ cm/s}$

Debe cumplir:

$$K_g \geq 10 * K_s$$

$$K_s = 0.002966 \text{ cm/s}$$

$$K_g \geq 0.02966 \text{ cm/s}$$

- Criterio de colmatación:

La porosidad de los geotextiles no tejidos punzonados por agujas son superiores al 80%, por lo tanto los geotextiles no tejidos punzonados por aguja 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 M288-05 valores que se encuentran en la Tabla IV.

Cálculo hidráulico del geotextil

Cálculo de la permitividad requerida por el geotextil como medio filtrante

$$Q = K * i * A$$

$$Q = K * \Delta h / t * A$$

$$k/t = Q / (\Delta h * H * L)$$

$$\Psi_{req} = Q / (\Delta h * H * L)$$

$$\Psi_{req} = \frac{1.1199 * 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{s}}{(0.60\text{m} * 0.60\text{m} * 50.0\text{m})}$$

$$\Psi_{req} = 6.22 * 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

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.

$$\Psi_{ult} = 2.0s^{-1} \text{ (Especificaciones de productos)}$$

Con base en la permitividad última del geotextil, se calcula la permitividad admisible, teniendo en cuenta los factores de reducción para sistemas de subdrenaje que aparecen en la (Tabla V)

$$\Psi_{adm} = \frac{\Psi_{ult}}{(FR_{SCB} * FR_{CR} * FR_{IN} * FR_{CC} * FR_{BC})}$$

$$\Psi_{adm} = \frac{2.0s^{-1}}{(5.0 * 1.1 * 1.1 * 1.2 * 2.0)}$$

$$\Psi_{adm} = 0.14s^{-1}$$

Finalmente, se compara la permitividad admisible con la requerida para determinar el factor de seguridad global:

$$FS_g = \Psi_{adm} / \Psi_{req}$$

$$FS_g = 0.14s^{-1} / 6.22 * 10^{-5}s^{-1}$$

$$FS_g \gg 1.0$$

Por lo que el geotextil es apto como medio “filtrante” en el sistema.

4.5. Interpretación de resultados

El coeficiente de permeabilidad fue menor al ensayar los suelos con el material filtrante, lo que indica que el sistema suelo-filtro permite tener un mejor comportamiento en los sistemas de subdrenajes.

La permeabilidad de los suelos varía según sea sus características, los materiales ensayados demuestran que los materiales arenosos poseen un mayor coeficiente de permeabilidad a comparación de los materiales arcillosos.

Tabla XIX. Permeabilidad de la arcilla sin geotextil y con geotextil

ARCILLA LIMOSA COLOR CAFÉ		
	Sin geotextil	Con geotextil
K_T	0.0006220 cm/s	0.0001599 cm/s
$k_{20^\circ\text{C}}$	0.0005791 cm/s	0.0001398 cm/s
v	0.0045 cm/s	0.0011 cm/s

Tabla XX. Permeabilidad de la arena limosa sin geotextil y con geotextil

ARENA LIMOSA COLOR BEIGE		
	Sin geotextil	Con geotextil
K_T	0.003100 cm/s	0.002570 cm/s
$k_{20^\circ\text{C}}$	0.002965 cm/s	0.002451 cm/s
v	0.02295 cm/s	0.0189 cm/s

Los materiales arenosos carecen de índice de plasticidad según el ensayo de límites de Atterberg, para este tipo de material se clasificó la arena limosa color beige según normas AASHTO como una arena limosa de calidad excelente a buena. Mientras que para el otro material arcilloso se clasificó como un suelo arcilloso de calidad regular a mala.

Los diámetros obtenidos en la curva granulométrica y en especial el D_{85} fue utilizado para el diseño del sistema, ya que se pudo determinar la capacidad del suelo para ser utilizado en el diseño de filtro como sistema de subdrenaje dentro de un suelo.

Los datos obtenidos en el laboratorio permitieron conocer las propiedades de los suelos para luego determinar que el geotextil cumplía las propiedades tanto mecánicas como hidráulicas, ya que con la ayuda de factores de seguridad se obtuvo un factor de seguridad mayor a 1 lo que indica que si cumple con las condiciones necesarias.

Tabla XXI. Valores obtenidos según criterios de diseño para la arcilla limosa

ARCILLA LIMOSA CON PRESENCIA DE ARENA COLOR CAFÉ			
Retención (TAA) $TAA = 0.150mm$	1.8 mm	$TAA < 1.8mm$	<i>Si cumple</i>
Permeabilidad (K_g) $K_g = 36 * 10^{-3}cm/s$	$K_g \geq 10 * K_s$	$K_g \geq 0.005791cm/s$	<i>Si cumple</i>
$FS_g = \frac{\Psi_{adm}}{\Psi_{req}}$	$FS_g = 0.14s^{-1} / 6.65 * 10^{-5}s^{-1}$	$FS_g \gg 1.0$	<i>Si cumple</i>

Tabla XXII. Valores obtenidos según criterios de diseño para la arena limosa

ARENA LIMOSA COLOR BEIGE			
Retención (TAA) $TAA = 0.150mm$	$3.78 mm$	$TAA < 3.78mm$	<i>Si cumple</i>
Permeabilidad (K_g) $K_g = 36 * 10^{-3} cm/s$	$K_g \geq 10 * K_s$	$K_g \geq 0.02966cm/s$	<i>Si cumple</i>
$FS_g = \frac{\Psi_{adm}}{\Psi_{req}}$	$FS_g = 0.14s^{-1} / 6.22 * 10^{-5}s^{-1}$	$FS_g \gg 1.0$	<i>Si cumple</i>

Las muestras obtenidas luego del ensayo de permeabilidad con el geotextil, mostraron un bajo porcentaje de partículas de suelo adheridas al geotextil demostrando así baja colmatación en el sistema suelo-filtro, evitando así un taponamiento en el sistema.

CONCLUSIONES

1. Los geotextiles no tejidos no intervienen en la permeabilidad del tipo de suelo que se presente, concluyendo así que se trabaja mejor con geotextiles no tejidos funcionando como medios filtrantes en sistemas de subdrenaje para evitar el socavamiento.
2. Los criterios en los cuales se basa el diseño de filtros para un sistema de filtración son: criterio de retención, permeabilidad, colmatación, supervivencia y durabilidad. Concluyendo así que los resultados obtenidos con los suelos ensayados cumplieron con lo establecido para un correcto funcionamiento en un sistema de subdrenaje.
3. Según las propiedades de los geotextiles no tejidos, el criterio de colmatación es bajo, razón por la cual su comportamiento como medio filtrante es mucho mejor, ya que evita que se tapen los orificios del geotextil y mejora la permeabilidad en los suelos.
4. De acuerdo con el criterio de retención, el tamaño de abertura aparente cumple con lo requerido, ya que para evitar la migración de partículas de suelo hacia el medio drenante, el valor obtenido fue menor al que presenta el geotextil cumpliendo así con lo establecido del producto.
5. Los geotextiles no tejidos, además de trabajar como elementos filtrantes en obras de subdrenaje, pueden ser utilizados como filtros para estructuras de contención, filtros de control de erosión y filtros para rellenos sanitarios.

RECOMENDACIONES

1. Para la colocación de medios filtrantes en sistemas de subdrenaje, se deben utilizar geotextiles no tejidos, ya que los geotextiles tejidos tienen baja porosidad y el riesgo de colmatación es muy alto, con la consecuencia de una pérdida súbita en la permeabilidad.
2. Los geotextiles que sean utilizados como filtros, deben ser revisados para determinar cuáles de los geotextiles satisfacen las características hidráulicas y mecánicas que resulten de la revisión de los criterios de diseño.
3. El criterio de colmatación en el diseño de filtros determinará el taponamiento de algunos de sus vacíos por penetración de suelo fino, razón por la cual se recomienda utilizar geotextiles con un número mínimo de vacíos o una alta porosidad para evitar la reducción de la permeabilidad.
4. En el criterio de retención es recomendable que el valor del tamaño de abertura aparente del geotextil sea mayor al obtenido en el diseño del sistema de subdrenaje, para que el diseño sea eficiente y confiable.
5. Para los materiales que sean utilizados como medios drenantes en sistemas de subdrenaje, se recomienda realizar pruebas de granulometría, límites de Atterberg y permeabilidad para determinar las características del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

1. BOWLES, Joseph. **Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil**. México: McGraw-Hill. 1981.
2. JUAREZ B. Eulalio & Alfonso Rico R. **Mecánica de suelos**. México: Limusa. 1996.
3. LAMBE, William & Robert Whitman. **Mecánica de suelos**. México: Limusa. 1991.
4. Normas AASHTO y ASTM
 - AASHTO T-87 – ASTM D-421
 - AASHTO T-89 – ASTM D-423
 - AASHTO T-90 – ASTM D-424
 - AASHTO T-215 – ASTM D-2434
5. PAVCO. **Manual de diseño de Geotextiles**. 7^a ed. Colombia. 2006
6. SCHULER, U. & J. Brauns. **Filtres in Geotechnical and Hydraulic Engineering**. 1993.

REFERENICA ELECTRÓNICA

6. www.construmatica.com
<http://www.construmatica.com/articulos/2004/10/01/el-drenaje-subterraneo-en-las-carreteras/>. (Marzo de 2010).
7. www.elprisma.com
<http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/drenaje.htm>. (Abril de 2010).

APÉNDICE

Tabla XXIII. Sistema unificado de clasificación de los suelos SUCS

Divisiones Mayores		Simbolo de Grupo	Nombres Típicos	Criterios de clasificación para suelos granulares		
Suelos de grano grueso Si menos del 50% del material pasa el tamiz No. 200	Gravas Si menos del 50% de la fracción gruesa pasa por el tamiz No. 4)	GW	Gravas bien gradadas, mezclas gravosas, pocos o ningún fino	Cu = D ₆₀ /D ₁₀ > 4 Cc = 1 < D ² ₃₀ /D ₁₀ x D ₆₀ < 3		
		GP	Gravas pobremente gradadas, mezclas grava-arena, pocos o ningún fino	No cumplir todos los requisitos de gradación para GW		
		GM <small>d u</small>	Gravas limosas, mezclas grava arena-limo	Límites de Atterberg por debajo de la línea A o IP < 4	A los materiales sobre la línea A con 4 < IP < 7 se considera de frontera y se les asigna doble símbolo	
			GC	Gravas arcillosas, mezclas gravo-arena-arcillosas		Límites de Atterberg por encima de la línea A o IP > 7
	Arenas (Si más del 50% de la fracción gruesa pasa por el tamiz No. 4)	Arenas limpias (pocos o ningún fino)	SW	Arenas bien gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	Cu = D ₆₀ /D ₁₀ > 6 Cc = 1 < D ² ₃₀ /D ₁₀ x D ₆₀ < 3	
			SP	Arenas pobremente gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	No cumplir todos los requisitos de gradación para SW	
		Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	SM <small>d u</small>	Arenas limosas, mezclas arena-limo	Límites de Atterberg por debajo de la línea A o IP < 4	Si el material está en la zona sombreada con 4 ≤ IP ≤ 7 se considera de frontera y se le asigna doble símbolo
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla	Límites de Atterberg por encima de la línea A o IP > 7	
Suelos de grano fino Si más del 50% del material pasa el tamiz No. 200	Limos y arcillas (Límite Líquido LL < 50)	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas, o limos arcillosos con poca plasticidad	1. Determinar el porcentaje de arenas y gravas de la curva de granulometría. 2. Dependiendo del porcentaje de finos (fracción menor que el tamiz No. 200) los suelos gruesos se clasifican como sigue: Menos del 5% — GW, GP, SW, SP Más del 12% — GM, GC, SM, SC De 5 a 12% — Casos de frontera que requieren doble símbolo		
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras			
		OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad			
	Limos y arcillas (Límite Líquido LL > 50)	MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomeos, suelos elásticos			
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas			
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos			
	Suelos altamente orgánicos	Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos			

Fuente: Joseph Bowles. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil Pág. 74

Figura 32. Sistema de clasificación AASHTO

GRUPO SUB-GRUPO	Suelos Granulares: 35% o menos pasa malla # 200						Suelos Arcillosos y Limosos: Más de 35% pasa malla # 200					
	A-1		A-3	A-2			A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6						A-7-5*
Porcentaje de material que pasa el tamiz												
No. 10	50max											
No. 40	30max	50max										
No. 200	15max	30max	10max		35max	35max	36min	36min	36min	36min		36min
Plasticidad												
Pasa la malla # 40												
LL												
IP	6max		NP									
Índice de Grupo*	0	0	0	0	0	4max	8max	12max	16max	16max		20max
Materiales Constructivos	Fragmentos de Piedra, grava y Arena		Arena Fina	Grava y/o Arena limosa	Grava y/o Arena arcillosa		Suelos Limosos	Suelos Arcillosos				Suelos Arcillosos
Calidad (Subrasante)			Excelente a Buena									Regular a Mala

* A-7-5: IP menor o igual a LL - 30 * A-7-6: IP mayor que LL - 30
 * Índice de Grupo = IG = (F₂₀₀ - 35) [0.2 + 0.005 (LL - 40)] + 0.01 (F₂₀₀ - 15) (IP - 10)

Fuente: Joseph Bowles. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil Pág. 70

Tabla XXIV. Corrección de viscosidad para η_T / η_{20}

°C	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
10	1.3012	1.2976	1.2940	1.2903	1.2867	1.2831	1.2795	1.2759	1.2722	1.2686
11	1.2650	1.2615	1.2580	1.2545	1.2510	1.2476	1.2441	1.2406	1.2371	1.2336
12	1.2301	1.2268	1.2234	1.2201	1.2168	1.2135	1.2101	1.2068	1.2035	1.2001
13	1.1968	1.1936	1.1905	1.1873	1.1841	1.1810	1.1777	1.1746	1.1714	1.1683
14	1.1651	1.1621	1.1590	1.1560	1.1529	1.1499	1.1469	1.1438	1.1408	1.1377
15	1.1347	1.1318	1.1289	1.1260	1.1231	1.1202	1.1172	1.1143	1.1114	1.1085
16	1.1056	1.1028	1.0999	1.0971	1.0943	1.0915	1.0887	1.0859	1.0830	1.0802
17	1.0774	1.0747	1.0720	1.0693	1.0667	1.0640	1.0613	1.0586	1.0560	1.0533
18	1.0507	1.0480	1.0454	1.0429	1.0403	1.0377	1.0351	1.0325	1.0300	1.0274
19	1.0248	1.0223	1.0198	1.0174	1.0149	1.0124	1.0099	1.0074	1.0050	1.0025
20	1.0000	0.9976	0.9952	0.9928	0.9904	0.9881	0.9857	0.9833	0.9809	0.9785
21	0.9761	0.9738	0.9715	0.9692	0.9669	0.9646	0.9623	0.9600	0.9577	0.9554
22	0.9531	0.9509	0.9487	0.9465	0.9443	0.9421	0.9399	0.9377	0.9355	0.9333
23	0.9311	0.9290	0.9268	0.9247	0.9225	0.9204	0.9183	0.9161	0.9140	0.9118
24	0.9097	0.9077	0.9056	0.9036	0.9015	0.8995	0.8975	0.8954	0.8934	0.8913
25	0.8893	0.8873	0.8853	0.8833	0.8813	0.8794	0.8774	0.8754	0.8734	0.8714
26	0.8694	0.8675	0.8656	0.8636	0.8617	0.8598	0.8579	0.8560	0.8540	0.8521
27	0.8502	0.8484	0.8465	0.8447	0.8428	0.8410	0.8392	0.8373	0.8355	0.8336
28	0.8318	0.8300	0.8282	0.8264	0.8246	0.8229	0.8211	0.8193	0.8175	0.8157
29	0.8139	0.8122	0.8105	0.8087	0.8070	0.8053	0.8036	0.8019	0.8001	0.7984
30	0.7967	0.7950	0.7934	0.7917	0.7901	0.7884	0.7867	0.7851	0.7834	0.7818
31	0.7801	0.7785	0.7769	0.7753	0.7737	0.7721	0.7705	0.7689	0.7673	0.7657
32	0.7641	0.7626	0.7610	0.7595	0.7579	0.7564	0.7548	0.7533	0.7517	0.7502
33	0.7486	0.7471	0.7456	0.7440	0.7425	0.7410	0.7395	0.7380	0.7364	0.7349
34	0.7334	0.7320	0.7305	0.7291	0.7276	0.7262	0.7247	0.7233	0.7218	0.7204
35	0.7189	0.7175	0.7161	0.7147	0.7133	0.7120	0.7106	0.7092	0.7078	0.7064

Fuente: Joseph Bowles. **Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil** Pág. 108

ANEXO

INFORMES



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

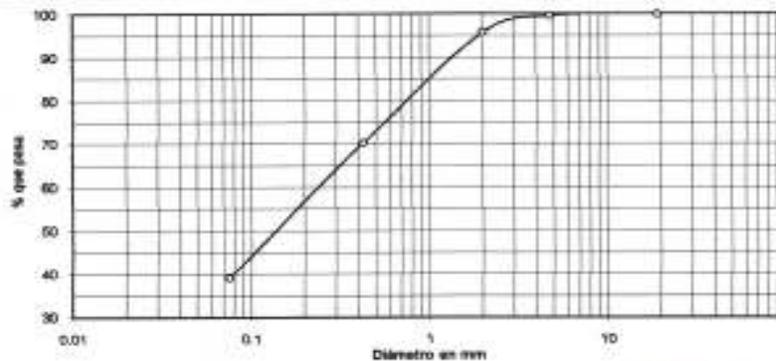


Nº 15068

INFORME No. 207 S.S. O.T. No. 27,049
Interesado: Francisco José Morroy Meiger
Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y con lavado previo.
Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11
Proyecto: Trabajo de Graduación "DISEÑO DE SISTEMAS DE SUBDRENAJE CON ELEMENTOS FILTRANTES EN OBRAS VIALES"
Fecha: 24 de mayo de 2010

Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.80	100.00
3/4"	19	100.00
4	4.75	99.81
10	2	95.77
40	0.425	70.30
200	0.075	39.13

% de Grava: 0.39
% de Arena: 60.48
% de finos: 39.13



Descripción del suelo: Arena arcillosa color café
Clasificación: S.C.U.: SC P.R.A.: A-6
Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Aterramiento,

Vo. Bo.
Inga. Teima Marcela Cano Morales
DIRECTORA CIUSAC



Ing. Omar Enrique Méndez Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos



INFORME No. 208 S. S. O.T.: 27.049

Interesado: Francisco José Monroy Melgar
Proyecto: Trabajo de Graduación "DISEÑO DE SISTEMAS DE SUBDRENAJE CON ELEMENTOS FILTRANTES EN OBRAS VIALES"
Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG
Norma: AASHTO T-88 Y T-90

FECHA: 24 de mayo de 2010

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	L.P. (%)	CLASIFICACION*	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	28.0	13.1	CL	Arena arcillosa color café

(*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vs. Bn.

Ing. Taina Marcela Cahó Morales
DIRECTORA CIMUSAC





Informe No: 209 S. S.

O.T. No.: 27,049

INTERESADO: Francisco José Monroy Melgar
PROYECTO: Trabajo de Graduación "DISEÑO DE SISTEMAS DE SUBDRENAJE CON
ELEMENTOS FILTRANTES EN OBRAS VIALES"
ASUNTO: ENSAYO DE PERMEABILIDAD
NORMA: AASHTO T125-66

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arena arcillosa color café

FECHA: 24 de mayo de 2010

RESULTADO DEL ENSAYO:

Coefficiente de Permeabilidad= 5.79×10^{-4} cm/s Sin Geotextil

Coefficiente de Permeabilidad= 1.39×10^{-4} cm/s Con Geotextil

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,



Omar Enrique Medrano Méndez
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.

Tejma Maricela Cano Morales
Inga. Tejma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CIUSAC



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



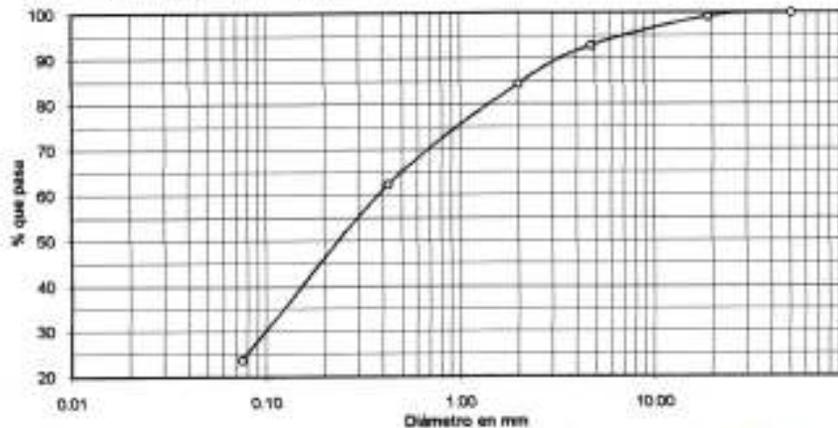
Nº 15075

INFORME No. 210 S.S. O.T. No. 27,049

Interesado: Francisco José Monroy Melgar
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y con lavado previo.
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11
 Proyecto: Trabajo de Graduación "DISEÑO DE SISTEMAS DE SUBDRENAJE CON ELEMENTOS FILTRANTES EN OBRAS VIALES"
 Fecha: 24 de mayo de 2010

Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.80	100.00
3/4"	19	99.15
4	4.75	92.90
10	2	84.49
40	0.425	62.26
200	0.075	23.74

% de Grava: 7.10
 % de Arena: 89.16
 % de finos: 23.74



Descripción del suelo: Arena limosa color beige
 Clasificación: S.C.U.: SM P.R.A.: A-2-4
 Observaciones: Muestra tomada por el interesado.



Vo. Bo.
 Inga. Teima Mariela Cano Morales
 DIRECTORA CI/USAC



Atentamente,
 Ing. Orlan Enrique Medrano Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos



INFORME No. 211 S. S. O.T.: 27,049

Interesado: Francisco José Morroy Melgar
Proyecto: Trabajo de Graduación "DISEÑO DE SISTEMAS DE SUBDRENAJE CON ELEMENTOS FILTRANTES EN OBRAS VIALES"
Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG
Norma: AASHTO T-89 Y T-90

FECHA: 24 de mayo de 2010

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	CLASIFICACION*	DESCRIPCION DEL SUELO
2	2	0.0	0.0	ML	Arena limosa color beige

(* CLASIFICACION SEGUN CARTA DE PLASTICIDAD)

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,



Omar Enrique Medrano Méndez
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vs. Bn.

Tejma Maricela Cano Morales
Ings. Tejma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CIVISAC





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 15073

Informe No: 212 S. S.

O.T. No.: 27,049

INTERESADO: Francisco José Monroy Melgar
PROYECTO: Trabajo de Graduación "DISEÑO DE SISTEMAS DE SUBDRENAJE CON
ELEMENTOS FILTRANTES EN OBRAS VIALES"
ASUNTO: ENSAYO DE PERMEABILIDAD
NORMA: AASHTO T125-66

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arena limosa color beige

FECHA: 24 de mayo de 2010

RESULTADO DEL ENSAYO:

Coefficiente de Permeabilidad= 2.96×10^{-3} cm/s Sin Geotextil

Coefficiente de Permeabilidad= 2.45×10^{-3} cm/s Con Geotextil

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,



Omar Enrique Medrano Méndez
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.

Telma Maricela Cario Morales
Inga. Telma Maricela Cario Morales
DIRECTORA CII/USAC

