



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrados
Maestría en Ingeniería Geotécnica

**DISEÑO Y COMPARACIÓN DE FILTROS DE GRAVA Y FILTROS DE
GEOTEXTIL PARA SUELOS**

Carolina Dianeth Véliz Arévalo
Asesorado por: M. Sc. Alan Giovani Cosillo Pinto

Guatemala, octubre de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
ESCUELA DE POSTGRADO



**DISEÑO Y COMPARACIÓN DE FILTROS DE GRAVA Y FILTROS DE
GEOTEXTIL PARA SUELOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR:

CAROLINA DIANETH VÉLIZ ARÉVALO
ASESORADO POR: M. Sc. ALAN GIOVANI COSILLO PINTO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRA EN INGENIERÍA GEOTÉCNICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2011

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	M. Sc. César Augusto Akú Castillo
EXAMINADOR	M. Sc. Julio Roberto Luna Aroche
EXAMINADOR	M. Sc. Alan Giovani Cosillo Pinto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO Y COMPARACIÓN DE FILTROS DE GRAVA Y FILTROS DE
GEOTEXTIL PARA SUELOS**

tema que me fue aprobado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado en Junio
de 2011

Carolina Dianeth Véliz Arévalo

Guatemala, 23 de agosto de 2011

Dr. Olmedo España
Director Escuela de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Doctor España:

Por este medio hago constar que he revisado el trabajo de graduación de postgrado que tiene como título: **DISEÑO Y COMPARACION DE FILTROS DE GRAVA Y FILTROS DE GEOTEXTIL PARA SUELOS**, que ha sido elaborado por la alumna, Carolina Dianeth Veliz Arévalo, estudiante de Maestría en Ingeniería Geotécnica, quien tiene Carné No. 1000-19169. Habiendo cumplido con los requisitos formales de un trabajo de graduación, apruebo la elaboración del trabajo de graduación mencionado. Por lo que recomiendo se continúen con los siguientes procedimientos para el proceso de graduación de la señorita Veliz.

Atentamente,



Ing. Alan Cosillo Pinto
Colegiado No. 3717

M.Sc. Alan G. Cosillo Pinto
Ing. Civil e Ing. Geólogo
Asesor de Tesis



CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES
DE ENERGÍA Y MINAS
- CESEM -
Tel.: 24 18 91 39

Guatemala, 7 de septiembre de 2011.

Doctora
Mayra Castillo
Directora de Postgrado
Facultad de Ingeniería/USAC

Doctora Castillo:

Por este medio me dirijo a usted para saludarlo, deseándole éxitos en sus actividades.

El motivo de la presente es para hacer de su conocimiento que he revisado el trabajo de graduación de la estudiante **Carolina Dianeth Veliz Arévalo**, con carné 1000-19169, titulado **DISEÑO Y COMPARACION DE FILTROS DE GRAVA Y FILTROS DE GEOTEXTIL PARA SUELOS**; después de haberle hecho las observaciones pertinentes se da por aprobado dicho trabajo, siendo el asesor el Ingeniero Alan Cosillo quien posee experiencia en la temática.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Cordialmente

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Julio Roberto Luna Aroche
COORDINADOR
MAESTRÍA INGENIERÍA GEOTÉCNICA



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
de Postgrado

Como Coordinador de la Maestría en Ingeniería Geotécnica, y revisor del trabajo de tesis de graduación titulado **DISEÑO Y COMPARACIÓN DE FILTROS DE GRAVA Y FILTROS DE GEOTEXTIL PARA SUELOS**, presentado por la Ingeniera Civil **Carolina Dianeth Véliz Arévalo**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Julio Roberto Luna Aroche
Coordinador
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, Septiembre de 2011.

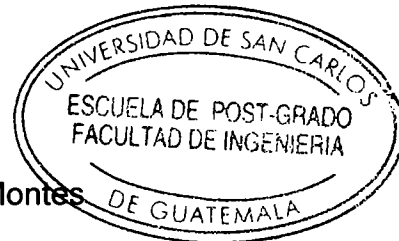


Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
de Postgrado

La Directora de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del trabajo de tesis de graduación titulado **DISEÑO Y COMPARACIÓN DE FILTROS DE GRAVA Y FILTROS DE GEOTEXTIL PARA SUELOS** presentado por la Ingeniera Civil **Carolina Dianeth Véliz Arévalo**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, Octubre de 2011.



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
de Postgrado

Como Revisora de la Maestría en Ingeniería Geotécnica del trabajo de tesis de graduación titulado **DISEÑO Y COMPARACIÓN DE FILTROS DE GRAVA Y FILTROS DE GEOTEXTIL PARA SUELOS** Presentado por la Ingeniera Civil **Carolina Dianeth Véliz Arévalo**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, Octubre de 2011.

Cc: archivo
/la



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 Postgrado, al trabajo de graduación de la Maestría en Ingeniería Geotécnica titulado: **DISEÑO Y COMPARACIÓN DE FILTROS DE GRAVA Y FILTROS DE GEOTEXTIL PARA SUELOS**, presentado por la Ingeniera Civil **Carolina Dianeth Véliz Arévalo** procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

A large, handwritten signature in black ink, consisting of a large oval shape with a vertical line extending downwards from its center.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, Octubre de 2011.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE TABLAS	IV
ÍNDICE DE SÍMBOLOS	VI
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
JUSTIFICACIÓN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. COMPORTAMIENTO DE UN SUELO	1
1.1. Características del conjunto de partículas en un suelo	2
1.2. Principio de la mecánica de las aguas en los suelos	5
1.3. Cómo actúa el agua en un suelo	6
1.4. Revisión de los fundamentos de agua en los suelos	9
1.5. Movimiento del agua en el suelo	10
1.6. Niveles de agua en un suelo	13
1.7. Tipos de flujo de agua en un suelo	13
1.8. Cómo aporta la lluvia agua en un suelo	14
1.9. Efectos del agua en suelo y en rocas	16
1.10 Control del agua en suelos y rocas	16
1.11 Capilaridad en suelos	17
1.12 Flujo unidimensional y Flujo Bidimensional	19
1.13 Permeabilidad de los suelos	23
2. FILTROS DE GRAVA Y FILTROS DE GEOTEXTIL PARA SUELOS	25
2.1. Filtros de grava para suelos	26
2.1.1 Diseño de filtros de grava para suelos	27
2.1.2 Cálculo del caudal y diámetro de la tubería	32
2.1.2.1 Determinación de la dirección del flujo	32
2.1.2.2 Estimación del caudal de diseño	33
2.1.2.2.1 Caudal por infiltración	34
2.1.2.2.3 Caudal por escorrentía superficial	35
2.2. Filtros de geotextil para suelos	37
2.2.1 Diseño de filtros de geotextil para suelos	38
2.2.1.1 Evaluación del geotextil a usar en el filtro	38
2.2.1.1.1 Criterio de Retención	39
2.2.1.1.2 Criterio de permeabilidad	40
2.2.1.1.3 Criterio de durabilidad	41
2.2.2 Cálculo del caudal de flujo de agua	41
2.2.2.1 Caudal por infiltración	41
2.2.2.2 Caudal por abatimiento del nivel freático	42

2.2.2.3	Caudal por escorrentía superficial	43
2.2.3	Requerimientos del geotextil para poder utilizarlo como filtro	45
2.2.4	Ejemplo de diseño de filtro de geotextil para suelos	46
2.2.4.1	Ejemplo	46
3.	NORMAS A UTILIZAR PARA EL DISEÑO DE FILTROS	54
3.1	Capa filtrante	54
3.2	Rellenos de roca	55
3.3	Subdrenajes	56
3.4	Relleno permeable	68
4.	HOJA ELECTRÓNICA PARA EL DISEÑO DE FILTROS DE GRAVA Y GEOTEXTIL PARA SUELOS	69
4.1	Hoja electrónica para el diseño de filtro de grava	69
4.1.1	Utilización de la hoja electrónica para el diseño de filtros de grava	69
4.2	Hoja electrónica para el diseño de filtros de geotextil	69
4.2.1	Utilización de la hoja electrónica para el diseño de filtros de geotextil para suelos	74
4.2.1.1	Ingreso de datos para en hoja electrónica para el diseño	74
5.	EJEMPLO Y COMPARACIÓN DE FILTROS DE GRAVA Y FILTRO DE GEOTEXTIL PARA SUELOS (DISEÑO DE CASO REAL)	79
5.1	Visita al lugar donde se debe construir el proyecto	79
5.2	Toma de muestra de suelo base o del lugar del proyecto	80
5.3	Resultado de la muestra	85
5.4	Discusión de resultados de las muestra	90
5.5	Diseño de filtro de grava usando la hoja electrónica	92
5.6	Diseño de filtro de geotextil usando la hoja electrónica	96
5.7	Plano de filtro de grava y filtro de geotextil	100
5.8	Cronograma de construcción de filtro de grava y filtro de geotextil	101
5.9	Integración de costo unitario de filtro de grava y filtro de geotextil	102
5.10	Ventajas y Desventajas	104
5.11	Discusión de resultados	106
6.	CASOS PRÁCTICOS DE CONSTRUCCIÓN DE FILTROS	107
ANEXOS		113
CONCLUSIONES		XXI
RECOMENDACIONES		XXV
REFERENCIAS		XXIX

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Fotografía 5.1	Vista del lugar del proyecto	80
Fotografía 5.2	Vista del lugar del proyecto	81
Fotografía 5.3	Vista del lugar del proyecto	81
Fotografía 5.4	Vista del área de construcción del filtro	82
Fotografía 5.5	Zona paralela a la construcción del filtro	82
Fotografía 5.6	Estratos de suelo en el lugar	83
Fotografía 5.7	Estratos de suelo en el lugar	83
Fotografía 5.8	Estrato de suelo donde se extrajo la muestra 1	84
Fotografía 5.9	Estrato de suelo donde se extrajo la muestra 1	84
Fotografía 5.10	Estrato de suelo donde se extrajo la muestra 1	85
Fotografía 6.1	Filtro de grava y geotextil	107
Fotografía 6.2	Filtro de grava y geotextil para absorción	107
Fotografía 6.3	Solución con filtro de grava de hundimiento de casa	108
Fotografía 6.4	Filtro de grava para muro de contención	108
Fotografía 6.5	Filtro de geotextil para sistema de detección de fugas	109
Fotografía 6.6	Filtro de grava para muro de contención	109
Fotografía 6.7	Filtro de geotextil para sistema de recolección de lixiviados	110
Fotografía 6.8	Filtro de geotextil para evitar filtraciones en sótano	110
Fotografía 6.9	Filtro de geotextil para evitar filtraciones en sótano	111
Fotografía 6.10	Utilización de filtros de grava para disminuir la saturación	111

FIGURAS

Figura 1	Películas de líquido rodeando partículas de suelo	2
Figura 2	Relaciones entre las fases de un suelo	3
Figura 3	Planta de una agrupación compacta de partículas de suelo	4
Figura 4	Zonas donde es infiltrada el agua en el suelo	5
Figura 5	Estados del agua en el suelo	7
Figura 6	Muestra de flujo de agua subterránea en medio aniso trópico	7
Figura 7	Medio poroso con permeabilidad primaria	7
Figura 8	Medio fracturado, permeabilidad secundaria	8
Figura 9	Formaciones acuíferas isotrópicas y aniso trópicas	8
Figura 10.a	Espacio natural del flujo	11
Figura 10.b	Espacio transformado del flujo	11
Figura 10.c	Cambio del flujo a espacio real	11
Figura 10.d	Red de flujo en espacio transformado	11
Figura 11	Trayectorias de filtración en el suelo	12
Figura 12	Acuíferos libres	12
Figura 13	Relaciones entre acuíferos	13
Figura 14	Como aporta la lluvia agua en el suelo	15
Figura 15	Aporte del agua de lluvia al suelo a través de lagos o ríos	15

Figura 16	Punto de contacto de los granos en un suelo	18
Figura 17	Ensayo de medición de h_c para medición de capilaridad	19
Figura 18	Trayectoria del flujo de agua en un suelo	20
Figura 19	Dispositivo para estudiar las propiedades del flujo en arena	22
Figura 20	Filtro de grava para suelos	26
Figura 21	Indicación de suelo filtro y material base	27
Figura 22	Criterio para selección de un material de filtro	29
Figura 23	Uso de filtro para aumentar el factor de seguridad de levantamiento	30
Figura 24	Dirección del flujo de agua para posición del filtro	33
Figura 25	Filtro utilizando geotextil	37
Figura 26	Geotextil como filtro	38
Figura 27	Requerimiento de perforaciones para un tubo en filtros	46
Figura 5.1.1	Ubicación del proyecto	79
Figura 5.1.2	Ubicación del proyecto	80

TABLAS

Tabla 1	Sugerencia 1 de cómo tener un material filtrante	31
Tabla 2	Sugerencia 2 de cómo tener un material filtrante	32
Tabla 3	Requisitos de graduación de la capa filtrante	54
Tabla 4	Graduación para roca mecánicamente colocada	55
Tabla 5	Graduación para roca colocada manualmente	55
Tabla 6	Graduación para el agregado fino	59
Tabla 7	Graduación para el agregado grueso para filtros	59
Tabla 8	Requerimientos físicos para geotextil en función de drenaje subterráneo	60
Tabla 9	Indicación de filas de perforaciones en una tubería de drenaje para filtro	63
Tabla 10	Indicación de filas de perforaciones en una tubería de drenaje para filtro	64
Tabla 11	Indicación de filas de perforaciones en una tubería de drenaje para filtro	65
Tabla 12	Graduación para relleno permeable	68
Tabla 13	Propiedades hidráulicas, mecánicas y físicas de geotextil	115
Tabla 14	Tipos de geotextil y nombres equivalentes	116
Tabla 15	Aplicación de geotextil según sus características	117
Tabla 16	Cálculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 40 x 40 cm	118
Tabla 17	Cálculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 40 x 50 cm	119
Tabla 18	Cálculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 40 x 60 cm	120
Tabla 19	Cálculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 40 x 70 cm	121

Tabla 20	Cálculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 40 x 80 cm	122
Tabla 21	Cálculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 40 x 90 cm	123
Tabla 22	Cálculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 40 x 100 cm	124
Tabla 23	Cálculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 50 x 50 cm	125
Tabla 24	Cálculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 50 x 60 cm	126
Tabla 25	Cálculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 50 x 70 cm	127
Tabla 26	Cálculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 50 x 80 cm	128
Tabla 27	Cálculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 50 x 90 cm	129
Tabla 28	Cálculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 50 x 100 cm	130
Tabla 29	Cálculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 60 x 60 cm	131
Tabla 30	Cálculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 60 x 70 cm	132
Tabla 31	Cálculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 60 x 80 cm	133
Tabla 32	Cálculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 60 x 90 cm	134
Tabla 33	Cálculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 60 x 100 cm	135
Tabla 34	Cálculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 70 x 70 cm	136
Tabla 35	Cálculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 70 x 80 cm	137
Tabla 36	Cálculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 70 x 90 cm	138
Tabla 37	Cálculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 70 x 100 cm	139
Tabla 38	Cálculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 80 x 80 cm	140
Tabla 39	Cálculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 80 x 90 cm	141
Tabla 40	Cálculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 80 x 100 cm	142
Tabla 41	Factores de reducción para geotextiles en aplicaciones de drenaje	143

GRÁFICAS

Gráfica 1 Pendiente del subdren Vs. Velocidad del flujo

44

SÍMBOLOS

A	=	Sección transversal del permeámetro	(1.5)
A_a	=	Es el área efectiva para el caso	(2.33)
A_a	=	Área efectiva para el caso de abatimiento del nivel freático.	(2.16)
A	=	Área de la sección transversal del filtro	(2.35)
A	=	Área total del filtro	(2.36)
B	=	Para filtros longitudinales, B es el espesor o ancho del filtro	(2.13)
B	=	Para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la vía.	(2.16)
D_{15}	=	Tamaño de la partícula que pasa el 15% el tamiz en granulometría	(2.5)
$D_{85(B)}$	=	Tamaño de la partícula que pasa el 85% el tamiz en granulometría	(2.5)
Fi	=	Factor de infiltración. (según el tipo de suelo)	(2.30)
FR	=	Factor de retención del suelo	(2.30)
$FRBC$	=	Factor de colmatación biológica	(2.59)
$FRCC$	=	Factor de colmatación química	(2.59)
$FRSCE$	=	Factor de colmatación	(2.59)
$FRGR$	=	Factor de reducción de vacíos por creep	(2.59)
$FRIN$	=	Factor de intrusión en los vacíos	(2.59)
FS_g	=	Factor de seguridad global	(2.59)
h	=	Altura	(1.1)
h_p	=	La presión dividida por el peso específico del fluido.	(1.2)
h_g	=	Distancia a un plano de comparación	(1.2)
h_0, h_1	=	Altura entre las que se determina la permeabilidad	(1.5)
I	=	gradiente hidráulico	(1.4)
i	=	Gradiente hidráulico que para el caso de subdrenes es = 1	(2.31)
IR	=	Precipitación máxima horaria de frecuencia anual	(2.13)
k	=	Una constante de permeabilidad de Darcy	(1.3)
k	=	Es el coeficiente de permeabilidad del suelo adyacente.	(2.14)
k_g	=	Permeabilidad del geotextil	(2.43)
k_s	=	Permeabilidad del suelo	(2.43)
L	=	longitud	(1.3)
L	=	Longitud de la muestra de suelo en el permeámetro	(1.5)
L	=	Longitud del tramo de filtro.	(2.13)
L	=	Longitud del tramo de drenaje.	(2.16)

n	=	Coeficiente de Manning	(2.36)
N_d	=	Nivel inferior del subdrén	(2.15), (2.16)
N_d	=	Cota inferior del subdrén.	(2.33)
N_f	=	Cota superior del nivel freático.	(2.15), (2.16)
N_f	=	Cota superior del nivel freático.	(2.33)
n_c	=	Número de canales de flujo	(2.33)
n_f	=	Número de equipotenciales	(2.33)
Q	=	Gasto (descarga)	(1.3)
Q_T	=	Caudal total	(2.19)
Q_T	=	Caudal total calculado	(2.40)
S	=	Pendiente del subdrén	(2.33)
S	=	Pendiente del subdrén	(2.36)
t_0	=	Instante en el que el nivel de agua en la bureta	(1.5)
t_1	=	Instante en el que el nivel de agua en la bureta esta en h_1	(1.5)
T_{AA}	=	Tamaño de abertura aparente	(2.41)
V	=	Velocidad de flujo	(2.35)
q_{wult}	=	Tasa de flujo última del geotextil	(2.53)
q_{wadm}	=	Tasa de flujo admisible	(2.54)
a	=	Sección transversal de la bureta	(1.4)
m	=	Metros	
mm	=	Milímetros	
s	=	Segundos	
GSE	=	Geosintéticos, para sistemas de erosión	

GLOSARIO

Capilaridad: es una propiedad de los líquidos que depende de su tensión superficial (la cual a su vez, depende de la cohesión o fuerza intermolecular del líquido), que le confiere la capacidad de subir o bajar por un tubo capilar.

Cohesión: es la atracción entre partículas, originada por las fuerzas moleculares y las películas de agua. Por lo tanto, la cohesión de un suelo variará si cambia su contenido de humedad. La cohesión se mide en kg/cm². Los suelos arcillosos tienen cohesión alta de 0,25 kg/cm² a 1.5 kg/cm², o más. Los suelos limosos tienen muy poca, y en las arenas la cohesión es prácticamente nula.

Colmatación: es cuando las 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.

Cribas: una de las operaciones a realizar en la preparación del suelo para estabilizarlo puede ser la de retirada de partículas de gran tamaño, en suelos de tamaño máximo superior al permitido por las especificaciones, o al tamaño compatible con un buen funcionamiento de la máquina mezcladora. Esta operación se realiza mediante un corte granulométrico con cribas, cuando el porcentaje de partículas de tamaño superior al permitido es mayor del 5-10%. Dentro de las cribas existe una gran variedad de equipos que se pueden dividir, en una primera clasificación, en fijas o móviles, y en una clasificación posterior, en fijas estáticas o vibrantes y en móviles sobre orugas o sobre ruedas. Las cribas fijas estáticas no son más que una serie de barras longitudinales separadas entre ellas por la distancia correspondiente al tamaño por el que se quiere realizar el corte granulométrico.

Geocompuesto de drenaje: los geocompuestos de drenaje son productos geosintéticos especialmente diseñados para ser utilizados como drenajes planares. Están formados por un geoespaciador tridimensional cubierto en una o ambas caras de su plano con materiales geotextiles. El geoespaciador forma un espacio vacío en el suelo, por medio del cual pueden ser conducidos gases o fluidos, mientras que las capas de geotextil filtran estos gases o fluidos para evitar que las partículas finas del suelo penetren hacia el medio de drenaje. Existen muchos tipos de geocompuestos de drenaje, dependiendo del tipo de geoespaciador, así como de las características de los geotextiles de recubrimiento.

Geomembrana: las geomembranas son productos geosintéticos en forma laminar continua y flexible, las cuales son utilizadas como barrera impermeable de líquidos u otros fluidos en proyectos ambientalistas o de ingeniería civil.

Geotextiles: son telas permeables, filtrantes, construidas con fibras sintéticas especialmente polipropileno, poliéster, nylon y polietileno.

Gradiente hidráulico: se define como la pérdida de energía experimentada por unidad de longitud recorrida por el agua; es decir, representa la pérdida o cambio de potencial hidráulico por unidad de longitud, medida en el sentido del flujo de agua.

Granulometría: se denomina distribución granulométrica de un suelo a la división del mismo en diferentes fracciones, seleccionadas por el tamaño de sus partículas componentes; las partículas de cada fracción se caracterizan porque su tamaño se encuentra comprendido entre un valor máximo y un valor mínimo, en forma correlativa para las distintas fracciones, de tal modo que el máximo de una fracción es el mínimo de la que le sigue correlativamente.

Filtro para suelos: es un material granular con aberturas bastante pequeñas para prevenir el movimiento de las partículas del suelo en las que es colocado y, al mismo tiempo es bastante permeable para ofrecer pequeña resistencia al flujo que pasa a través de él.

Fricción interna: es la resistencia al deslizamiento causado por la fricción que hay entre las superficies de contacto de las partículas y de su densidad. Como los suelos granulares tienen superficies de contacto mayores y sus partículas, especialmente si son angulares, presentan una buena trabazón, tendrán fricciones internas altas. En cambio, los suelos finos las tendrán bajas. La fricción interna de un suelo, está definida por el ángulo cuya tangente es la relación entre la fuerza que resiste el deslizamiento, a lo largo de un plano, y la fuerza normal "p" aplicada a dicho plano. Los valores de este ángulo llamado "ángulo de fricción interna" f , varían de prácticamente 0° para arcillas plásticas, cuya consistencia esté próxima a su límite líquido, hasta 45° o más, para gravas y arenas secas, compactas y de partículas angulares. Generalmente, el ángulo f para arenas es alrededor de 30° .

Interacción: se refiere a una acción recíproca entre dos o más objetos con una o más propiedades homólogas.

Intersticial: es un espacio que queda entre las partículas de un suelo, es equivalente a vacíos, huecos o poros.

Intrínsecamente: es la característica de una cosa por sí misma y no por causas exteriores.

Nivel freático: corresponde al nivel en el que se encuentra el agua subterránea en un suelo. En este nivel la presión de agua del acuífero es igual a la presión atmosférica.

Permeabilidad: es la 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.

Porosidad: porcentaje del volumen del suelo (o roca) que no está ocupado por partículas sólidas, incluido todo el espacio de poros, lleno de aire y agua.

Porosidad primaria: cuando un suelo es no consolidado y los granos individuales retienen su identidad. El término medio poroso se usa cuando un material exhibe porosidad primaria.

Porosidad secundaria: es la atribuible a procesos geológicos que ocurren después de la formación de las capas de sedimentos. Planos de dislocación o fracturas son una forma de porosidad secundaria

Suelo: es un conjunto de partículas conteniendo una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos capaz de sustentar vegetación. Se deriva generalmente de roca intemperizada y puede tener origen puramente orgánico. En su primera etapa de formación, es la acumulación de fragmentos de roca no consolidada. Una vez iniciada su formación, forma capas en un proceso conocido como diferenciación de horizontes.

Suelos residuales: los suelos residuales se originan cuando los productos de la meteorización no son transportados como sedimentos, sino que se acumulan en el sitio en que se van formando. Si la velocidad de descomposición de la roca, supera a la de arrastre de los productos de la descomposición, se produce una acumulación de suelo residual. Entre los factores que influyen en la velocidad de alteración de la naturaleza de los productos de la meteorización están el clima (Temperatura y lluvia), la naturaleza de la roca original, el drenaje y la actividad bacteriana. El perfil de un suelo residual puede dividirse en tres zonas: a) la zona superior, en la que existe un elevado grado de meteorización, pero también cierto arrastre de materiales; b) la zona intermedia en cuya parte superior existe una cierta meteorización, pero también cierto grado de deposición hacia la parte inferior de la misma; y, c) la zona parcialmente meteorizada que sirve de transición del suelo residual a la roca original inalterada. La temperatura y otros factores han favorecido el desarrollo de espesores importantes de suelos residuales en muchas partes del mundo. También se conoce como capa freática, manto freático, napa freática, napa subterránea, tabla de agua o simplemente freático.

Suelos transportados: se formaron por meteorización de la roca en un lugar y posterior transporte a otro lugar por agentes externos que podrían ser: agua, glaciares, viento y gravedad. Los depósitos transportados por el viento, glaciares y agua están ampliamente repartidos, aunque en el sentido estricto de la palabra estos son depósitos transportados hace tanto tiempo, que se ha producido algunas o bastantes modificaciones en las condiciones presentes, el suelo endurecido está sometido a meteorización produciendo un material que es más residual que transportado.

Terraplén: son plataformas formadas con suelo compactado, diseñado según la función que tenga.

RESUMEN

El diseño de filtros de grava es una herramienta que está basada en parámetros que están en función del tipo de suelo. El filtro de grava o geotextil es un método constructivo que garantiza la protección y estabilidad de los suelos que están en zonas donde existe mucha humedad y esto ocasiona saturación. La evacuación del agua que se infiltra en los suelos puede proveerse con este sistema de partículas o geotextil que funcionarán respecto a su granulometría, permeabilidad.

Proveer un filtro adecuado consiste en elegir las dimensiones del mismo y el material para construirlo, de forma que; no exista pérdida de carga suficiente al atravesar los filtros. No se permita una entrada importante de suelo al filtro. La selección del filtro para cumplir con las condiciones requeridas depende del suelo y del sistema de filtración de la estructura o proyecto que se tenga.

Las condiciones para que un filtro impida la entrada de partículas, son de naturaleza principalmente granulométrica. Las expresiones de relación granulométrica no sólo limitan el arrastre de las partículas de suelo al filtro a una pequeña zona en la cara de contacto entre ambos sino que también aseguran que la permeabilidad del filtro es considerablemente mayor que la del suelo. También se toma en cuenta para seleccionar la permeabilidad del filtro, utilizar la red de flujo del problema real estudiado.

Se generó y se provee en este trabajo una hoja electrónica que está diseñada en base a los criterios que están en la teoría presentada en esta tesis, esta hoja es una herramienta que se le proporciona, para facilitar el diseño al momento de tener que construir un proyecto donde se tengan las condiciones de humedad o saturación en el suelo para que el constructor pueda diseñar su propio filtro de grava y geotextil, y pueda analizar técnica y económicamente la opción que sea de mejor función para el caso que se tenga.

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad se han descubierto diversas formas de utilización de un suelo el cual se aprovecha el recurso para obras de construcción, sin embargo adicional existen zonas naturales donde en ambos casos la utilización de filtros es importante debido a que proveen estabilidad en grandes masas de suelo manteniendo las características óptimas de humedad y saturación que requiere el suelo y provee seguridad de la zona para los habitantes que circulan alrededor.

En Guatemala no existe un documento que se pueda utilizar para el diseño de filtros de grava y filtros de geotextil para suelos y su comparación. En diferentes casos donde se utilicen suelos es importante trabajar filtros debido a que no se puede permitir el arrastre de partículas de los mismos ya que provoca la inestabilidad y esto inseguridad y peligro para la población cercana.

La mayoría de empresas que tienen que ejecutar un proyecto donde sean necesarios filtros se basan en cotizaciones de filtros con geotextil y filtros de grava el cual únicamente comparan los costos que les presentan y toman la decisión de qué tipo de filtro van a utilizar. Sin hacer consideraciones de cálculo, o sin tener un documento técnico que les indique como deben ellos calcular el diseño y costo de cada tipo de filtros y verificar cual es el adecuado según el caso que se tenga y de allí tomar la decisión del filtro a utilizar en función de sus prestaciones y su relación costo beneficio.

OBJETIVOS

General

1. Diseñar filtros de grava y filtros de geotextil para suelos.

Específicos

1. Determinar la diferencia entre filtros de grava y filtros de geotextil para un suelo
2. Determinar la efectividad y utilización de filtros de grava y filtros de geotextil para un suelo.
3. Establecer las propiedades que deben cumplir los filtros para un suelo.
4. Determinar los parámetros de permeabilidad de un suelo y condiciones de un filtro para suelos.
5. Establecer las diferencias metodológicas y cálculo de filtros de geotextil y filtros de grava.
6. Determinar cuándo es más económico un sistema de filtro de grava respecto a un sistema de filtro de geotextil.

INTRODUCCIÓN

Los filtros son elementos esenciales en la mayoría de las estructuras de retención construidas con suelos. Sirven para obtener la red de flujo deseada y evitar la erosión. El arrastre de partículas en una masa de suelo ocasiona erosión y se producen cárcavas, esto produce grandes problemas de inestabilidad. Son elementos que se usan en estructuras de suelo el cual tiene como función conducir el agua que existe en la zona aportando estabilidad.

El suelo es el material de construcción que está compuesto por partículas cada una con sus propiedades; por condiciones naturales están sometidos a su desprendimiento y arrastre. La homogenización y consolidación de un suelo lo hace resistente a fuerzas que son ejercidas naturalmente a un suelo y a efectos naturales, la utilización de filtros es efectiva debido a que únicamente permiten que circule el agua en una masa de suelo sin que exista un arrastre o una pérdida de un volumen de partículas en el suelo ya que el volumen de material de arrastre aumenta y se provocan cárcavas que conforme transcurre el tiempo son grandes y esto seguidamente son puntos de debilidad e inestabilidad en un suelo.

Se plantea el diseño y comparación de filtros de grava y filtros de geotextil para suelos, con el propósito de evaluar diseño y costos; para poder brindar soluciones eficientes de acuerdo a las aplicaciones. Se indica el procedimiento y parámetros de diseño y con ello determinar la mejor opción del filtro que se debe utilizar.

El lector encontrará una hoja electrónica que está elaborada en base a los criterios de diseño para filtros de grava y filtros de geotextil para suelos, donde se deben ingresar las características y datos del tipo de suelo. Luego de procesada la información, se obtendrán los diseños de los filtros que provean la mejor función según el caso.

Se muestra la comparación en un caso específico con ambas opciones, trabajando el filtro con material granular, y con la opción de filtro de geotextil, donde se determina qué tipo de filtro es el adecuado a utilizar en este caso.

1. COMPORTAMIENTO DE UN SUELO

Si examinamos un puñado de arena de playa, se advierte a simple vista que el suelo se compone de granos independientes. Lo mismo puede decirse de todos los suelos, aunque muchas partículas de suelos son tan pequeñas que se requieren las técnicas microscópicas más refinadas para distinguirlas. Las partículas de suelo son sólidas y no se pueden mover con la misma facilidad que los elementos de un fluido. Así pues, el suelo es intrínsecamente un sistema de partículas. Esta es la propiedad básica que distingue la mecánica de suelos de la mecánica de sólidos y fluidos.

La deformación general de una masa de suelo será, en parte, el resultado de las deformaciones individuales y, en parte, la consecuencia del deslizamiento relativo entre partículas. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que la contribución principal a la deformación general se debe al deslizamiento entre partículas, junto con la reorganización de las mismas. El esqueleto mineral del suelo por lo regular es bastante deformable, debido al deslizamiento y reorganización de las partículas, aun cuando las partículas individuales sean muy rígidas.

De allí, la primera consecuencia de la naturaleza discontinua del suelo: la deformación de una masa de suelo viene controlada por las interacciones entre partículas individuales, especialmente por el deslizamiento entre las mismas. Debido a que el deslizamiento es una deformación no lineal e irreversible, se puede esperar que el comportamiento esfuerzo-deformación del suelo también sea marcadamente no lineal e irreversible. Además, el estudio de los fenómenos producidos en los puntos de contacto resulta fundamental para el estudio de los suelos e inevitablemente tendremos que ocuparnos de conceptos tales como la fricción y adhesión entre partículas.

Por supuesto, en una masa de suelo existe un sinnúmero de puntos de contacto individuales. Por ejemplo, en 1 cm^3 de arena fina, el número de contactos será del orden de 5 millones. Por tanto, es imposible plantear una ley esfuerzo-deformación de un suelo, considerando el comportamiento en los contactos, aunque pudiéramos describir exactamente lo que sucede en cada uno de ellos. Por esta razón, es necesario basarse en medidas de experimentación directa sobre las propiedades de sistemas con gran número de partículas.

Si el volumen de suelo está dentro de paredes rígidas, el suelo normalmente disminuirá de volumen al aumentar la carga. Esta disminución de volumen se produce debido a que las partículas se van encajando, acortando sus distancias. Se producen roturas tangenciales o de corte (deslizamientos) en muchos puntos de contacto, pero no existe una rotura general por corte de la masa de suelo. La carga aplicada, la masa de suelo aumentará de volumen a través de un proceso inverso que supone una redistribución de las partículas. Este proceso de aumento de volumen se denomina expansión o en algunos casos, hinchamiento.

Si, por otra parte, el volumen de suelo está entre paredes flexibles, puede producirse una falla por corte general. La falla se produce a cierta carga vertical y ésta se relaciona con la resistencia al esfuerzo cortante del suelo. Esta resistencia está denominada por la resistencia al deslizamiento entre las partículas que tienden a desplazarse unas respecto a otras. (Lambe y Whitman, 1984, pág. 32-37)

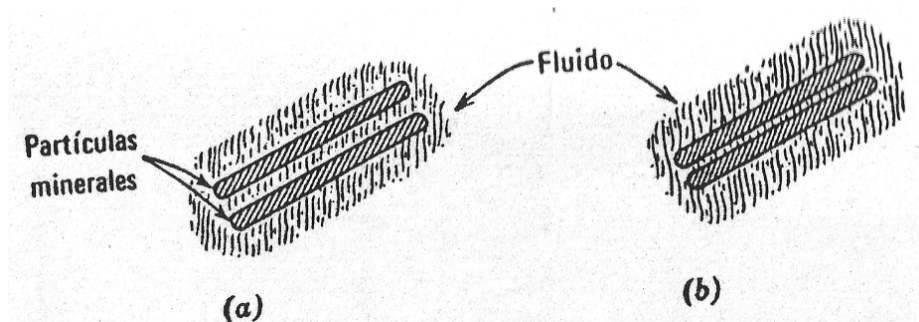


FIGURA 1

Películas de líquido rodeando partículas de suelo. a) Antes de aplicar carga. b) Reducción de la separación entre partículas por efecto de la carga. (Lambe y Whitman, 1984 pág. 33)

1.1. Características del conjunto de partículas en un suelo

Se consideran en este capítulo las características morfológicas de un conjunto de partículas. Se dan relaciones entre las diferentes fases que son correspondientes a un conjunto y elementos de la distribución de las mismas. Las relaciones entre fases tienen una amplia aplicación en la mecánica de suelos para el cálculo de esfuerzos.

RELACIONES ENTRE LAS FASES DEL SUELO

Por tratarse de un sistema discontinuo de partículas, un elemento de suelo constituye intrínsecamente un sistema de varias fases. La figura 2.a muestra un elemento típico de suelo que contiene 3 fases diferenciadas: sólida (partículas minerales), gaseosa y líquida (agua generalmente). La figura 3, representa las 3 fases como podrían presentarse en un elemento de suelo natural. En la parte (b) se han separado las fases con el fin de facilitar la deducción de las relaciones entre ellas. A la izquierda de la figura, las fases se han expresado en volumen, mientras que a la derecha lo han sido en peso.

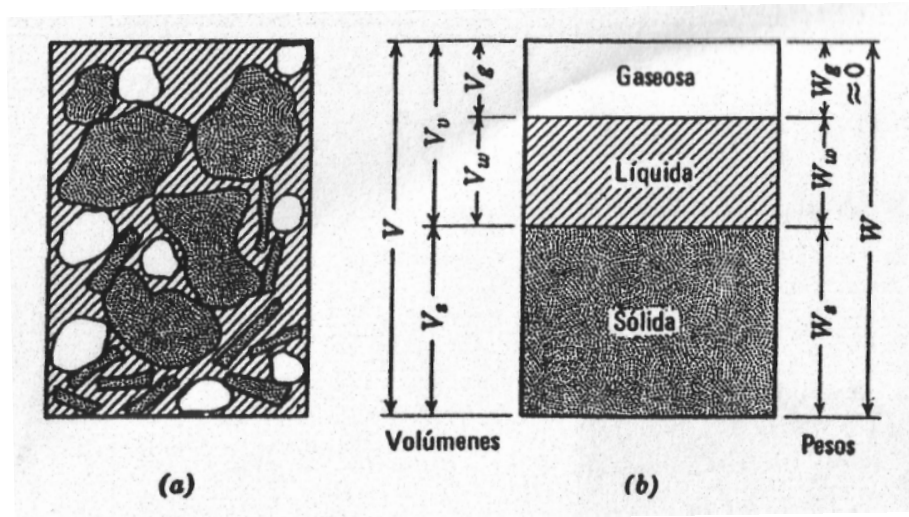


FIGURA 2

Relaciones entre las fases de un suelo. a) Elemento de suelo natural. b) División de un elemento en fases. (Lambe y Whitman, 1984, pág. 42)

Debajo de la figura 2 se dan las expresiones que relacionan las distintas fases. Existen tres importantes relaciones de volumen: porosidad, relación de vacíos. La porosidad es la relación entre el volumen de huecos y el volumen total, mientras que la relación de vacíos es el cociente entre el volumen de huecos, poros o vacíos y el de partículas sólidas. La porosidad en el suelo se multiplica generalmente por 100, dándose así los valores en porcentaje. La relación de vacíos se expresa en números decimales (por ejemplo, una relación de vacíos de 0.55). La relación de vacíos indica el porcentaje de poros en una muestra de suelo. Este volumen de vacíos está lleno de un fluido, gaseoso o líquido, pero en general se trata de agua. Aunque los dos términos se emplean en mecánica de suelos, se usa más la relación de vacíos. Existen las siguientes relaciones entre porosidad y la relación de vacíos.

El grado de saturación indica el porcentaje de volumen de huecos que está relleno de agua. Así pues, un valor de $S=0$, indica un suelo seco, $S=100\%$ corresponde a un suelo saturado y un valor comprendido entre 0 a 100% , indica un suelo semisaturado o parcialmente saturado. La humedad de una muestra de suelo se obtiene directamente por el siguiente método: se pesa el suelo natural; se seca en una estufa; se pesa el suelo seco y por último se calcula la humedad, como diferencia entre los pesos inicial y seco, dividida por el peso seco. Este método supone que el agua es el único producto evaporable del suelo, lo

cual es razonable, excepto cuando se trabaja con suelos orgánicos o suelos que contienen volátiles como el asfalto. Para un suelo saturado, la humedad y la relación de vacíos están directamente relacionadas.

La figura 3 muestra dos de las muchas formas en que puede disponerse un sistema de esferas iguales, (estibaciones o agrupaciones). Las agrupaciones compactas representan el estado más cerrado posible del sistema. Pueden obtenerse sistemas aun menos compactos que la simple agrupación cúbica formando con cuidado cavidades dentro de la estructura, pero la agrupación cúbica simple es la menos compacta de todas las agrupaciones estables.

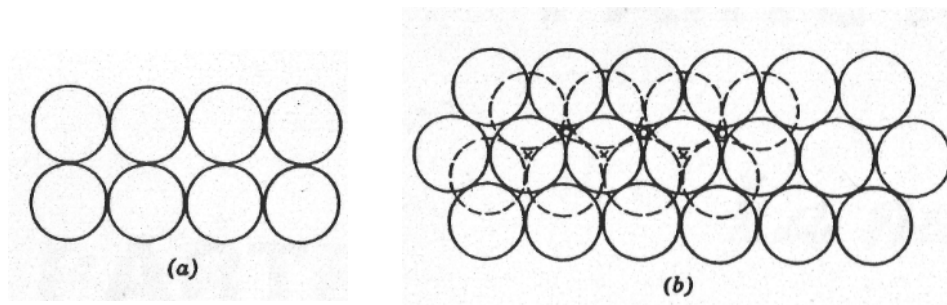


FIGURA 3

Agrupaciones de esferas iguales. a) Planta y alzado de una agrupación, cúbica. b) Planta de una agrupación compacta. Primera capa: círculos de línea continua; segunda capa: círculos de trazos; o señala la posición de los centros de las esferas de la tercera capa en una disposición cúbica de caras centradas y x, en una disposición hexagonal compacta. (Lambe y Whitman, 1984, pág. 43)

Mediante métodos especiales pueden obtenerse compacidades superiores a la denominada compacidad máxima. Compacidades considerablemente inferiores a la mínima pueden también obtenerse, en especial en arenas muy finas y limos, sedimentando lentamente el suelo en agua o esponjando el suelo en presencia de una ligera humedad. (Lambe y Whitman, 1984, pág. 41-54)

Cuanto menor es la gama de tamaños de las partículas presentes (es decir, cuanto más uniforme es el suelo) y cuanto más pequeñas y angulosas son las partículas, menor es la compacidad mínima (es decir, mayor es la oportunidad de formar una agrupación floja de partículas). Cuanto mayor es la gama de tamaños presente, mayor será la compacidad máxima (es decir, los huecos entre las partículas más gruesas pueden rellenarse con las más pequeñas). Una magnitud muy empleada para caracterizar la compacidad de un suelo granular natural es la compacidad relativa. (Lambe y Whitman, 1984, pág. 41-54).

1.2.Principio de la mecánica de las aguas en los suelos

Para comprender cómo actúa el agua en un suelo, se debe conocer la siguiente subdivisión basada en su contenido de humedad. (Figura 4)

Zonas de humedad en un suelo

Lo que se encuentra por encima de la superficie freática se denomina zona de aireación o zona vadosa. La humedad en ella puede estar distribuida de un modo irregular, pero esquemáticamente podemos distinguir tres subzonas:

Subzona de Evapotranspiración. Es la afectada por este fenómeno. Puede tener desde unos pocos centímetros, si no existe vegetación, hasta varios metros.

Subzona capilar, sobre la superficie freática. El agua ha ascendido por capilaridad, su espesor es muy variable, dependiendo de la granulometría de los materiales.

Subzona intermedia, entre las dos anteriores. A veces inexistente, a veces de muchos metros de espesor.

En toda la zona vadosa puede haber agua gratuita que aun no ha descendido o contener agua por capilaridad. En la subzona capilar, la humedad forma una banda continua, mientras que en el resto estará irregularmente repartida. (Dingman, 1994, pág. 25-50)

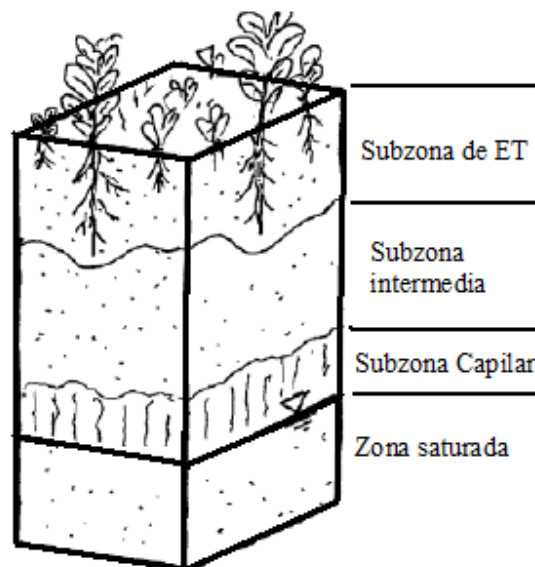


FIGURA 4

Zonas donde es infiltrada el agua en el suelo, zona de aireación o vadosa. (Dingman, 1994, pág. 28)

1.3. Cómo actúa el agua en un suelo

El agua en un suelo actúa según las propiedades mecánicas y físicas que tenga.

El agua procedente de las precipitaciones, que comienza a ser absorbida y a moverse hacia el interior del suelo, se conoce como agua de infiltración. Conforme sigue lloviendo (o continuamos regando) el agua va ocupando todos los poros y se va moviendo hacia abajo por el perfil del suelo. La que se mueve por los poros de mayor tamaño (macro poros de más de 10 micras de diámetro) es arrastrada por la fuerza de la gravedad y es conocida como agua de gravitación.

Esta agua, si llueve mucho o los riegos son excesivos, atraviesa el perfil del suelo hasta llegar a las capas freáticas profundas. En el caso de que se encuentre con obstáculos, como una capa impermeable en los horizontes inferiores del suelo (generalmente una capa rica en arcillas u horizontes endurecidos: “cretas”) y si la pendiente es débil o nula, se forma una capa de agua suspendida temporal. Esta capa saturada de agua se mantiene sólo durante los períodos húmedos, agotándose en los secos. Se trata de las conocidas charcas.

La mayor parte del agua de gravitación, la denominada de flujo rápido, drena durante las primeras horas a través de las grietas y poros más grandes (mayores de 50 micras de diámetro). Otra parte, la de flujo lento, puede tardar varios días en descender a través de los macro poros de menor tamaño (entre 50 y 10 micras). Al cabo de unos días, cuando ya ha drenado el agua de gravitación, el suelo presenta una determinada humedad o capacidad de retención de agua. Esta agua es la que se queda en los poros más pequeños (micro poros menores de 10 micras de diámetro). Se queda retenida por las fuerzas de adsorción que aparecen entre las partículas y las delgadas capas de agua que se encuentran en estos micro poros (es la misma fuerza que hace que las gotas de agua que se queden pegadas a los cristales y la que permite que el agua suba por los tubos de pequeño diámetro o capilares).

Esta agua retenida, después de que ha drenado el agua gravitacional, la podemos dividir en: agua capilar y agua ligada. El agua capilar es la fracción del agua retenida por el suelo que puede ser absorbida por las raíces de las plantas, mientras que el agua ligada forma una capa tan fina alrededor de las partículas del suelo y está tan fuertemente unida a ellas que no puede ser aprovechada por las plantas. En las arcillas, el agua queda adherida a las moléculas y tiene dificultad de fluir entre ellas. (Figura 5)

En la figura 6 se muestra el flujo de agua subterránea en un medio anisotrópico, donde la permeabilidad horizontal es mayor que la vertical.

En la figura 7 se presenta un medio poroso con permeabilidad primaria producida por la integración de los granos, mientras que en la figura 8 se presenta un medio fracturado, donde las fracturas producen una permeabilidad secundaria, que además es

favorecida por la ampliación de las grietas que produce la disolución de agua. La anisotropía del material granular juega un papel importante en la definición de la variación del flujo horizontal y vertical. En la figura 9 se observa un material isotrópico y uno anisotrópico. En el material anisotrópico el flujo horizontal será el mayor respecto al vertical.

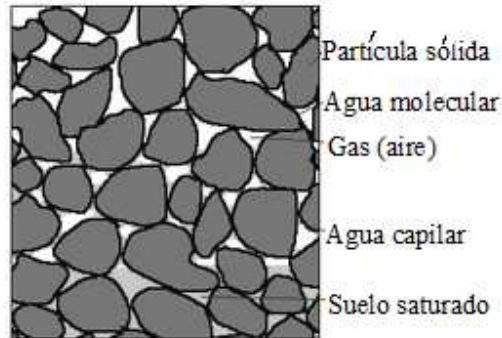


FIGURA 5
Estados del agua en el suelo (Chow, 1988, pág. 635)

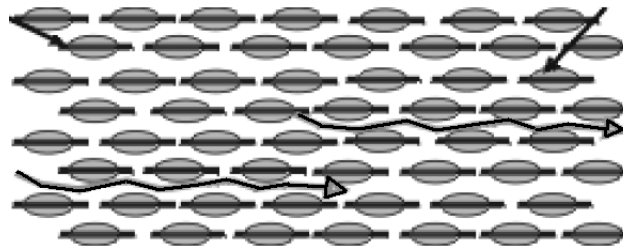


FIGURA 6
Se muestra el flujo de agua subterránea en un medio anisotrópico donde la permeabilidad horizontal es mayor que la permeabilidad vertical. (Chow, 1988, pág. 416)

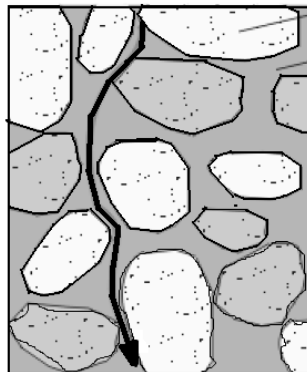


FIGURA 7
Se presenta un medio poroso con permeabilidad primaria producida por la integración de los granos, (Chow, 1988, pág. 450)

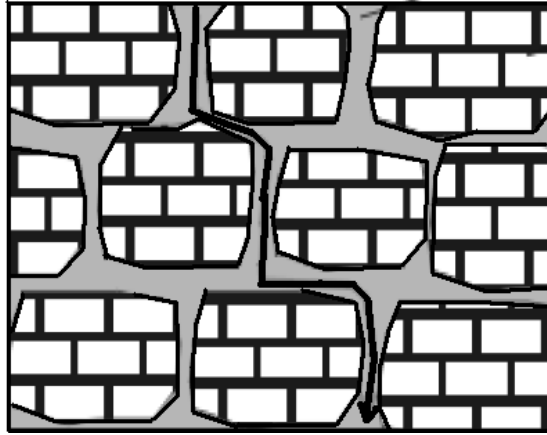


FIGURA 8

Se presenta un medio fracturado, donde las fracturas producen una permeabilidad secundaria, que además, es favorecida por la ampliación de las grietas que produce la disolución del agua. (Chow, 1988, pág. 475)

La anisotropía del material granular, juega un papel importante en la definición de la variación del flujo horizontal y vertical. En la figura 9 se observa un material isotrópico y uno anisotrópico. En el material anisotrópico el flujo horizontal será el mayor.

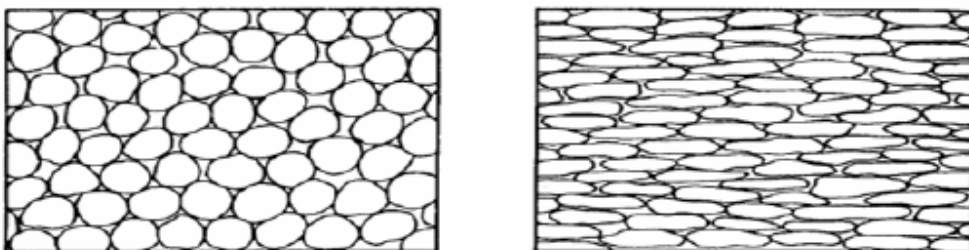


FIGURA 9

Formaciones acuíferas isotrópicas y anisotrópicas. (Chow, 1988, pág. 510)

1.4.Revisión de los fundamentos de agua en los suelos

El suelo, desde el punto de vista hidrológico, es un depósito o almacén de agua cuya capacidad para retenerla y contenerla depende de sus propiedades físicas.

Por funcionalidad

- Suelos arenosos: no retienen el agua, tienen muy poca materia orgánica y no son aptos para la agricultura, ya que por eso son tan coherentes.
- Suelos calizos: tienen abundancia de sales calcáreas, son de color blanco, seco y árido, y no son buenos para la agricultura.
- Suelos humíferos (tierra negra): tienen abundante materia orgánica en descomposición, de color oscuro, retienen bien el agua y son excelentes para el cultivo.
- Suelos arcillosos: están formados por granos finos de color amarillento y retienen el agua formando charcos. Si se mezclan con humus pueden ser buenos para cultivar.
- Suelos pedregosos: formados por rocas de todos los tamaños, no retienen el agua y no son buenos para el cultivo.
- Suelos mixtos: tienen características intermedias entre los suelos arenosos y los suelos arcillosos.

Por características físicas

- Litosoles: se considera un tipo de suelo que aparece en escarpas y afloramientos rocosos, su espesor es menor a 10 cm y sostiene una vegetación baja, se conoce también como leptosales, que viene del griego leptos, que significa delgado.
- Cambisoles: son suelos jóvenes con proceso inicial de acumulación de arcilla. Se divide en vértigos, gleycos, eutrícos y crómicos.
- Luvisoles: presentan un horizonte de acumulación de arcilla con saturación superior al 50%.
- Acrisoles: presentan un marcado horizonte de acumulación de arcilla y baja saturación de bases al 50%.
- Gley soles: presentan agua en forma permanente o semipermanente, con fluctuaciones de nivel freático en los primeros 50 cm.
- Fluvisoles: son suelos jóvenes formados por depósitos fluviales, la mayoría son ricos en calcio.
- Rendzina: presenta un horizonte de aproximadamente 50 cm de profundidad. Es un suelo rico en materia orgánica sobre roca caliza.
- Vertisoles: son suelos arcillosos de color negro, presentan procesos de contracción y expansión, se localizan en superficies de poca pendiente y cercanos escurrimientos superficiales.
- El suelo como sistema ecológico.

Tipos de líquido en el suelo.

- La primera, está constituida por una película muy delgada, en la que la fuerza dominante que une el agua a la partícula sólida es de carácter molecular, y tan sólida que esta agua solamente puede eliminarse del suelo en hornos de alta temperatura. Esta parte del agua no es aprovechable por el sistema radicular de las plantas.
- La segunda es retenida entre las partículas por las fuerzas capilares, las cuales, en función de la textura pueden ser mayores que la fuerza de la gravedad. Esta porción del agua no percola, pero puede ser utilizada por las plantas.
- Finalmente, el agua que excede al agua capilar, que en ocasiones puede llenar todos los espacios intersticiales en las capas superiores del suelo, con el tiempo percola y va a alimentar los acuíferos más profundos. Cuando todos los espacios intersticiales están llenos de agua, el suelo se dice saturado. (Dingman, 1994, pág. 97)

1.5.Movimiento del agua en el suelo

El movimiento del agua en el suelo se rige por distintas leyes, según la importancia relativa de las diferentes fuerzas en presencia de la humedad del suelo.

Primer caso. Cuando el contenido de humedad en el suelo es superior a la capacidad de retención, es decir, el suelo está totalmente saturado de humedad, el movimiento del agua se rige por la gravedad. En esta situación, la permeabilidad es la propiedad que define la mayor o menor facilidad con la cual se realiza este movimiento.

Segundo caso. Cuando el contenido de humedad es inferior a la capacidad de retención, el movimiento del agua se rige por difusión capilar hasta llegar al contenido de humedad que señala el punto de marchitez y, pasando este, el desplazamiento del agua está regido por la evaporación. La representación grafica del movimiento del flujo del agua subterránea en suelo o en macizo rocoso, se conoce como redes de flujo. Algunas características de las redes de flujo son las siguientes: (ver figuras 10 y 11)

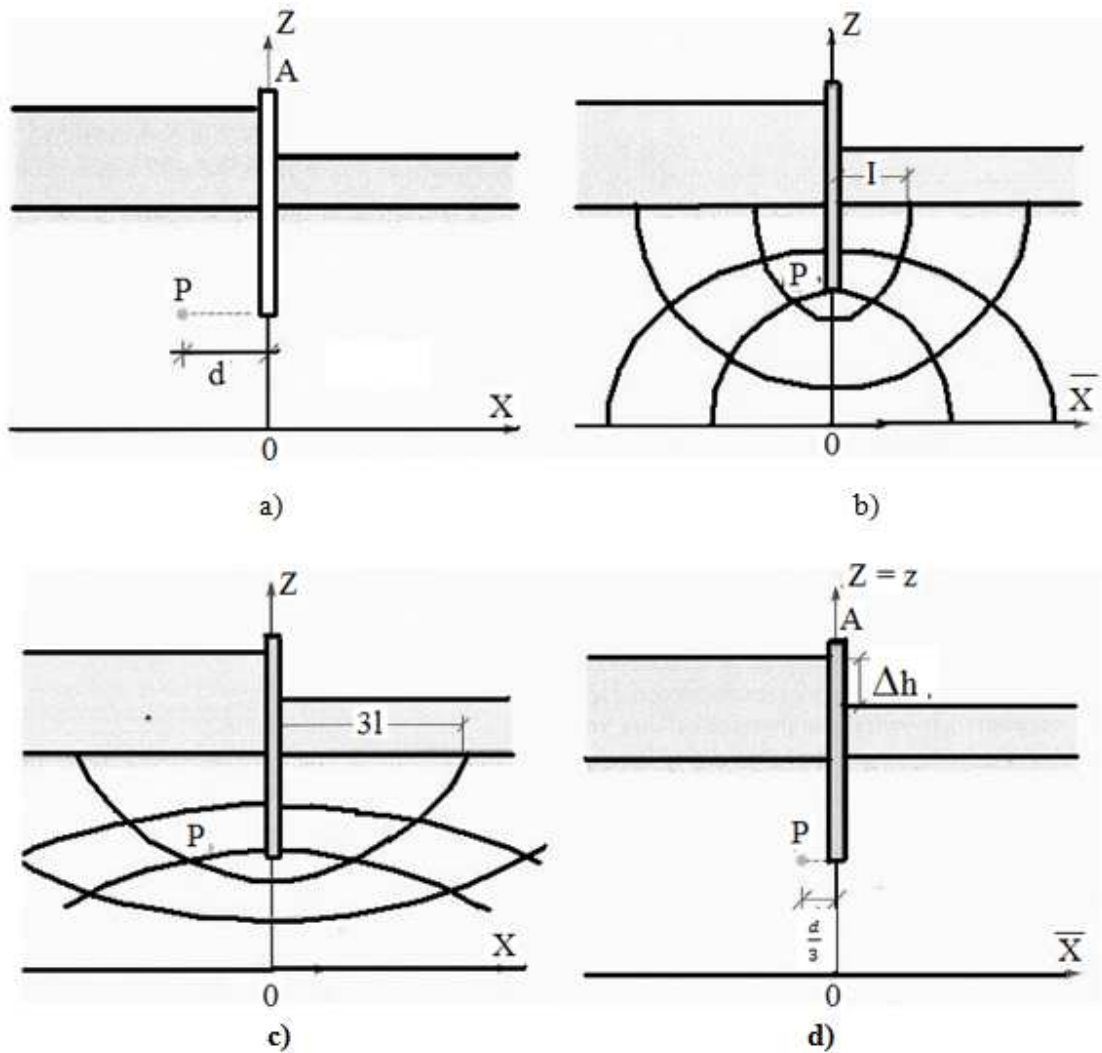


FIGURA 10

a)Espacio natural del flujo, b)Espacio transformado del flujo, c) Cambio a espacio real (red real) transformado, d) Dibujo de red en espacio (González, 2002, pág. 37)

La presión del agua aumenta con la profundidad a lo largo de una línea equipotencial.

El cálculo de redes de flujo se puede realizar por varias técnicas matemáticas, por ejemplo: métodos gráficos, elementos finitos, cálculos analógicos y diferencias freáticas. En la figura 10 se presenta un ejemplo de líneas de flujo en una tablestaca.

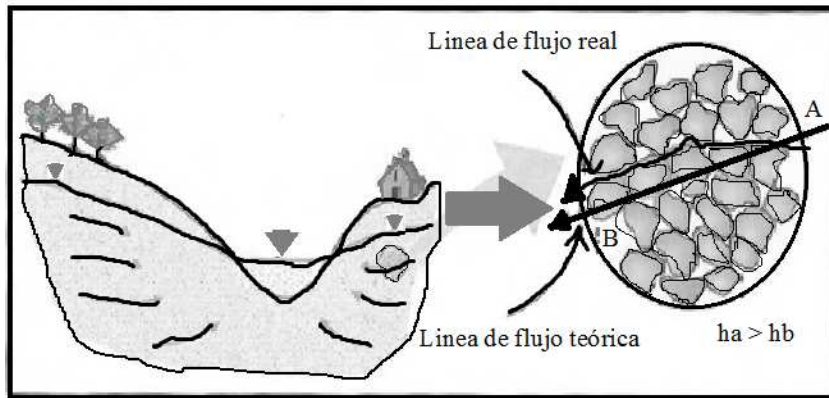


FIGURA 11
Trayectorias de filtración en el suelo (González, 2002, pág. 30)

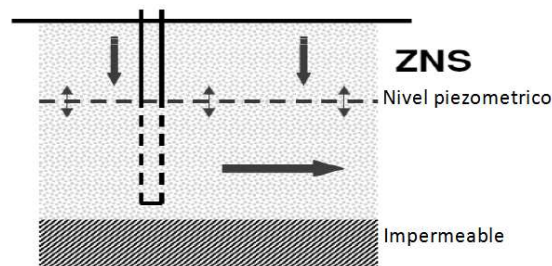


FIGURA 12
Acuífero libres. Existencia de zona no saturada, nivel piezométrico real, superficie libre de agua a presión atmosférica, recarga directa. (Price, 2003, pág. 341)

1.6. Niveles de agua en un suelo

Los niveles de agua en un suelo son variables debido a las propiedades físicas del mismo. Estos volúmenes de almacenamiento tienen los siguientes nombres; acuíferos, acuitar dos, acuícludos, acuífugos, según las características que provee la formación geológica. (ver figura 11 y 12)

En la figura 12 se muestran acuíferos confinados y libres. En los acuíferos confinados el agua se encuentra a presión que al perforar la capa permeable pueden producir un pozo surgente.

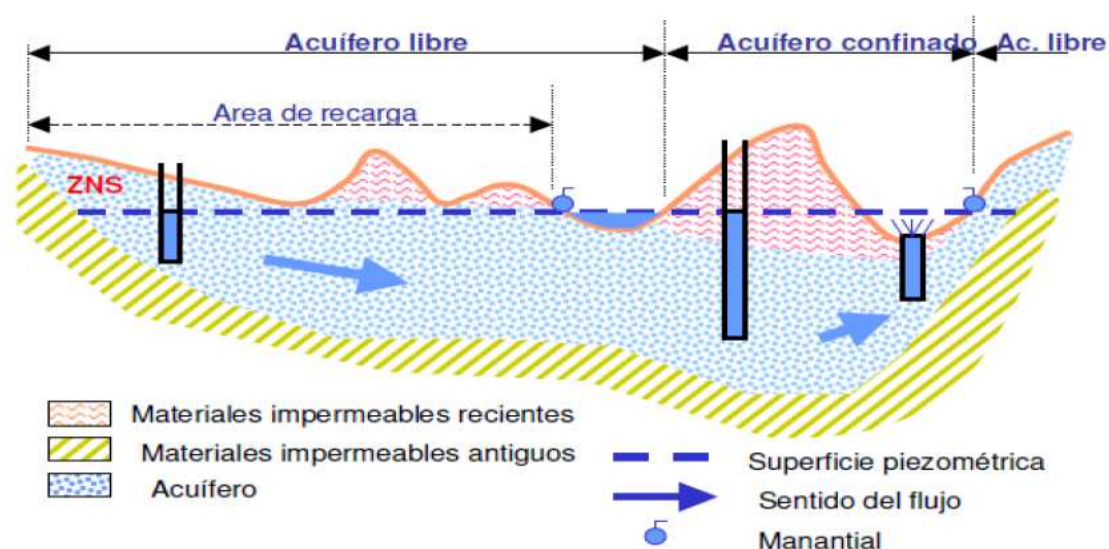


FIGURA 13

Relaciones entre acuíferos (González, 2002, pág. 52)

1.7. Tipos de flujo de agua en un suelo

El flujo en un suelo puede ser horizontal y vertical.

Flujo vertical

En lo que respecta a las condiciones de flujo vertical por este medio estratificado, es sencillo comprender que el caudal que circula por medio de cualquier sección horizontal del depósito resulta constante (en ausencia de fuentes o sumideros), y por lo tanto también lo será la velocidad.

Flujo Horizontal

En este caso, es el gradiente es el que ha de resultar el mismo para cualquier sección vertical del depósito de suelo.

Líneas de flujo

Son los caminos seguidos por el agua al fluir a través del suelo o roca saturada.

Líneas equipotenciales:

Son líneas que unen puntos en los cuales la cabeza de agua es la misma.

1.8. Cómo aporta la lluvia agua en un suelo

Mediante del ciclo hidrológico, la lluvia es la fuente principal para el aporte de agua en los suelos, el cual por medio de la infiltración se convierte en un volumen grande de agua en un suelo, esto produce presión de poro e inestabilidad en las masas de suelo. La cantidad de precipitación anual, en un periodo prolongado es un dato necesario, el cual reflejara la cantidad de agua de carga y recarga del agua subterránea. También deben ser consideradas las fuentes como son lagos y ríos que proporcionaran flujo de recarga al agua subterránea, particularmente si la permeabilidad de la roca es altamente anisotrópica.

La mayor parte de la precipitación cae sobre los océanos o la tierra, donde, debido a la gravedad, fluye sobre la superficie. Una parte del agua entra en los ríos a través de valles en el paisaje, y la corriente mueve el agua hacia los océanos. El agua filtrada pasa a las aguas subterráneas, que se acumulan y son almacenadas como agua dulce en lagos. No toda el agua fluye por los ríos. La mayor parte de ella empapa la tierra como infiltración. Un poco de agua se infiltra profundamente en la tierra y rellena acuíferos (roca subsuperficial saturada), que almacenan cantidades enormes de agua dulce durante períodos largos de tiempo. Algunas infiltraciones permanecen cerca de la superficie de la tierra y pueden emerger, acabando como agua superficial (y oceánica). Algunas aguas subterráneas encuentran grietas en la tierra y emergen. Con el tiempo, el agua sigue fluyendo, para entrar de nuevo en el océano, donde el ciclo se renueva. (figura 14)

El tiempo que puede llevar el transporte del flujo de agua depende de los materiales del suelo, si un material no es poroso puede recargarse en miles de años, mientras que un material más permeable lo hace en menos tiempo (figura 15).



FIGURA 14
 Cómo aporta la lluvia agua en el suelo en (Servicio Geológico de Estados Unidos, <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>)

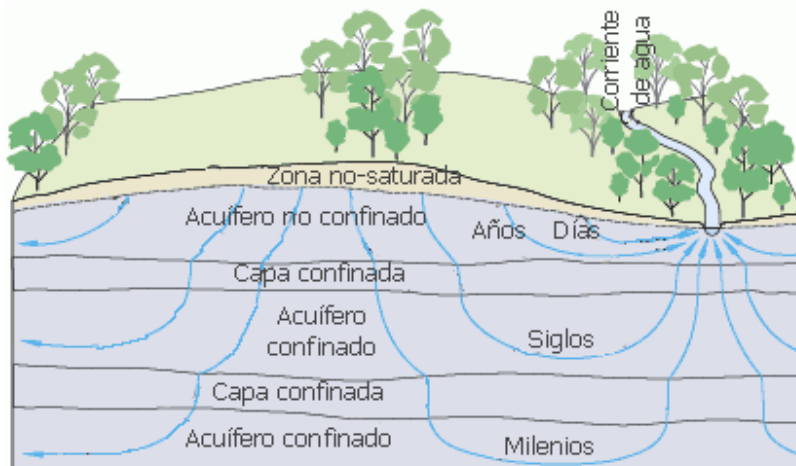


FIGURA 15
 Cómo fluye el agua subterránea bajo la superficie, en (Servicio Geológico de Estados Unidos, <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>)

Efectos del agua en suelo y en rocas

Quizá el efecto más importante a considerar con la presencia de agua en un suelo, es la reducción en la estabilidad resultante de la presión de agua dentro de las discontinuidades, dentro de la roca.

El efecto de la presión de agua en una fractura de tensión:
la forma más sencilla de observar el efecto del agua en una fractura, es observar el efecto combinado, que produce la presión del agua al levantar un bloque (sub presión) y empuje en la componente horizontal, al actuar en una fractura vertical.

La presión de agua se incrementa linealmente con la profundidad y totaliza una fuerza debido a la presión que actúa. Al asumir que la presión de agua se transmite a través de la intersección de la fractura de tensión y la base del bloque, la distribución de la presión de agua en el bloque. La presión en la base del bloque resulta en una fuerza de levantamiento la cual reduce la fuerza normal que actúa a través de la superficie del bloque.

La fuerza del agua aumenta la tendencia del deslizamiento hacia abajo sobre el plano y que la fuerza fraccional que resiste el deslizamiento es disminuida. Las presiones resultantes del agua en las fracturas y grietas son pequeñas, sin embargo, actúan sobre grandes áreas, lo que hace que las fuerzas resultantes de la presión de agua sean considerablemente altas. Por tal razón la fuerza que resulta del levantamiento (sub presión) y empuje de la presión del agua es crítica para controlar la estabilidad de taludes de roca y suelo, en (USGS, 1995)

1.9. Control del agua en suelos y rocas

El agua que se encuentra en un suelo o roca se puede controlar o conducir a través de diferentes métodos constructivos, que consisten en filtros, drenajes, y otros; que tienen como función eliminar la presión de poro y conducción del agua, debido a que son factores que provocan inestabilidad en una masa de suelo.

El control y estabilización de un suelo consiste en modificar algunas de sus características indeseables para el propósito de uso que queremos darle a dicho suelo. Entonces, se debe analizar y diseñar la mejor opción de control o estabilización del suelo según el uso que se le vaya a dar.

Para el control del macizo rocoso debe tomarse en cuenta la litología, el espaciamiento, la abertura, la presencia de relleno y estriaciones, la rugosidad, el flujo de agua subterránea, el tamaño de bloque formado por las diferentes familias de discontinuidades. Se deben tomar en cuenta los lineamientos para la caracterización

descriptiva de los diferentes tipos de discontinuidad en cuanto a su distribución espacial, rugosidad, relleno de aberturas, y tamaño de bloque. Los cambios en el contenido de humedad pueden originar presiones de expansión peligrosas. Un ejemplo típico son las rocas que contienen minerales arcillosos del grupo de la montmorillonita, los cuales tienen baja resistencia al corte y desarrollan presiones de expansión muy altas. La circulación del agua, en cualquier medio en que se encuentre depende de la acción de diversas fuerzas: unas tienden a retenerla en su lugar y otras tienden a expulsarla de donde está. En términos generales se cumple que:

- La retención de agua en un medio es tanto más intensa cuanto más seco está el medio.
- La circulación del agua tiene lugar desde el medio más húmedo hacia el más seco.

Cuando a un suelo saturado, se le deja drenar, el agua sobrante se obtiene o garantizar mayor estabilidad y control de la masa de suelo. (Sanz, 1975, pág. 90)

1.10. Capilaridad en suelos

Aplicación a un suelo

Hay que señalar que la capilaridad de un suelo no puede estudiarse si éste está saturado, contrariamente a lo que ocurre al estudio de la permeabilidad. Si reemplazamos el tubo en el ensayo de permeabilidad, por una muestra de suelo, el agua del recipiente será absorbida en parte por el suelo y subirá al interior de la muestra gracias a los pequeños canales capilares formados por los huecos intersticiales del suelo.

Esta propiedad es muy importante en geotécnica de carreteras. En efecto, siempre se trata de impedir la succión por capilaridad en un tramo de calzada. Según sea el terreno de la cimentación y los materiales componentes de la calzada, se puede prever la colocación de una subcapa que separe el terreno natural de la calzada, destinada a no dejar pasar las succiones capilares y a drenar el agua. Para que esta subcapa pueda desempeñar su misión, es necesario que posea canales (formados por los huecos intersticiales) de grandes dimensiones. Hemos visto que h_c es inversamente proporcional a r ; luego, aumentado r disminuye h_c . Consideremos ahora dos granos elementales de suelo en contacto y que retienen una cierta cantidad de agua por capilaridad (ver figura 16).

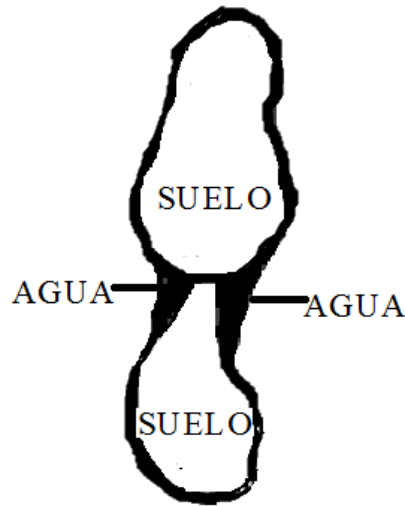


FIGURA 16

El punto de contacto de los granos, está inmerso en el agua capilar (Sanz, 1975, pág. 83)

El punto de contacto de los granos está inmerso en el agua capilar, y por lo tanto se encuentra a una presión inferior a la presión atmosférica. Por consiguiente, el agua retenida por la capilaridad produce el efecto de juntar los granos unos contra otros y como consecuencia, la resistencia del suelo aumenta.

Medida de la succión capilar

Existen diversos medios de laboratorio para medir h_c ; pero son bastante complejos, al menos en su aplicación; por eso nos limitaremos a describir un ensayo en obra, o más bien un ensayo “in situ”.

Se dispone un tubo doblado (ver figura 17) que contiene agua y cerrado por una columna de mercurio. El extremo introducido en el suelo está obturado por una capsula estanca al aire, pero que deja pasar el agua. Se introduce el tubo en el suelo. Suponiendo que los niveles de mercurio están a la misma altura al principio del ensayo, se observa que después de un tiempo dado, existe una diferencia de nivel h . La succión capilar es entonces igual a $13.6h$ que es el peso específico del mercurio, se calcula a través de la ecuación (1.1)

$$h_c = 13.6h \quad (1.1)$$

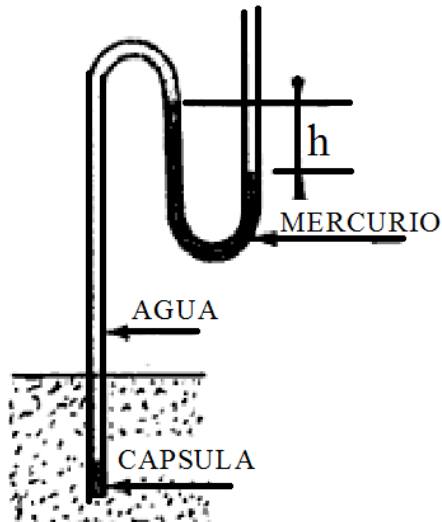


FIGURA 17

Ensayo de medición de h_c para determinación de capilaridad (Sanz, 1975, pág. 83)

1.11. Flujo unidimensional y Flujo Bidimensional

Se estudia el flujo de fluidos (principalmente agua) a través del terreno. Es necesario conocer los principios del flujo de fluidos para resolver los problemas correspondientes a) la velocidad a que el agua fluye a través del suelo. Por ejemplo para determinar el caudal de fugas a través de una presa de tierra, b) a la consolidación, por ejemplo para calcular la velocidad de asentamiento de una cimentación) y c) la resistencia (por ejemplo para el cálculo de los factores de seguridad de un terraplén). Se resalta la influencia del flujo sobre el suelo a través del cual se produce en particular en lo referente a los esfuerzos efectivos.

Como los poros de un suelo están aparentemente comunicados entre sí, el agua puede fluir a través de los suelos naturales, más compactos. Así pues, en una columna del suelo, como la que se muestra en la figura 18, el agua puede circular del punto A al B una línea recta a velocidad constante, sino más bien un camino ondulado de un poro a otro, como el representado por la línea continua de la figura. 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 al B, según una línea recta con una determinada velocidad efectiva.

Deben considerarse las tres cargas siguientes en los problemas de flujo de un fluido a través de un suelo:

- Carga de presión, h_p = La presión dividida por el peso específico del fluido.
- Carga de altura o geométrica, h_g = Distancia a un plano de comparación.
- Carga total, $h = h_p + h_g$ = **Suma de la carga de altura y la de presión.** (1.2)

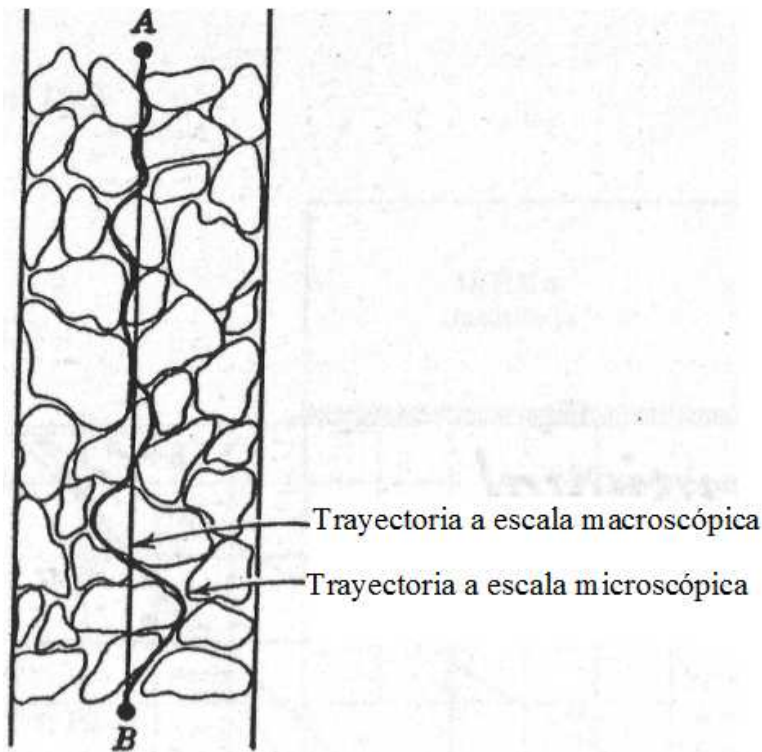


FIGURA 18

Trayectoria del flujo de agua en un suelo (Lambe y Whitman, 1984, pág. 268)

LEY DE DARCY

Alrededor de 1850, H Darcy trabajando en Paris, realizó un experimento clásico. Utilizó un dispositivo semejante al que aparece en la figura 19 para estudiar las propiedades del flujo del agua a través de un lecho filtrante de arenas. Hizo variar la longitud de la muestra L y la presión del agua en las partes superior e inferior de la misma midiendo el gasto Q a través de la arena. Darcy encontró experimentalmente que Q era proporcional a $(h_3-h_4)/L$ y que Q se calcula por medio de la ecuación 1.3. En la figura se presenta un ensayo utilizado para demostrar la ley de Darcy con cabeza de agua constante.

$$Q = k \frac{h_3 - h_4}{L} A = kiA \quad (1.3)$$

Q = Gasto (descarga)

k = Una constante conocida actualmente como coeficiente de permeabilidad de Darcy

h_3 = Altura, sobre el plano de referencia, que alcanza el agua en un tubo colocado a la entrada de la capa filtrante.

h_4 = 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 que contiene la muestra

$$i = \frac{h_3 - h_4}{L} \quad \text{El gradiente hidráulico} \quad (1.4)$$

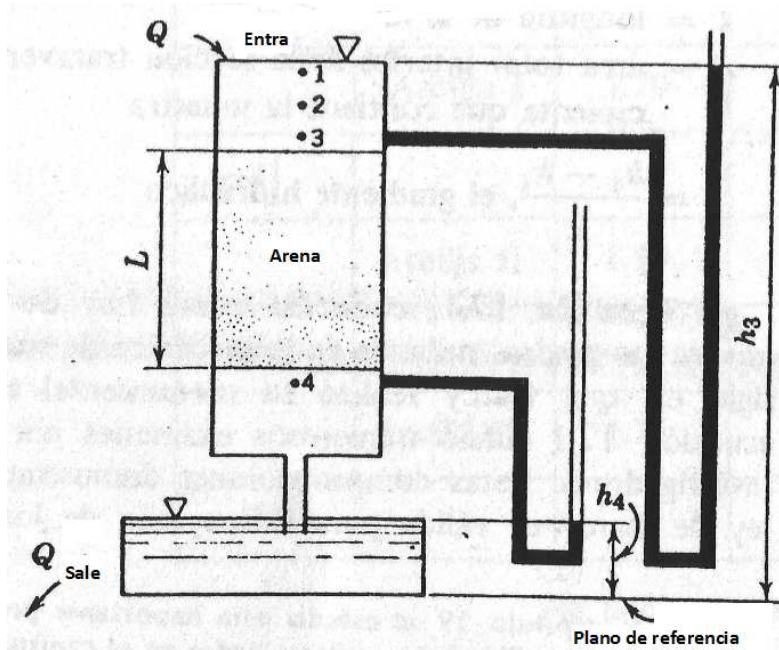


FIGURA 19

Dispositivo para estudiar las propiedades del flujo del agua, por medio de un lecho filtrante de arena. (Lambe y Whitman, 1984, pág. 268)

La ecuación (1.4), conocida como Ley de Darcy, es una de las piedras miliars de la mecánica de suelo. En el siglo en que Darcy realizo su monumental trabajo, la ecuación 1.4 sufrió numerosos exámenes por múltiples investigadores. Estas comprobaciones demostraron que la ley de Darcy es válida para la mayoría de los tipos de flujo de fluidos en los suelos. Para la filtración de líquidos a velocidades muy altas y la de gases a velocidades muy bajas o muy altas, la ley de Darcy deja de ser válida.

Existen diversos métodos para resolver los problemas de flujo de fluidos. Los métodos utilizados son los que se basan en los principios fundamentales del flujo de fluidos, cuyo conocimiento es esencial para el estudiante. La red de flujo constituye una herramienta muy valiosa ya que da una visión del problema de flujo. (Lambe y Whitman, 1984, pág. 267-297).

1.12. Permeabilidad de los suelos

Se define la permeabilidad de un suelo, como un parámetro que mide la facilidad para que el agua circule a su través, dicha permeabilidad dependerá de:

la granulometría, es decir la distribución de tamaños de los granos del suelo, (y por lo tanto de sus poros) siendo la permeabilidad menor cuanto más pequeñas sean las partículas del suelo. Como es fácil imaginar, el camino de filtración resulta bastante variable ya que el agua a de sortear la gran cantidad de obstáculos que suponen las partículas del suelo. En consecuencia en el proceso se producirán pérdidas de carga hidráulica. La mayor o menor facilidad para que se produzca flujo será función de la granulometría del suelo. Así un suelo granular como una arena posee partículas de tamaño considerable, de forma que las dimensiones de los poros entre partículas también lo serán, el agua fluirá con facilidad a su través y las pérdidas de carga serán discretas. Sin embargo, en un suelo fino como una arcilla, el tamaño de las partículas es muy pequeño, del orden de micras, y sus poros resultan también extremadamente pequeños. En estas condiciones, el agua encontrara muchas más dificultades para circular y las pérdidas de carga serán muy considerables.

La permeabilidad de un suelo puede medirse en el laboratorio o en el terreno; las determinaciones de laboratorio son mucho más fáciles de hacer que las determinaciones in situ. Debido a que la permeabilidad depende mucho de la estructura del suelo (tanto la micro estructura o disposición de las partículas como la macro estructura: estratificación, etc.) y debido a la dificultad de obtener muestras de suelo representativas, suelen ser necesarias determinaciones in situ de la permeabilidad media. Sin embargo, las pruebas de laboratorio permiten estudiar la relación entre la permeabilidad y la relación de vacíos por lo cual se suelen realizar habitualmente cuando no se dispone de medidas de campo.

Entre los métodos utilizados en laboratorio para la determinación de la permeabilidad están:

- El permeámetro de carga variable.
- El permeámetro de carga constante
- La medida directa o indirecta mediante una prueba edométrica

Como es necesaria una permeabilidad relativamente grande, para obtener buena precisión en la prueba de carga variable, esta se limita a suelos permeables. Además, el grado de saturación de un suelo no saturado varía durante la prueba por lo que esta solo debe utilizarse en suelos saturados. Las pruebas edométricas se suelen realizar generalmente con suelos plásticos, la determinación de la permeabilidad a partir de esta prueba solo se hace con suelos de permeabilidad baja. La prueba de permeabilidad, con carga constante se utiliza ampliamente, con todos los tipos de permeabilidad con carga variable. El coeficiente de permeabilidad, puede calcularse a partir de la ecuación (1.5).

$$k = 2.3 \frac{\alpha L}{A(t_1 - t_0)} \log_{10} \frac{h_0}{h_1} \quad (1.5)$$

Donde:

α = Sección transversal de la bureta

L = Longitud de la muestra de suelo en el permeámetro

A = Sección transversal del permeámetro

t_0 = Instante en el que el nivel de agua en la bureta esta en h_0

t_1 = Instante en el que el nivel de agua en la bureta esta en h_1

h_0, h_1 = Altura entre las que se determina la permeabilidad

1.13.1 Factores que influyen sobre la permeabilidad

El coeficiente de permeabilidad que se utiliza en los cálculos, es la velocidad de un fluido que se filtra por medio de una sección unidad de suelo, bajo un gradiente unidad. El valor de la permeabilidad depende, por lo tanto, de las características del fluido y del suelo. Una ecuación que refleja la influencia del fluido y de las características del suelo sobre la permeabilidad fue deducida por Taylor (1948) en (Lambe y Whitman, 1984) a partir de la ley de Poiseuille. Esta ecuación (1.6) se basa en considerar el flujo a través de medios porosos análogo al que se produce a través de un sistema de tubos capilares. (Lambe y Whitman, 1984, pág. 299-312)

$$k = D_s^2 \frac{\gamma}{\mu} \frac{e^3}{(1+e)} C \quad (1.6)$$

Donde:

D_s = Diámetro efectivo de las partículas

γ = Peso específico del fluido

μ = Viscosidad del fluido

e = Relación de vacíos

C = Factor de forma

2. FILTROS DE GRAVA Y FILTROS DE GEOTEXTIL PARA SUELOS

Un filtro es un material que puede ser grava o geotextil, que sirve para prevenir el movimiento de las partículas del suelo en donde es colocado y al mismo tiempo, es bastante permeable para ofrecer resistencia al flujo que pasa a través de él. Es decir que el filtro debe tener una granulometría adecuada, si es un filtro de grava y si es un filtro de geotextil debe cumplir con los requerimientos de permeabilidad, el tamaño de las partículas del filtro deben ser mayores a las partículas del suelo que será protegido y los orificios o agujeros del geotextil no deben ser mayores que las partículas más finas del suelo base, ya que estas partículas finas poco a poco son arrastradas a los vacíos provocando el taponamiento, y evitando que cumpla con su función de drenaje.

Si por el contrario, los vacíos del filtro son del mismo tamaño que los del suelo, el filtro puede ser poco a poco lavado hacia el conducto subterráneo. Por lo tanto el filtro debe ajustarse a ciertos requerimientos. Estos requerimientos serán detallados más adelante. El objetivo de colocar filtro, es permitir la descarga de las filtraciones y disminuir la posibilidad de fallas por levantamiento, ya sea por reventones o erosiones en el lado aguas abajo de la estructura hidráulica. Entonces como las fallas siempre ocurren en el área más débil, susceptible a este tipo de fallas, se puede aumentar su resistencia a la fuerza de escurrimiento incrementando el peso en esta sección débil.

El filtro debe ser permeable para que pueda producirse el drenaje del flujo de agua ascendente que tiende a levantar esta parte del suelo. Una manera de evaluar el riesgo probable de falla es el factor de seguridad. Este factor de seguridad en muchos casos es muy bajo, se le debe aumentar por medio de estos filtros. Se requiere un factor de seguridad mínimo de aproximadamente 4 a 5 para la seguridad de la estructura, el motivo por el que este factor de seguridad es tan elevado es principalmente debido a las inexactitudes que existen en el análisis. En el diseño de estructuras de ingeniería, se encuentran a menudo problemas causados por el flujo de agua, que puede provocar inestabilidad estructural. Varios problemas de este tipo son generalmente prevenidos construyendo zonas de suelo llamadas filtros.

2.1 FILTROS DE GRAVA PARA SUELOS

Los filtros de grava son elementos que se usan en estructuras de tierra el cuál tienen como función conducir el flujo de agua en una masa de suelo, eliminando la presión de poro y evitando que ocurran desprendimientos de partículas, esto ocasiona inestabilidad en el suelo. Están formados por un volumen de grava que tienen granulometría específica que debe cumplir con los requerimientos para que cumpla la función de filtro para el suelo que será protegido.

El filtro se construye en áreas de suelo donde se tenga la necesidad de evacuar un caudal de agua que está provocando saturación en el suelo, por ejemplo: en los espaldones de un muro, en taludes, en campos de futbol, etc. Este elemento será el encargado de evitar que se genere presión hidrostática, que puede afectar la estabilidad de la estructura de contención.

El filtro de grava se debe construir con un material granular limpio de finos que este entre 3/4" y 2 1/2", Normalmente el espesor oscila entre 40 y 80 cm según la cantidad de agua que se estime en el diseño. Este filtro deberá entregar el agua captada a un subdren longitudinal encargado de la evacuación. Y como elemento de evacuación una tubería perforada con un diámetro mínimo de 4".

La filtración en medios granulares, es una forma muy eficiente de proteger contra erosión, mantener la estabilidad del suelo base. En este sistema, el agua fluye a través de un lecho de grava y arena. Las propiedades del medio, conducen el caudal del agua en el lugar hacia el recolector y este se encargará de transportar el agua hacia una caja recolectora o al drenaje de aguas pluviales de la región. En la figura 20 se muestra un filtro de grava que protege un suelo.

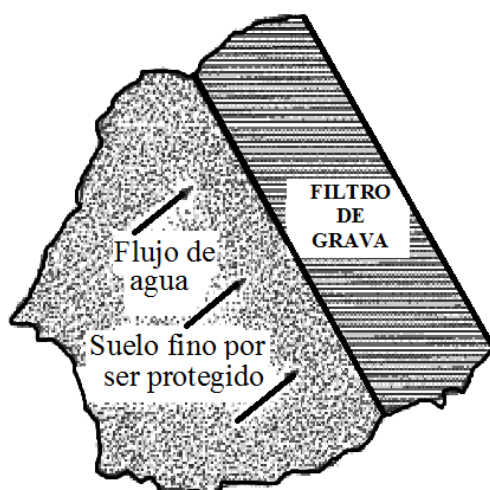


FIGURA 20

Filtro de grava para el suelo que será protegido (Das, 2001, pág. 30)

2.1.1 DISEÑO DE FILTROS DE GRAVA PARA SUELOS

Es sumamente importante que el material del filtro sea escogido cuidadosamente tomando en cuenta las características del suelo que se protegerá. El suelo que será protegido será llamado suelo base. (ver figura 21) Para que la grava pueda ser utilizada como filtro para suelos, debe satisfacer con los siguientes criterios o condiciones.

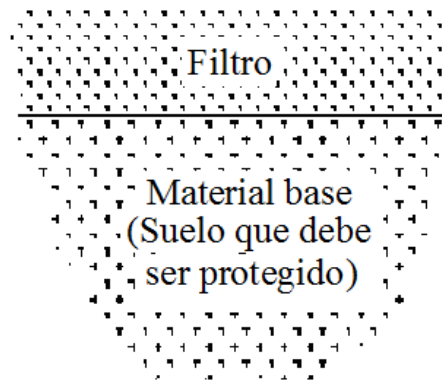


FIGURA 21

Indicación de suelo de filtro y Material Base (suelo a ser protegido por el filtro) (Das, 2001, pág. 30)

2.1.1 DISEÑO DE FILTROS DE GRAVA PARA SUELOS

Criterio 1

Se deben utilizar dos factores principales que influyen al seleccionar el material de un filtro: la granulometría para el material del filtro debe ser tal que:

- El suelo por proteger no sea lavado hacia el filtro.
- Que no se genere una carga de presión hidrostática excesiva en el suelo con un coeficiente inferior de permeabilidad.

$$\frac{D_{15}(F)}{D_{85}(B)} < 5 \quad (\text{para satisfacer la condición (a)}) \quad (2.1)$$

$$\frac{D_{15}(F)}{D_{85}(B)} > 4 \quad (\text{para satisfacer la condición (b)}) \quad (2.2)$$

En esas relaciones, los subíndices (F) y (B) se refieren al material del filtro y del material base (es decir, al suelo por proteger). D_{15} y D_{85} se refieren a los diámetros por los que pasaran el 15% y 85% del suelo (filtro de base, según el caso). ((Das, 2001, pág. 30)

Criterio 2

Otros requisitos adicionales para el diseño de filtros es satisfacer las siguientes condiciones: (Lambe y Whitman, 1984, pág. 310)

$$\frac{D_{50(F)}}{D_{50(B)}} < 25 \quad (2.3)$$

$$\frac{D_{50(F)}}{D_{50(B)}} < 20 \quad (2.4)$$

Criterio 3

Estabilidad del suelo y la permeabilidad adecuada para el filtro.

1.
$$\frac{D_{15(F)}}{D_{85(B)}} < 4 \quad (2.5)$$

2.
$$\frac{D_{15(F)}}{D_{15(B)}} > 4 \quad (2.6)$$

3. La Curva Granulométrica del filtro debe ser aproximadamente paralela al del material base. (garantiza la estabilidad del suelo base)

Donde:

$D_{15(F)}$, $D_{15(B)}$ = diámetros a través de los cuales pasa el 15% del material para el filtro y la base, respectivamente.

$D_{85(B)}$ = diámetro a través del cual pasa el 85% del material para la base.

- El inciso 1 del criterio 3, es para prevenir el movimiento de las partículas de suelo del material base a través del filtro.
- El inciso 2 del criterio 3, es para asegurar la permeabilidad del filtro.

La aplicación del criterio de selección del material de un filtro puede ser explicado usando la Figura 22 en la cual la curva a es la curva de distribución tamaño de partículas del material base. Del inciso 1 del criterio 3, $D_{15(F)} < 4 \cdot D_{85(B)}$ la abscisa del punto A es, $D_{85(B)}$ entonces la magnitud de $4 \cdot D_{85(B)}$, puede ser calculada, y el punto B cuya abscisa es $4 \cdot D_{85(B)}$, puede ser trazada. Similarmente, el inciso 2 del criterio 3, $D_{15(F)} > 4 \cdot D_{15(B)}$ las abscisas de los puntos C y D son $D_{15(B)}$ y $4 \cdot D_{15(B)}$, respectivamente.

Las curvas b y c son trazadas, las cuales son geoméricamente similares a la curva a y están limitadas con los punto B y D. En general un suelo cuya curva de distribución de tamaño de partículas caiga dentro de las curvas b y c es un buen material para el filtro. En algunos casos es necesaria la construcción de filtros de varias capas, lo cual no es aconsejable ya que son más costosos. Sin embargo a veces se tiene la necesidad obligada de construir este tipo de filtros. Para la selección del material de este tipo de filtros se sigue el mismo criterio, considerando al filtro más fino como material base para la selección de la granulometría del filtro más grueso

El diámetro de partículas máximo que se puede usar en un filtro no debe exceder de las 3" (75 mm.), esto con el fin de disminuir la segregación y el acuñamiento, formando huecos entre las partículas grandes durante la colocación de los materiales del filtro. Se debe tener cuidado en la colocación de los materiales del filtro para evitar la Segregación.

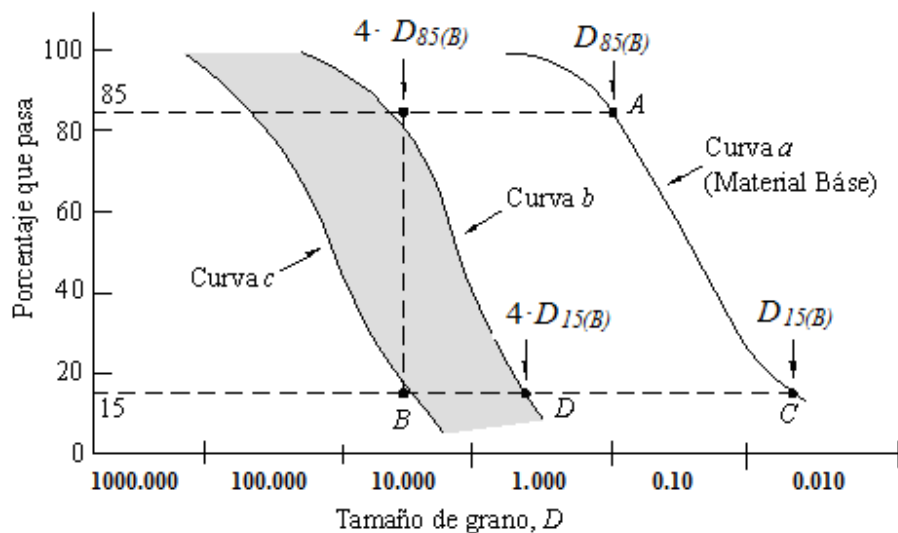


FIGURA 22 Criterio para selección de un material de filtro (Das, 1998, pág. 96)

Criterio 4

Factor de seguridad contra el levante para un filtro: En la Figura 23, el espesor del material del filtro es d_1 , este espesor debe ser mayor a 3 pies (91 cm.). Como el factor de seguridad está en función del peso del suelo en la zona de levante, al colocar el filtro este peso aumenta incrementando así el factor de seguridad. El factor de seguridad contra el levantamiento puede calcularse similar solo aumentando el peso del filtro. La fuerza de levante causada por el flujo de agua U , debe ser calculada:

El peso de suelo y del filtro dentro la zona contra levantamiento por longitud unitaria es:

$$W_{s+f} = W' + W'_f \tag{2.7}$$

Donde:

$$W' = d \cdot \frac{d}{2} \cdot (\gamma_{sat} - \gamma_W) = \frac{1}{2} \cdot d^2 \cdot \gamma' \tag{2.8}$$

$$W'_f = d_1 \cdot \frac{d}{2} \cdot (\gamma'_f) = \frac{1}{2} \cdot d_1 \cdot d \cdot \gamma'_f \tag{2.9}$$

$\gamma'_f =$ *Peso específico del filtro*

$$U = \frac{1}{2} \cdot d^2 \cdot i_{av} \cdot \gamma_W \tag{2.10}$$

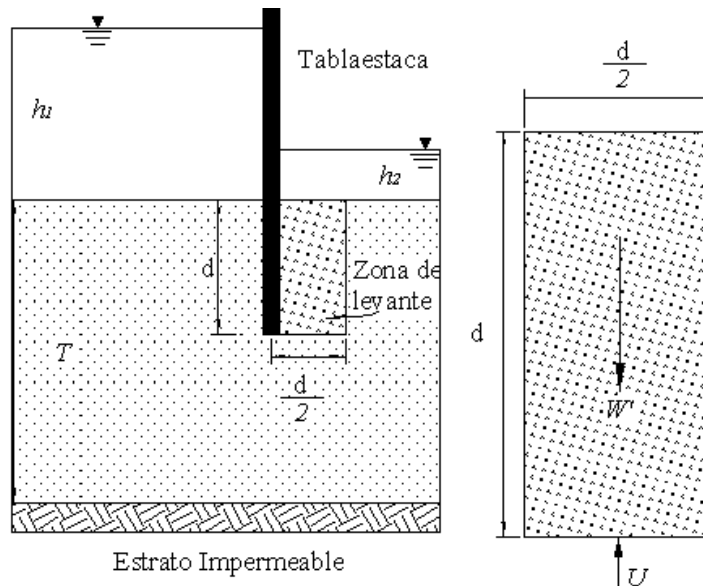


FIGURA 23 Uso de un filtro para aumentar el factor de seguridad contra el levantamiento (Das, 1998, pág.104)

Entonces el factor de seguridad contra el levante es: (Das, 1998, pág. 110)

$$FS = \frac{W' + W'_F}{U} = \frac{\frac{1}{2} \cdot d^2 \cdot \gamma' + \frac{1}{2} \cdot d_1 \cdot d \cdot \gamma'_F}{\frac{1}{2} \cdot d^2 \cdot i_{av} \cdot \gamma_w} \quad (2.11)$$

$$FS = \frac{\gamma' + \left(\frac{d_1}{d}\right) \cdot \gamma'_F}{i_{av} \cdot \gamma_w} \quad (2.12)$$

Si $FS < 1$ redimensionar el filtro, el factor de seguridad debe ser mayor a 1.

2.1.2 SUGERENCIAS DE CÓMO TENER UN FILTRO DE GRAVA PARA SUELOS

En las tablas 1 y 2 se sugieren filtros de grava para suelos, sin embargo no sustituye las condiciones de diseño indicadas en la sección 2.1.1.

TABLA 1

Sugerencia 1 de cómo tener un material filtrante (GSE, 2003, pág. 50)

TIPO DE MATERIAL	DIAMETRO (PULGADAS)	ESPELOR (PULGADAS)
Grava Gruesa	1 1/2 a 3/4	8
Grava Mediana	3/4 a 1/2	2 1/2
Grava Fina	1/2 a 1/4	2 1/2
Gravilla	1/4 a 1/8	3
Arena Gruesa	1.2 a 0.8 mm	3
Arena Fina	0.55 a 0.45 mm	20 a 24

TABLA 2

Sugerencia 2 de cómo tener un material filtrante (GSE, 2003, pág. 50)

TIPO DE MATERIAL	DIAMETRO (PULGADAS)	ESPESOR (PULGADAS)
Grava Gruesa	1 1/2	8
Grava Mediana	1	4
Grava Fina	3/8	4
Gravilla	1/4	4
Arena Fina	0.55 a 0.45 mm	20 a 24

2.1.2 CALCULO DEL CAUDAL Y DIÁMETRO DE LA TUBERIA QUE EVACUARA EL AGUA DEL FILTRO DE GRAVA

2.1.2.1 Determinación de la dirección de las corrientes de flujo en el suelo

El filtro se deberá instalar de manera que capte el agua y filtre de la manera eficiente. 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 24). Si este ángulo es menor a 45 grados la posición del filtro debe estar paralelas al eje, si es mayor a 45 grados el filtro debe estar normal al eje.

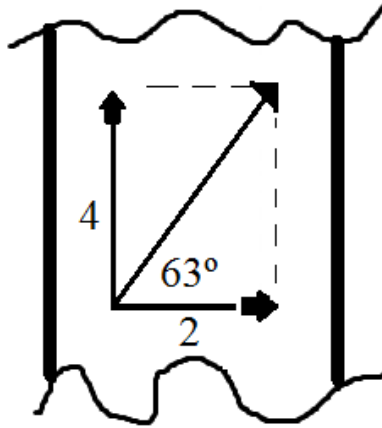


FIGURA 24

Dirección hacia donde se moverá el agua para determinar la posición del filtro (Holtz, 1997, pág. 36-38)

2.1.2.2 Estimación del caudal de diseño

Para estimar el caudal para el diseño filtros de grava, se debe considerar primero la distancia entre alcantarillas, o los sitios en donde los filtros realizan la descarga de agua. Para establecer las distancias de los tramos del filtro se debe tener en cuenta que cada tramo conserve, en lo posible, características similares. Por ejemplo igual pendiente, condiciones geomorfológicas similares o condiciones geométricas de la vía similares. Entre más largo sea el recorrido del agua en el filtro, mayor tendrá que ser su capacidad de transporte, debido a que a la sección de grava se van sumando caudales de aporte.

Posteriormente se identifica las posibles fuentes a tener en cuenta para el cálculo del caudal total. Los filtros son sistemas que se utilizan para retirar el agua infiltrada o subterránea que ha entrado en la estructura.

Los posibles caudales de aporte, que conforman el caudal final, son:

- El caudal generado por la infiltración de agua lluvia
- El caudal generado por el abatimiento del nivel de agua subterránea
- El caudal generado por escorrentía superficial

2.1.2.2.1 Caudal por infiltración

El agua lluvia cae directamente en el suelo. Una parte de éste inevitablemente se infiltra en el suelo:

Por lo tanto el caudal de infiltración se calcula de la siguiente forma:

$$Q_{inf} = IR * B * L * Fi * FR \quad (2.13)$$

Donde:

IR = Precipitación máxima horaria de frecuencia anual, registrada en la zona del proyecto.

Usualmente se toma el intervalo entre 60 y 120 minutos. **(Obtener el dato en el INSIVUMEH)**

B = Para filtros longitudinales, **B** es el espesor o ancho del filtro
Para el caso de filtros transversales, **B** es la distancia entre filtros

L = Longitud del tramo de filtro.

Fi = Factor de infiltración. (según el tipo de suelo)

FR = Factor de retención del suelo

2.1.2.2.2 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:

$$Q_{NF} = k * i * A_a \quad (2.14)$$

$$i = \frac{N_d - N_f}{B} \quad (2.15)$$

$$A_a = (N_d - N_f) * L \quad (2.16)$$

Donde:

k = Es el coeficiente de permeabilidad del suelo adyacente.

i = Es el gradiente hidráulico.

N_d = inferior del subdrén.

N_f = Cota superior del nivel freático.

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:

$$Q_T = Q_{inf} + Q_{NF} \quad (2.17)$$

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 filtro, el caudal de diseño (Q_{NF}) debe ser duplicado.

2.1.2.2.3 Caudal por escorrentía superficial

Este caudal puede ser controlado con métodos de captación tales como cunetas, contra cunetas y alcantarillas, de manera tal, que se conduzca el agua por el medio filtrante. En tramos donde se considere el caudal de agua infiltrada proveniente de escorrentía como un caudal de aporte, se debe estimar teniendo en cuenta los métodos hidrológicos y ser considerado en el diseño.

Dimensionamiento de la sección transversal

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

$$Q_T = V * i * A \quad (2.18)$$

Donde:

Q_T = Caudal total

i = Gradiente hidráulico que para el caso de subdrenes es = 1

V = Velocidad de flujo, la cual depende de la pendiente longitudinal y del tamaño del agregado usado para el filtro.

A = Área de la sección transversal del filtro, normalmente se fija el ancho y se despeja su altura.

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

$$Q_T = \left(\frac{1}{n}\right) * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{5}{2}} \quad (2.19)$$

Donde:

Q_T = Caudal total calculado

n = Coeficiente de Manning. Para tubería perforada usualmente es 0.013.

A = Área total del tubo

$$R = \frac{AT}{PT} \left(\frac{\text{Área total}}{\text{Perímetro total}} \right) \text{ A tubo lleno} \quad (2.20)$$

S =Pendiente del subdrén

NOTA: El tubo debe ser perforado y debe ser forrado con geotextil, siempre que se utilice en el sistema de filtros para suelos.

(HOLTZ, 1997, págs. 50)

En el capítulo 6, foto 3 se presenta un proyecto en Santa Catarina Pinula donde se hundió una casa y para la solución de estabilidad del suelo se usaron filtros de grava.

2.2 FILTROS DE GEOTEXTIL PARA SUELOS

Los geotextiles son telas permeables, filtrantes, construidas con fibras sintéticas, especialmente polipropileno, poliéster, nylon y polietileno. Los geotextiles generalmente, se clasifican en tejidos y no tejidos. Los tejidos a su vez se diferencian de acuerdo al sistema de tejido. Los geotextiles más utilizados para filtro son los no tejidos, entre los cuales se deben diferenciar los perforados con alfileres, los pegados al calor y los pegados con resinas; aunque es común encontrar mezclas de los tres procesos de manera combinada. La durabilidad de los geotextiles está en función de las fibras poliméricas y las resinas a los ataques ambientales, sin embargo hay varios proyectos donde se han trabajado filtros de geotextil para suelos, en forma eficiente desde hace veinte años. Los principales problemas de las telas filtrantes corresponden a su baja resistencia a la exposición a los rayos solares, los cuales las descomponen, las altas temperaturas y ciertos químicos.

Los suelos residuales son muy variables granulométricamente y debe realizarse un número grande de ensayos de Granulometría, previamente al diseño de filtro. Debe tenerse en cuenta que las partículas de mayor tamaño tienen muy poco efecto en el proceso de filtración. El parámetro D_{85} para utilizar en el criterio de retención debe tomarse en forma conservadora para tener en cuenta la variabilidad del suelo. Los ensayos de permeabilidad deben ser realizados en el campo, teniendo en cuenta que la permeabilidad obtenida en el laboratorio es muy afectada por el manejo de la muestra. En los sitios donde existe flujo concentrado de agua el uso de geotextiles puede no ser adecuado y se puede requerir un sistema mucho más resistente y de gran capacidad. Las raíces de las plantas afectan en forma grave los filtros y se debe evitar sembrar árboles cerca a los subdrenes. Debe tenerse especial cuidado de no romper el geotextil al colocarse, debe evitarse la exposición al sol de la tela, por varios periodos de tiempo.

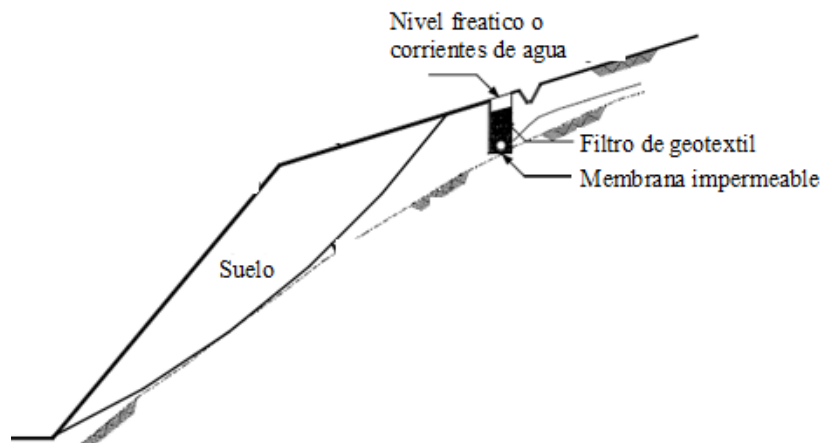


FIGURA 25

Diagrama de un filtro de geotextil (Terzaghi y Peck, 1948, pág. 745)

2.2.1 DISEÑO DE FILTROS DE GEOTEXTIL PARA SUELOS

2.2.1.1 Evaluación del geotextil a usar en el filtro

El filtro evita una excesiva migración de partículas de suelo y simultáneamente permite el paso del agua, lo anterior implica que el geotextil debe tener una abertura aparente máxima adecuada para retener el suelo, cumpliendo simultáneamente con un valor mínimo admisible de permeabilidad, que permita el paso del flujo de una manera eficiente.

Para llegar a la selección del geotextil adecuado para utilizar como filtro, hay que tomar en cuenta la resistencia a la colmatación, supervivencia, durabilidad y el caudal de flujo que será evacuado. La metodología de diseño, consiste en revisar, cuáles de los geotextiles, satisfacen las características hidráulicas, mecánicas y demás propiedades que se deben revisar en la tabla 13 y en la tabla 14 que indica los tipos de geotextil sus propiedades y sus nombres equivalentes según las marcas que se distribuyen en Guatemala, estas tablas se encuentran en el anexo numero 1, adicional se toman en cuenta la revisión de los criterios de diseño que se presentan a continuación:

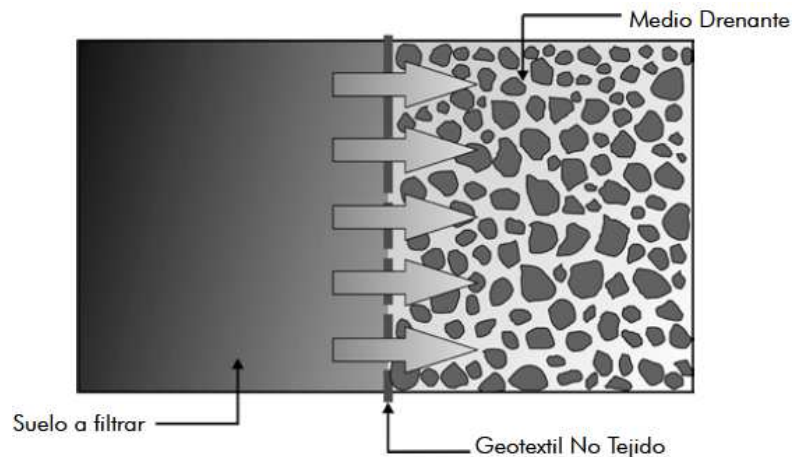


FIGURA 26

Utilización de un geotextil como filtro para suelos, en esta figura se observa un suelo base con partículas finas, seguidamente el geotextil que lo protegerá y hay una capa de suelo de partículas mayores al suelo base que está funcionando como un medio drenante el cual servirá para trasladar el flujo de agua hacia el tubo y al mismo tiempo no permitirá que el geotextil quede expuesto a los rayos UV. (Rodríguez, 1999, pág. 170)

Algunas aplicaciones de los geotextiles según dosificación de la empresa colombiana Pavco se presentan en la tabla 13 sus propiedades y los equivalentes para otras marcas se presentan en la tabla 14 que se encuentran en el anexo 1.

2.2.1.1.1 Criterio de Retención (T_{AA})

Este criterio asegura que las aberturas sean lo suficientemente pequeñas para evitar la migración del suelo hacia el medio drenante o hacia donde se dirige el flujo.

De acuerdo con lo establecido, un geotextil debe cumplir con la siguiente condición:

$$T_{AA} < D_{85} * B \quad (2.21)$$

Donde:

T_{AA} = Tamaño de abertura aparente

D_{85} = Tamaño de partículas (en milímetros) que corresponde al 85% del suelo base que pasa al ser tamizado. Este dato se obtiene de la curva granulométrica del suelo base

B = Coeficiente que varía entre 1 y 3. Depende del tipo de suelo a filtrar, de las condiciones de flujo y del tipo del geotextil.

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

$$2 < C_u \leq 8 \Rightarrow B = 1 \quad (2.22)$$

$$2 < C_u \leq 4 \Rightarrow B = 0.5x C_u \quad (2.23)$$

$$2 < C_u \leq 8 \Rightarrow B = \frac{8}{C_u} \quad (2.24)$$

- Para suelos arenosos mal gradados usar B entre 1.5 y 2.
- Para suelos finos (más del 50% pasa tamiz #200) B es función del tipo de geotextil.

$$\text{Para Tejidos: } B = 1 \Rightarrow T_{AA} \leq D_{85} \quad (2.25)$$

$$\text{Para No Tejidos: } B = 1.8 \Rightarrow T_{AA} \leq 1.8 * D_{85} \quad (2.26)$$

Para suelos cohesivos con un índice de plasticidad mayor a 7, el valor del tamaño de Abertura Aparente debe ser de:

$$T_{AA} < 0.30 \text{ mm} \quad (2.27)$$

2.2.1.1.2 Criterio de 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:

- Para condiciones de flujo estable o flujo laminar y suelos no dispersivos, con porcentajes de finos no mayores al 50% :

$$k_g > k_s \quad (2.28)$$

Donde:

k_g = Permeabilidad del geotextil

k_s = Permeabilidad del suelo

- Para condiciones de flujo crítico, altos gradientes hidráulicos y buscando un correcto desempeño a largo plazo reduciendo riesgo, colmatación se recomienda usar el siguiente criterio:

$$k_g > 10 * k_s \quad (2.29)$$

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

2.2.1.1.3 Criterio de 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. 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. (Fajardo y Rodríguez, 1999, pág. 180)

2.2.2 CÁLCULO DEL CAUDAL DE FLUJO DE AGUA QUE SERÁ EVACUADO POR EL FILTRO DE GEOTEXTIL

2.2.2.1 Caudal por infiltración

El agua lluvia cae directamente en el suelo. Una parte de éste inevitablemente se infiltra en el suelo: (Fajardo y Rodríguez, 1999, pág. 190)

Por lo tanto el caudal de infiltración se calcula de la siguiente forma:

$$Q_{inf} = IR * B * L * Fi * FR \quad (2.30)$$

Donde:

IR = Precipitación máxima horaria de frecuencia anual, registrada en la zona del proyecto. (Obtener dato de INSIVUMEH Guatemala)

Usualmente se toma el intervalo entre 60 y 120 minutos.

B = Para filtros longitudinales, **B** es el espesor o ancho del filtro
Para el caso de filtros transversales, **B** es la distancia entre filtros **Q**

L = Longitud del tramo de filtro.

Fi = Factor de infiltración. (según el tipo de suelo)

FR = Factor de retención del suelo

2.2.2.2 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:

$$Q_{NF} = k * i * A_a \quad (2.31)$$

$$i = \frac{(N_d - N_f)}{B} \quad (2.32)$$

$$A_a = (N_d - N_f) * L \quad (2.33)$$

Donde:

k = Es el coeficiente de permeabilidad del suelo adyacente.

i = Es el gradiente hidráulico.

N_d = Cota inferior del subdrén.

N_f = Cota superior del nivel freático.

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:

$$Q_T = Q_{inf} + Q_{NF} \quad (2.34)$$

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 filtro, el caudal de diseño (Q_{NF}) debe ser duplicado.

2.2.2.3 Caudal por escorrentía superficial

Este caudal puede ser controlado con métodos de captación tales como cunetas, contra cunetas y alcantarillas, de manera tal, que se conduzca el agua por el medio filtrante. En tramos donde se considere el caudal de agua infiltrada proveniente de escorrentía como un caudal de aporte, se debe estimar teniendo en cuenta los métodos hidrológicos y ser considerado en el diseño.

Dimensionamiento de la sección transversal

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

$$Q_T = V * i * A \quad (2.35)$$

Donde:

Q_T = Caudal total

V = Velocidad de flujo, la cual depende de la pendiente longitudinal y del tamaño del agregado usado para filtro.

i = Gradiente hidráulico que para el caso de subdrenos es = 1.

A = Área de la sección transversal del filtro, normalmente se fija el ancho y se despeja su altura.

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

$$Q_T = \left(\frac{1}{n}\right) * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad (2.36)$$

Donde:

Q_T = Caudal total calculado

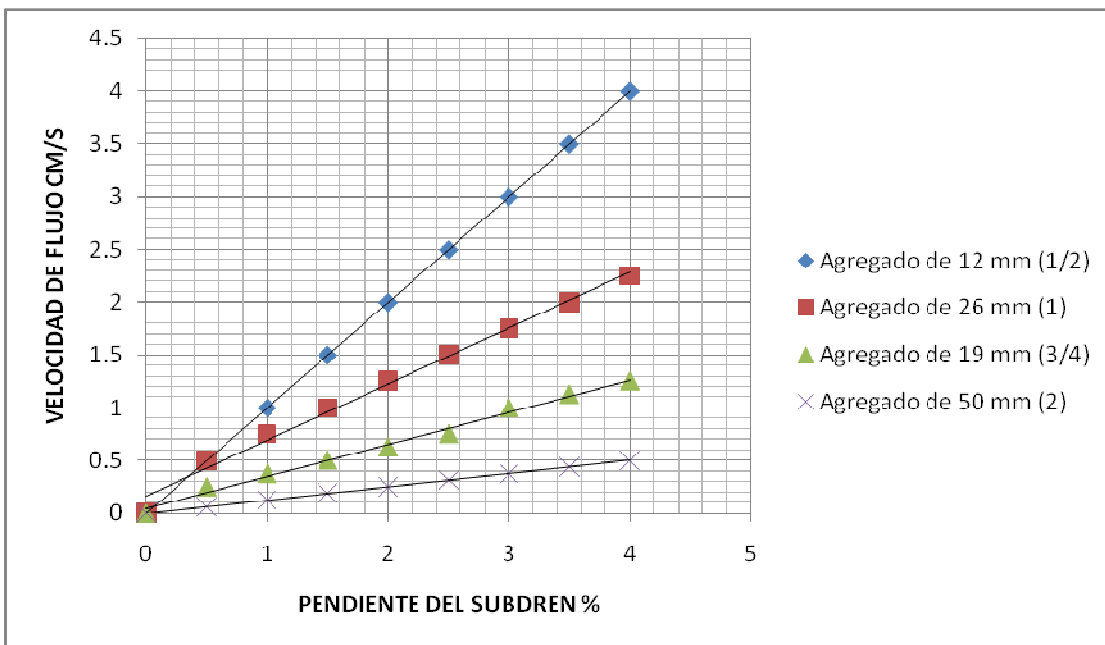
n = Coeficiente de Manning. Para tubería perforada usualmente es 0.013.

A = Área del tubo

$$R = \frac{AT}{PT} \left(\frac{\text{Área total}}{\text{Perímetro total}} \right) A \text{ tubo lleno} \quad (2.37)$$

S = Pendiente del subdrén

NOTA: El tubo debe ser perforado y debe ser forrado con geotextil, siempre que se utilice en el sistema de filtros para suelos.



GRAFICA 1

Pendiente Vs. Velocidad, según el tamaño del agregado (Para agregados de tamaño uniforme) (Holtz, 1997)

2.2.3 REQUERIMIENTOS DEL GEOTEXTIL PARA PODER UTILIZARLO COMO FILTRO PARA SUELOS

- El geotextil para filtro deberá cumplir con los requerimientos físicos, hidráulicos y mecánicos que se indican en la tabla número 13 y 14 ubicadas en el anexo número 1.
- **Envío y Almacenamiento:** El geotextil deberá mantenerse seco y envuelto de tal manera que esté protegido contra los elementos durante su envío y almacenamiento. En ningún momento deberá ser expuesto a luz ultravioleta por un período mayor a 14 días. Los rollos de geotextiles deberán ser almacenados en una forma que los proteja contra los elementos ambientales. Si se almacena en el exterior, deberán estar elevados y protegidos con una cubierta impermeable.
- **Colocación del Geotextil:** Previo a la colocación del geotextil, la superficie deberá ser preparada a una condición lisa y encontrarse libre de escombros, depresiones u obstrucciones, las cuales podrían dañarlo. El geotextil para drenaje deberá ser colocado suelto (no tenso) sin arrugas o pliegues. Se prestará especial atención de colocar el geotextil en contacto íntimo con el suelo para evitar que queden espacios vacíos entre este y la zanja. El geotextil deberá estar traslapado 30 cm. o el ancho total de la zanja, lo que sea menor, en la parte alta de la zanja. Puede ser requerido un traslape o afianzamiento adicional, como sea determinado por el ingeniero. El geotextil de arriba deberá ser traslapado sobre el de abajo.
- Deberá prestarse atención durante la construcción para evitar la contaminación del geotextil por el suelo u otro material. El geotextil contaminado deberá ser removido y reemplazado.
- El caudal que será infiltrado se tendrá que evacuar, también se puede obtener de las tablas No. 16 a la tabla No. 40 que se encuentran en el anexo número 1, en estas tablas se obtiene un caudal automáticamente calculado respecto a la sección del filtro que se tenga, cada uno de los caudales ya han sido calculados en base a los criterios de la sección 2.2.2 a la 2.2.2.3. Si usted tiene una sección de filtro el cual se adapta a las secciones indicadas en estas tablas ya no hay que recalcular el caudal, se toma el dato indicado en la tabla equivalente a la sección del filtro.
Por ejemplo: si se tiene un filtro con una sección de 40cm x 80cm, con una pendiente de 1% puede referirse a la tabla 20 que se encuentra en el Anexo 1 y allí podrá encontrar que el caudal de diseño el cual ya está calculado, es de 400 cm/seg, este ya es el dato calculado automáticamente, por el cual se proveen estas tablas para facilitar el cálculo del caudal de diseño para un filtro de grava o geotextil que tenga las dimensiones que se encuentren en estas, respecto a la sección o área.

2.2.4 EJEMPLO DE DISEÑO DE FILTRO DE GEOTEXTIL PARA SUELOS

2.2.4.1 EJEMPLO 1 (cálculo manual)

Se va a construir un muro en suelo reforzado para estabilizar una ladera, el muro va a tener 7 m de alto y 30 metros de largo. El material de la ladera es una arena limosa (SM), con un peso específico de 18.KN/m³ y una permeabilidad k_s de 1.6×10^{-5} m/s, de acuerdo con la curva granulométrica presenta un D₈₅ de 0.25 mm. Así también se diseñara y evaluara el sistema filtro utilizando inicialmente geotextil y verificar si es adecuado para el proyecto.

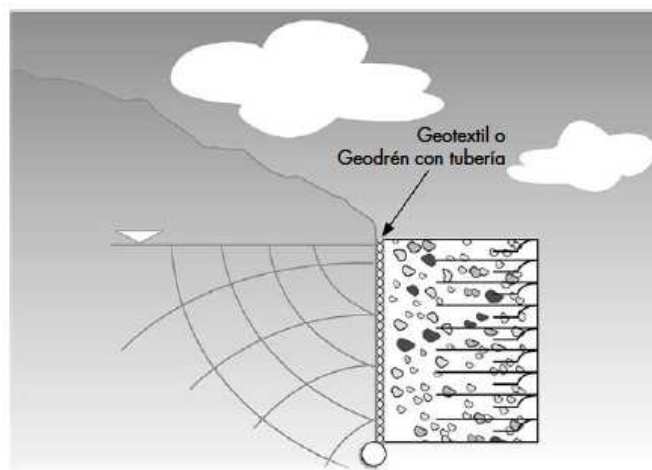


FIGURA 27

Ejemplo de diseño de filtro de geotextil para suelos.

Utilización de geotextil como filtro, en el espaldón de un muro de contención estabilizado con tierra armada, la función del filtro es la evacuación del agua del suelo base y separación del suelo trabajado mecánicamente para proveer la estabilidad del talud. (Holtz, 1999, pág. 36)

Datos:

Alto	7m
Largo	30m
Suelo	Arena Limosa
Peso específico del suelo	1.8 KN/m ³
Permeabilidad del suelo	1.6×10^{-5} m/s,
D ₈₅	0.25 mm

SOLUCIÓN:

2.2.4.1.1 Cálculo del caudal total de diseño = Q_T (Fajardo y Rodríguez, 1999, pág. 162)

$$n_i = \text{Número de canales de flujo} = 4 \quad (\text{González, 2002 pág. 37}) \quad (2.38)$$

$$n_c = \text{Número de equipotenciales} = 5 \quad (\text{González, 2002 pág. 37}) \quad (2.39)$$

$$Q_T = k * h * \frac{n_c}{n_f} * L \quad (2.40)$$

$$Q_T = 1.6 \times 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}} * 7.0 \text{m} * \frac{4}{5} * 30.0 \quad (2.40)$$

$$Q_T = 2.688 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (2.40)$$

2.2.4.1.2 Criterio de retención (TAA)

T_{AA} = Tamaño de abertura aparente (poro del geotextil)

B = Factor a dimensional que se calcula según el tipo de suelo (ver teoría de diseño de filtros de geotextil)

$$T_{AA} < B * D_{85} \quad (2.41)$$

$$B = 1.8; \text{ Para geotextiles No Tejidos.} \quad (2.42)$$

$$T_{AA} \leq 1.8 * 0.25 \text{ mm} \quad (2.42)$$

$$T_{AA} < 0.45 \text{ mm} \quad (2.42)$$

2.2.4.1.3 Criterio de permeabilidad (Fajardo y Rodríguez, 1999, pág. 162)

Como es un suelo con alto contenido de finos, se debe cumplir:

K_g = permeabilidad del geotextil

K_s = permeabilidad del suelo

$$k_g > 10 * k_s \quad (2.43)$$

$$k_s = 1.6 \times 10^{-5} \frac{m}{s} \quad (2.43)$$

$$k_g > 1.6 \times 10^{-4} \frac{m}{s} \quad (2.43)$$

2.2.4.1.4 Criterio de colmatación (Fajardo y Rodríguez, 1999, pág. 163)

La porosidad de los geotextiles No Tejidos punzonados por agujas son superiores al 80%, por lo tanto todos los geotextiles No Tejidos punzonados por agujas cumplen con este criterio.

2.2.4.1.5 Criterio de supervivencia (Fajardo y Rodríguez, 1999, pág. 163)

Cuando se presentan condiciones severas de instalación con esfuerzos de contacto altos. Se evalúan todas las características mecánicas que tienen los posibles geotextiles a usar .

Con base en los criterios anteriores y comparando las especificaciones de los geotextiles (Ver Anexo 1 Tabla 13), los geotextiles que cumplen estos criterios son: NT2500, NT3000, NT4000, NT5000, NT6000, NT7000. Se selecciona el geotextil NT2500 por ser el técnica y económicamente más conveniente.

2.2.4.2 Cálculo hidráulico para la escogencia del geotextil (Fajardo y Rodríguez, 1999, pág. 170)

2.2.4.2.1 El caudal por unidad de longitud ó tasa de flujo que se requiere evacuar es:

Q_T = Caudal total

$$Q_T = 2.688 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (2.40)$$

$q_{w \text{ req}}$ = Caudal por unidad de longitud

$$q_{w \text{ req}} = \frac{Q_T}{L} \quad (2.44)$$

$$q_{w \text{ req}} = \frac{2.688 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{30.0 \text{ m}} \quad (2.44)$$

$$q_{w \text{ req}} = 8.96 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s} \cdot \text{m}} \quad (2.44)$$

2.2.4.2.2 Cálculo de la tasa de flujo última del geotextil (Fajardo y Rodríguez, 1999, pág. 172)

$$Q = k * i * A \quad (2.45)$$

$$Q = Q = k * i * t * W \quad (2.46)$$

$$\frac{Q}{W} = i * (k * t) \quad (2.47)$$

$$q_{w \text{ ult}} = i * (k * t) \quad (2.48)$$

Donde:

$$q_{w \text{ ult}} = \frac{Q}{W} \text{ Tasa de flujo última del geotextil} \quad (2.49)$$

i = Gradiente hidráulico

k = Permeabilidad del geotextil

t = Espesor del geotextil

Reemplazando los valores se obtiene la tasa de flujo última para el geotextil NT2500(Ver tabla 13) el valor es:

$$q_{w\text{ult}} = 1.0 * (3.6 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}} * 1.8 \times 10^{-3} \text{ m}) \quad (2.48)$$

$$q_{w\text{ult}} = 6.48 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s-m}} \quad (2.48)$$

2.2.4.2.3 Cálculo de tasa de flujo admisible

Una vez obtenida la tasa de flujo última para el geotextil, se calcula la tasa de flujo admisible, teniendo en cuenta los factores de reducción para drenaje por gravedad que aparecen en la Tabla 41.

$q_w \text{ adm}$	=	Tasa de flujo admisible	
FRSCB	=	Factor de colmatación	(Ver tabla 41)
FRCR	=	Factor de reducción de vacíos por creep	(Ver tabla 41)
FRIN	=	Factor de intrusión en los vacíos	(Ver tabla 41)
FRCC	=	Factor de colmatación química	(Ver tabla 41)
FRBC	=	Factor de colmatación biológica	(Ver tabla 41)

$$q_{w\text{adm}} = \frac{q_{w\text{ult}}}{(\text{FRSCB} * \text{FRCR} * \text{FRIN} * \text{FRCC} * \text{FRBC})} \quad (2.49)$$

$$q_{w\text{adm}} = \frac{6.48 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s-m}}}{(2.0 * 2.0 * 1.2 * 1.2 * 1.2)} \quad (2.49)$$

$$q_{w\text{adm}} = 9.375 \times 10^{-7} \frac{\text{m}^3}{\text{s-m}} \quad (2.49)$$

2.2.4.3 Factor de seguridad global

Finalmente se compara la tasa de flujo admisible con la requerida para determinar el factor de seguridad global:

FSg = Factor de seguridad global

$$FS_g = \frac{q_{w adm}}{q_{w req}} \quad (2.50)$$

$$FS_g = \frac{9.375 \times 10^{-7} \frac{m^3}{s-m}}{8.96 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s-m}}$$

$$FS_g = 0.010 \ll 1.0$$

Debido a que el factor de seguridad global es menor a 1 el geotextil que se había propuesto utilizar para el filtro, no es el adecuado. Se tomara como adecuado cuando el factor de seguridad global sea mayor a 1. En este caso es viable usar el geotextil propuesto como medio “drenante” en el sistema ya que el volumen de agua conducir es mayor al que puede conducir el geotextil.

Cuando el factor de seguridad global sea menor a 1, hay que proponer un geotextil con mayor permeabilidad y conducción de flujo (ver tabla 13) para proponer otro geotextil después de ver la tabla 13 y elegir el nuevo geotextil que se quiere utilizar se hace nuevamente el cálculo de diseño de filtro de geotextil desde su inicio, y si el factor de seguridad es menor que 1 con cualquier geotextil propuesto, el filtro de geotextil no es el adecuado a utilizar.

2.2.4.4 Evaluación del geotextil a usar en el geodrén (este paso 2.2.4.4 al 2.2.4.4.2 se debe hacer únicamente si el primer geotextil no cumple con el FSg >1) (Fajardo y Rodríguez, 1999, pág. 175)

Se propone otro tipo de geotextil con características técnicas de permeabilidad y resistencia (ver Tabla 13) donde se revisaron los criterios para la escogencia, y se eligió el geotextil NT3000 con el cual se fabrica el geodrén 3000/3000/5mm que cumple con todos los criterios de selección y es apropiado para este diseño en particular, para ratificar se deben hacer nuevamente los pasos 4.1.4 al 4.1.4.2. Si el factor de seguridad global es mayor a 1 si cumple.

2.2.4.4.1 Cálculo hidráulico para la escogencia del geotextil (Fajardo y Rodríguez, 1999, pág. 180)

Evaluación según la permitividad del sistema

2.2.4.4.1.1 Cálculo de la permitividad requerida por el geotextil del geodrén como medio filtrante.

$$Q = k * i * A \quad (2.45)$$

$$Q = \frac{k * \Delta h}{\tau * A} \quad (2.51)$$

$$\frac{k}{\tau} = \frac{Q}{\Delta h * H * L} \quad (2.52)$$

$$\psi_{req} = \frac{Q}{\Delta h * H * L} \quad (2.53)$$

$$\psi_{req} = \frac{2.68 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}}{7.0 \text{ m} * 7.0 \text{ m} * 30.0 \text{ m}}$$

$$\psi_{req} = 1.83 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1} \quad = \text{Permitividad requerida}$$

2.2.4.4.1.2 Una vez calculada la permitividad requerida por el sistema, se toma la permitividad suministrada por el fabricante (ver tabla 13) como la permitividad última para la realización del diseño.

$$\psi_{ult} = 1.8 \text{ s}^{-1} \quad (\text{ver tabla 13})$$

2.2.4.4.1.3 Con base a la permitividad última del geodrén, se calcula la permitividad admisible, teniendo en cuenta los factores de reducción para filtros en el espaldón de muros de contención que aparecen en la Tabla 41 que se muestra en el anexo 1.

$$\psi_{adm} = \frac{\psi_{ult}}{FRSCB * FRCR * FRIN * FRCC * FRBC} \quad (2.54)$$

$$\psi_{adm} = \frac{1.8 \psi_{adm} \text{ s}^{-1}}{2.0 * 1.5 * 1.1 * 1.0 * 1.0}$$

$$\psi_{adm} = 0.55 \text{ s}^{-1} \quad = \text{Permitividad Última}$$

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

$$FS_g = \frac{\psi_{adm}}{\psi_{req}} \quad (2.55)$$

$$FS_g = \frac{0.55 \text{ s}^{-1}}{1.83 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}}$$

$$FS_g \gg 1.0$$

Respuesta:

Inicialmente se propuso un geotextil NT 2500, al momento de calcular el factor de seguridad global se llegó a la conclusión que no era el adecuado, porque no cumplía con la condición dada, ya que el factor de seguridad global tiene que ser mayor que 1,

Después de ver las características de los geotextiles en la tabla 13, se determinó que cumplía con los parámetros de permeabilidad mayor a la del suelo y que tenía condiciones de conducción de flujo mayor al inicialmente propuesto, el geotextil NT 3000 por lo que se hicieron los cálculos para el diseño del filtro de geotextil nuevamente, de donde se finalizó con un factor de seguridad global mayor que uno. Por lo tanto el geotextil NT 3000 es el adecuado para utilizarlo como filtro en este proyecto. (Rodríguez, 1999, pág. 190)

3. NORMAS A UTILIZAR PARA EL DISEÑO DE FILTROS

3.1 CAPA FILTRANTE

Capa Filtrante; es el material especial que se coloca sobre los taludes debajo del zampeado, para evacuar el agua que se acumula en esos lugares.

3.1.1 MATERIALES

REQUISITOS DE LOS MATERIALES. Los materiales para la construcción de la capa filtrante deben cumplir con lo establecido en las siguientes secciones:

(a) Arena. La arena para el relleno permeable debe cumplir con los requisitos de la norma AASHTO M 6, Clase B.

(b) Grava o piedra triturada. El Contratista debe suministrar grava o piedra triturada dura y durable que cumpla con los requisitos de graduación de la siguiente tabla 3

TABLA 3

Requisitos de Graduación de la Capa Filtrante (ICCSA, 2001, pág. 610)

Tamaño del Tamiz	Porcentaje en masa que pasa el Tamiz (AASHTO T 11 Y T 27)
75.0 mm	100
19.0 mm	50-90
4.75 mm	20-50
0.075 mm	0-2

3.1.2 REQUISITOS DE CONSTRUCCIÓN

COLOCACIÓN. Antes de colocar los materiales de la capa filtrante, se debe nivelar y compactar la superficie. Posteriormente se deben colocar los materiales de la capa filtrante cuidadosamente, de tal manera que se construyan capas bien conformadas y de espesor uniforme. El material fino debe quedar en contacto con el terraplén de los taludes o sub-rasante y a continuación el material grueso sobre el cual va colocado el zampeado o pavimento.

3.2 RELLENOS DE ROCA

Son las estructuras formadas de rocas unidas unas con otras, sin uso de mortero, acomodadas de tal manera que dejen entre sí la menor cantidad de espacios vacíos, sin necesidad de formar hiladas uniformes. La forma de los muros o contrafuertes de roca puede ser regular o irregular, pero siempre de consistencia sólida y rígida.

3.2.1 MATERIALES

REQUISITOS DE LA ROCA.

(a) Roca colocada mecánicamente. El Contratista debe suministrar roca dura y durable de forma angular, resistente a la intemperización y bien graduada de acuerdo con lo indicado en la tabla 4

TABLA 4

Graduación para Roca Colocada Mecánicamente (ICCSA, 2001, pág. 252)

Porcentaje en Masa de Fragmentos de Roca	Masa en Kilogramos	Dimensión Cúbica Equivalente (mm)
50	Mayor que 900	Mayor que 700
50	40 a 900	250 a 700

(b) Roca colocada manualmente. El Contratista debe suministrar roca dura y durable de forma angular, resistente a la intemperización y bien graduada de acuerdo con lo indicado en la tabla 5.

TABLA 5

Graduación para Roca Colocada Manualmente (ICCSA, 2001, pág. 252)

Porcentaje en Masa de Fragmentos de Roca	Masa en Kilogramos	Dimensión Cúbica Equivalente (mm)
75	Mayor que 75	Mayor que 300
25	40 a 75	250 a 300

(c) Otros requerimientos de la roca. Adicionalmente, ya sea que la roca sea colocada mecánicamente o manualmente, ésta debe cumplir con lo siguiente:

- | | | |
|-----|--|--------------|
| (1) | Gravedad específica aparente, AASHTO T 85 | 2.30 mínimo |
| (2) | Absorción, AASHTO T 85 | 4.2 % máximo |
| (3) | Índice de durabilidad (grueso), AASHTO T 210 | 52 mínimo |

3.2.2 REQUISITOS PARA LA CONSTRUCCIÓN

COLOCACION DE LA ROCA. Antes de colocar la roca, se deben efectuar los trabajos de Excavación y Terraplenes, Excavación Estructural y Relleno para Estructuras, correspondientes, a las Secciones 203, 205 y 206, respectivamente. La roca se debe colocar con una orientación estable con un mínimo de vacíos y de tal forma que se produzca un patrón aleatorio en la colocación. Se deben utilizar fragmentos de roca con un tamaño menor que el tamaño mínimo de la roca para acuñar las rocas más grandes fijamente en su posición y para llenar los vacíos existentes entre las rocas grandes. (ICCSA, 2001, pág. 252)

El rostro expuesto de la masa de roca debe quedar razonablemente uniforme sin proyecciones extendiéndose fuera de la alineación de la pendiente. La tolerancia en la proyección es de 300 milímetros para las rocas colocadas mecánicamente o de 150 milímetros para las rocas colocadas a mano. (ICCSA, 2001 pág. 252).

3.3 SUB-DRENAJES

Sub-Drenaje. Es el drenaje de aguas subterráneas, que se construye de tuberías perforadas, geotextil y materiales pétreos para filtro, geocompuestos o simplemente de materiales pétreos (Drenaje Francés). (ICCSA, 2001 pág. 605)

Geocompuesto. Consiste en dos planchas interceptoras del agua subterránea conformadas por geotextiles no tejidos y georedes de polietileno. La geored es el medio drenante encargado de transportar el agua que pasa a través del filtro (geotextil). El agua interceptada por las planchas interceptoras desciende y es interceptada en el fondo por una tubería envuelta en geotextil que la conduce a una caja o cabezal para sacarla al exterior. En algunos casos no se usa la tubería sino que el agua es conducida directamente por el todo el sistema del geocompuesto. (ICCSA, 2001 pág. 605)

3.3.1 MATERIALES

3.3.1.1 SUB-DRENAJE DE TUBERÍA PERFORADA

a) Tubería de concreto poroso. Ésta debe cumplir con los requisitos de la norma AASHTO M 176M.

b) Tubería perforada de arcilla. Ésta debe cumplir con los requisitos de la norma AASHTO M 65, excepto que se puede utilizar la tubería con extremo liso que cumpla con todos los requisitos de dicha norma. Se podrán efectuar modificaciones en el diseño del extremo con campana para facilitar el posicionamiento de las perforaciones o la colocación de la tubería. Dichas modificaciones deben ser aprobadas por el Delegado Residente antes de ser hechas. La tubería modificada debe cumplir con todos los requisitos relativos al comportamiento y a los ensayos indicados en AASHTO M 65.

Si se utiliza tubería con extremo liso, se deben usar acoples en las juntas, capaces de mantener la tubería en la alineación especificada.

c) Tubería Perforada Corrugada de Acero. Esta tubería y sus bandas de acoplamiento deben cumplir con los requisitos de las normas AASHTO M 36 y AASHTO M 218 con las modificaciones siguientes. La tubería debe cumplir con cualquiera de los tipos circulares especificados en AASHTO M 36 y los agujeros deben ser perforados o punzonados. Las perforaciones deben ser localizadas en las crestas interiores. El Contratista debe suministrar al Delegado Residente un Certificado de Calidad emitido por el fabricante de las tuberías.

Para unir los tubos se pueden usar anillos de acoplamiento o encamisados con tornillos. Los anillos pueden ser de plástico o de acero galvanizado, adecuados para sostener firmemente la tubería en la alineación especificada, sin el uso de compuestos selladores o empaques. Las propiedades mecánicas de las uniones deben ser tales que no permitan su distorsión bajo condiciones normales de uso.

d) Tubería Perforada de Material Plástico. La tubería perforada plástica debe ser de pared exterior e interior lisa de cloruro de polivinilo (PVC), corrugada de cloruro de polivinilo (PVC) con pared interior lisa, corrugada de polietileno o de acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS). (AASHTO M 278)

Las tuberías de pared lisa de cloruro de polivinilo (PVC) deben cumplir con los requisitos de la norma AASHTO M 278. La tubería corrugada de PVC con pared interior lisa debe cumplir con los requisitos del material y estructurales de AASHTO M 278.

La tubería corrugada de polietileno debe cumplir con los requisitos de la norma AASHTO M 252 o M 294.

La tubería de acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) debe cumplir con los requisitos de la norma AASHTO M 264.

Las perforaciones de la tubería corrugada de PVC y de polietileno deben estar localizadas en la mitad inferior y deben consistir de ranuras que llenen los requisitos de tamaño y de área indicados en AASHTO M 252. El diámetro interior y las tolerancias en el diámetro deben cumplir con AASHTO M 252 o AASHTO M 278. Las perforaciones de la tubería de ABS deben cumplir con los requisitos de AASHTO M 278.

La tubería de PVC debe ser conectada con extremos de campana y espiga o con anillos de acoplamiento o de tope que cumplan con AASHTO M 278. La tubería de polietileno debe ser conectada con accesorios y acoples de traba, de rosca o encamisada que cumplan con AASHTO M 252 o AASHTO M 294.

El Contratista debe suministrar al Delegado Residente un Certificado de Calidad emitido por el fabricante de las tuberías.

e) Tubería perforada de aluminio. La tubería y sus acoples deben cumplir con los requisitos de la norma AASHTO M 196 con las siguientes modificaciones. La tubería debe ser Tipo III y los agujeros deben ser perforados o punzo nados. El espesor mínimo de la lámina debe ser de 1.52 mm. Se puede utilizar encamisado en vez de los anillos de unión requeridos en AASHTO M 196. Los acoples pueden ser plásticos o de aluminio, capaces de sostener la tubería en su posición sin el uso de compuestos selladores o empaques. Las propiedades mecánicas de los acoples deben ser tales que no permitan su distorsión bajo condiciones normales de uso.

f) Salidas y sifones para sub-drenaje. Las salidas y los sifones terminales para sub-drenaje, los sifones de 90° y los de 45° consistentes en cubiertas, tubería, bandas de acoplamiento, codos, T's y Y's, deben ser suministrados e instalados de acuerdo con los detalles mostrados en los planos, según estas Especificaciones Generales y las Disposiciones Especiales. (ICCSA, 2001 pág. 605) Las salidas y sifones deben ser fabricados con el mismo material que la tubería de sub-drenaje. Excepto por las cubiertas y las bandas de acoplamiento, en ninguna instalación se debe combinar tubería de aluminio con acero. Las salidas y sifones y sus accesorios no deben ser perforados, se debe colocar y fijar inmediatamente sobre los extremos de las salidas y de todos los tubos expuestos una malla de alambre galvanizado de 1.4 mm de diámetro con aberturas de 13 x 13 mm.

g) Agregado para Sub-drenaje sin Geotextil. El agregado debe ser arena natural limpia y libre de materia orgánica o un producto elaborado compuesto de partículas de piedra sin revestimiento, limpias, duras, durables y libres de terrones de arcilla y materia orgánica. El agregado debe cumplir con la graduación indicada en la tabla 6. (ICCSA, 2001, pág. 605)

TABLA 6

Graduación para el Agregado Fino (AASHTO M 6) en (ICCSA, 2001, pág. 605)

Tamices AASHTO M 92	Porcentaje total que pasa
$\frac{3}{8}$ " (9.50 mm)	100
N° 4 (4.75 mm)	95-100
N° 8 (2.36 mm)	80-100
N° 16 (1.18 mm)	50-85
N° 30 (0.600 mm)	25-60
N° 50 (0.300 mm)	10-30
N° 100 (0.150 mm)	2-10

Agregado para sub-drenaje con geotextil: El agregado para sub-drenaje con geotextil debe consistir en piedra triturada, grava triturada o simplemente grava. Las partículas deben ser duras y durables, de calidad uniforme, libres de exceso de piedras alargadas o delgadas, deben estar limpias exentas de arcilla u otras sustancias perjudiciales. El agregado debe cumplir con cualquiera de las graduaciones indicadas en la tabla 7.

TABLA 7

Graduación para Agregado Grueso en (ICCSA, 2001, pág. 605)

Tamices AASHTO M 92	Porcentaje total que pasa		
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
1 ½" (38.1 mm)	100		
1" (25.0 mm)	95-100	100	
¾" (19.0 mm)		90-100	100
½" (12.5 mm)	25-60		90-100
$\frac{3}{8}$ " (9.50 mm)		20-55	40-70
N° 4 (4.75 mm)	0-10	0-10	0-15
N° 8 (2.36 mm)	0-5	0-5	0-5

h) Geotextil Tipo I. El geotextil para filtro a ser utilizado en los sub-drenajes debe ser del tipo No-Tejido, punzonado por agujas y debe cumplir con los requisitos de la Tabla 8. El geotextil debe ser diseñado para permitir el paso del agua mientras retiene el suelo en el sitio sin apelmarsarse. Adicionalmente, el geotextil debe cumplir con las características de supervivencia durante la instalación indicadas en (ICCSA, 2001, pág.

211, 03 a)) En la tabla 8 en la columna de especificaciones se encuentran los geotextiles por tipo, y según el tipo se encuentran dos valores por ejemplo 1100/700, el valor más alto (1100) representa al valor típico del geotextil este valor significa que será la capacidad mayor de resistencia que soportara el geotextil en su uso, el valor menor (700) significa que será la resistencia mínima el cual está diseñado el geotextil para su uso.

TABLA 8 Requerimientos Físicos para Geotextil en Función de Drenaje Subterráneo (ICCSA, 2001, pago. 605)

Propiedades	Método de ensayo ASTM	Un.	Especificaciones					
			Porcentaje de suelo que pasa el tamiz 0.075 mm					
			< 15	15 a 50	> 50	< 15	15 a 50	> 50
			Geotextil Clase 2			Geotextil Clase 3		
			Tipo I-A	Tipo I-B	Tipo I-C	Tipo I-D	Tipo I-E	Tipo I-F
Resistencia a la Tracción Grab	D 4632	N	1100/700	1100/700	1100/700	800/500	800/500	800/500
Resistencia de la costura	D 4632	N	990/630	990/630	990/630	720/450	720/450	720/450
Resistencia al Desgarre	D 4533	N	400/250	400/250	400/250	300/175	300/175	300/175
Resistencia a la Perforación	D 4833	N	400/250	400/250	400/250	300/175	300/175	300/175
Resistencia al Reventado	D 3786	kPa	2750/1350	2750/1350	2750/1350	2100/950	2100/950	2100/950
Permisividad	D 4491	s ⁻¹	0.5	0.2	0.1	0.5	0.2	0.1
Abertura Aparente de Poros ⁽⁶⁾	D 4751	mm	0.45	0.25	0.22	0.45	0.25	0.22
Estabilidad a los Rayos Ultravioleta	D 4355	%	50 % después de 500 horas de exposición					

3.3.2 SUB-DRENAJE DE DRENAJE FRANCES

(a) Material para Drenaje Francés. Este material puede ser piedra de canto rodado, material de cantera o material de desecho adecuado, pero teniendo siempre el cuidado de no usar material deleznable o que esté recubierto de grumos o terrones de arcilla, pudiendo ser de cualesquiera forma y dimensiones. Este material no debe tener ninguna granulometría definida.

(b) Capa Impermeable. Sobre las capas de material para filtro, se debe colocar una capa de material impermeable de preferencia arcilla o cualquier otro, que garantice un buen recubrimiento, que evite cualquier deterioro de las capas del material de filtro.

GEOCOMPUESTOS PARA SUB DRENAJE. Consiste en el suministro de un núcleo de drenaje con geotextil para drenaje subterráneo adherido a, o encapsulando el núcleo. Debe incluir todos los accesorios y materiales necesarios para empalmar una lámina, panel o rollo al siguiente, así como, para conectar el geocompuesto de drenaje al colector o tubería de salida o desfogue.

Para el núcleo del drenaje se deben utilizar polímeros sintéticos de cadena larga compuestos de por lo menos 85% en masa de polipropileno, poliéster, poliamida, cloruro de polivinilo, poliolefina o polietileno. El núcleo se debe fabricar en láminas, paneles o rollos con la resistencia adecuada para soportar los esfuerzos producidos durante la instalación, así como durante las condiciones de carga a largo plazo. El espesor del núcleo se debe construir mediante columnas, conos, nudos, cúspides, mallas, filamentos rígidos u otras configuraciones.

Se deben suministrar geocompuestos de drenaje con una resistencia mínima a la compresión de 275 kPa cuando sean ensayados de acuerdo con el procedimiento A de la norma ASTM D 1621. Se deben suministrar empalmes, accesorios y conectores con la resistencia suficiente para mantener la integridad del sistema durante el manejo, en la construcción y en la aplicación de cargas permanentes, sin interrumpir el flujo o dañar el núcleo.

Si el geocompuesto para drenaje se almacena a la intemperie, se debe elevar y proteger las láminas, paneles o rollos con cubiertas impermeables y resistentes a la radiación ultravioleta. Cuando se utilice un geocompuesto en una instalación permanente se debe limitar la exposición del geocompuesto a la radiación ultravioleta a menos de 10 días.

Cuando se requieran muestras, se debe proveer una muestra de 1.0 metro cuadrado de los productos suministrados, ya sean que éstos estén en forma de lámina o panel o una muestra de 1 metro de longitud por el ancho completo de los productos suministrados en presentación de rollo. Se debe etiquetar la muestra con el número de lote y de partida, fecha de la toma de la muestra, nombre y/o número del proyecto, número del renglón, nombre del fabricante y nombre del producto.

El flujo horizontal y vertical del agua dentro del núcleo debe interconectarse en todo momento a lo largo de toda la altura del núcleo. El núcleo del drenaje, con el geotextil encapsulándolo totalmente, debe proveer una razón de flujo mínimo de 1 litro por segundo por metro de ancho cuando se ensaye de acuerdo con la norma ASTM D 4716 bajo las siguientes condiciones de ensayo: en (ICCSA, 2001, pág. 605)

- 1) Espécimen de 300 milímetros de longitud
- 2) Carga aplicada de 69 kPa
- 3) Gradiente de 0.10
- 4) Período de asiento de 100 horas
- 5) Banda de esponja de celda cerrada entre las platinas y el geocompuesto

Se debe adherir firmemente el geotextil al núcleo de manera que no se formen dobleces, arrugas ni ocurra otro tipo de movimiento durante el manejo o después de la colocación. Se debe alcanzar la adherencia necesaria utilizando adhesivo insoluble en agua, sellador en caliente u otro método recomendado por el fabricante. No se debe utilizar adhesivo en las áreas del geotextil en las cuales ocurrirá el flujo. Si se utiliza sellador en caliente, no se debe debilitar el geotextil a valores de resistencia más bajos que los requeridos. Se debe extender la tela geotextil debajo de la parte inferior del núcleo con una longitud suficiente para recubrir completamente la tubería colectora.

Tubería perforada corrugada de acero. Las perforaciones deben ser aproximadamente circulares y cortadas limpiamente. Deben tener diámetro nominal de no menos de 4.8 mm y no más de 9.5 mm y deben estar arregladas en filas paralelas al eje de la tubería. Las perforaciones se deben ubicar en las crestas interiores o a lo largo del eje neutro de las corrugaciones, con una perforación en cada fila para cada corrugación. Las filas de perforaciones deben estar arregladas en dos grupos iguales colocados simétricamente a cualquier lado de un segmento inferior no perforado correspondiente a la línea de flujo de la tubería. El espaciamiento de las filas debe ser uniforme. La distancia centro a centro de las filas no debe ser menor de 25 mm. El número mínimo de filas, la altura máxima de las líneas centrales de las filas superiores medidas desde la parte inferior del invert (H) y las longitudes de la cuerda interior de los segmentos no perforados (L) deben ser los indicados en la tabla 9.

TABLA 9

Numero de filas, altura máxima de las líneas de las filas superiores medidas desde la parte inferior del invert (H) y las longitudes de la cuerda interior de los segmentos no perforados (L). (ICCSA, 2001, pág. 605)

Diámetro interior (mm)	Filas de perforaciones ⁽¹⁾	H máx. (mm)	L mín. (mm)
100	2	46	64
150	4	69	96
200	4	92	128
250	4	115	160
300	6	138	192
400	6	184	256
450	6	207	288
500	6	230	320
600 y mayores	8	-3	-3

(1) Número mínimo de filas.

(2) Se permite un mínimo de 4 filas en tubería con corrugaciones de 38 x 6.5 mm.

(3) $H(\text{máx.}) = 0.46D$, $L(\text{mín.}) = 0.64D$, donde D es el diámetro interior de la tubería.

(f) Tubería perforada de aluminio. Las perforaciones deben ser circulares y cortadas limpiamente y deben tener un diámetro nominal no menor de 4.8 mm ni mayor de 9.5 mm. Las perforaciones se deben localizar en las crestas interiores o a lo largo del eje neutro de las corrugaciones, con una perforación en cada fila para cada corrugación. Las filas de perforaciones deben estar arregladas en dos grupos iguales colocados simétricamente a cualquier lado de un segmento inferior no perforado correspondiente a la línea de flujo de la tubería. El espaciamiento de las filas debe ser uniforme. La distancia entre la línea central de las filas no debe ser menor de 25 mm. El número mínimo de filas, la altura máxima de las líneas centrales de las filas superiores medidas desde la parte inferior del invert (H) y las longitudes de la cuerda interior de los segmentos no perforados (L) deben ser los indicados en la tabla 10.

TABLA 10

Número mínimo de filas, la altura máxima de las líneas centrales de las filas superiores medidas desde la parte inferior del invert (H) y las longitudes de la cuerda interior de los segmentos no perforados (L) en (ICCSA, 2001, pág. 205)

Diámetro interior (mm)	Filas de Perforaciones	H máximo (mm)	L mínimo (mm)
100	2	46	64
150	4	69	96
200	4	92	128
250	4	115	160
300	6	138	192
400	6	184	256
450	6	207	288
500	6	230	320
600 y mayores	8	-2	-2

- (1) Número mínimo de filas.
- (2) Se permite un mínimo de 4 filas en tubería con corrugaciones de 38 x 6.5 mm.
- (3) $H(\text{máx.}) = 0.46D$, $L(\text{mín.}) = 0.64D$, donde D es el diámetro interior de la tubería.

(g) Tubería perforada de material plástico. Las perforaciones deben ser circulares con un diámetro entre 4.8 y 9.5 mm, arregladas en filas paralelas al eje de la tubería. Las perforaciones deben estar espaciadas 76 mm centro a centro a lo largo de la fila. Las filas de perforaciones deben estar arregladas en dos grupos iguales colocados simétricamente a cualquier lado del segmento inferior no perforado, correspondiente a la línea de flujo. El espaciamiento de las filas debe ser uniforme. La distancia entre centros de filas no debe ser menor de 25 mm. El número mínimo de filas, la altura máxima de las líneas centrales de las filas superiores medidas desde la parte inferior del invert (H) y las longitudes de la cuerda interior de los segmentos no perforados (L) deben ser los indicados en la tabla 11.

TABLA 11

Número mínimo de filas, la altura máxima de las líneas centrales de las filas superiores medidas desde la parte inferior del invert (H) y las longitudes de la cuerda interior de los segmentos no perforados (L) en (ICCSA, 2001, pág. 605)

Diámetro interno (mm)	Filas de perforaciones	H, máx. (mm)	L, mín. (mm)
100	2	46	64
150	4	69	96
200	4	92	128
250	4	115	160
300	6	138	192
375	6	172	240

a) Drenaje Francés.

(1) Material para Drenaje Francés. Este material puede ser piedra de canto rodado, material de cantera o material de desechos adecuado, pero teniendo siempre el cuidado de no usar material deleznable o que esté recubierto de grumos o terrones de arcilla, pudiendo ser de cualesquiera forma y dimensiones. Este material no debe tener ninguna granulometría definida.

Después que la excavación haya sido terminada de acuerdo con la línea y pendiente dada, se debe colocar en forma tal que las piedras de mayores dimensiones, queden en el fondo de la excavación y colocar hacia arriba consecutivamente las de dimensiones menores en forma decreciente y a continuación el material fino. Las piedras que van apoyadas en el fondo de la excavación, deben tener por lo menos en su dimensión menor, un tamaño de un 35% del ancho de la excavación para que en conjunto con la capa inmediata superior, formen un canal en el fondo de la excavación.

Para drenaje francés, las pendientes deben ser 0.3% mínimo y 0.5% máximo.

(2) Capa impermeable. Sobre las capas del drenaje francés, se debe colocar una capa impermeable de preferencia arcilla o cualquier otro, que garantice un buen recubrimiento, que evite cualquier deterioro de las capas del material de filtro.

(b) Sub-Drenaje con Geotextil (con o sin tubería perforada).

(b.1) Geotextil. El geotextil para filtro debe ser colocado después de haber sido terminada la excavación, recubriendo el fondo y las caras laterales de la zanja hasta una altura igual a la altura del filtro de agregado grueso y cubriendo totalmente la parte superior del mismo. La superficie donde se colocará la tela debe estar libre de materiales extraños y sueltos y de objetos cortantes que puedan dañar el geotextil durante su instalación. El geotextil se debe colocar suelto (no tenso), sin arrugas ni pliegues. Se debe tener especial cuidado para evitar que queden espacios vacíos entre el geotextil y la zanja. Los rollos adyacentes de geotextil deben ser traslapados un mínimo de 500 mm. El nuevo rollo siempre deberá ir por debajo del antiguo, en el sentido del flujo si se daña el geotextil durante la colocación, la sección rota o punzonada debe ser reemplazada totalmente o reparada colocando un parche lo suficientemente grande para cubrir el área dañada y que llene los requisitos de traslape.

Los daños hechos al geotextil, resultantes de las operaciones del Contratista, de sus vehículos o de su equipo, deben ser reparados o el geotextil reemplazado, a su costa.

(b.2) Tubería Perforada. Cuando se indique en los planos, la tubería perforada se debe colocar después de colocar el geotextil y sobre una cama, de 50 milímetros de espesor, de material granular. La capa de material granular servirá para acunarse perfectamente el geotextil al fondo y paredes de la zanja para evitar que queden espacios vacíos entre el geotextil y la zanja. La colocación se debe principiar en el extremo de aguas abajo, con los extremos de campana o ranura en la dirección aguas arriba. La tubería perforada se debe colocar de tal manera, que no haya perforaciones en la mitad superior de ella. La tubería de metal corrugado se debe asegurar, sujetándola con fajas ó pernos de acoplamiento.

La tubería perforada se debe conectar a los pozos de visita, tragantes y similares, según lo requieran los planos o lo ordene el Delegado Residente; y se debe hacer la conexión o salida construyendo un cabezal apropiado. En los casos en que se requiera sub-drenajes de tubería perforada con ramales, en el centro de la carretera, las conexiones de éstos entre sí se deben hacer con los accesorios apropiados, los cuales el Contratista debe proporcionar como parte de este trabajo. Para los sub-drenajes laterales de 100 y 150 milímetros de diámetro, la pendiente mínima debe ser de 0.2 á 0.3%. Normalmente para todos los sub-drenajes, la pendiente debe ser 0.5% mínimo y 1.00% máximo.

(b.3) Material Granular. El material granular se colocará en capas con el espesor autorizado por el Delegado Residente y empleando un método que no de lugar a daños en el geotextil o en las paredes de la zanja. Para las condiciones normales de colocación, la altura máxima de caída del material no debe exceder de 1.0 metro. El relleno se llevará a cabo hasta la altura indicada en los planos o autorizada por el Delegado Residente.

Completado el relleno del filtro con el material granular, se harán los traslapes del geotextil. El geotextil debe ser cubierto inmediatamente con el suelo proveniente de la excavación, si éste no es inadecuado. Este material se debe compactar en capas sucesivas con un espesor no mayor de 100 milímetros hasta alcanzar la altura requerida en los planos. Si el material es inadecuado, se deberá obtener material de relleno de otro lugar.

(c) Geocompuestos. Cuando así este indicado su uso en los planos, se debe extender la manga del geocompuesto para introducir la tubería perforada. El geocompuesto debe ser colocado de manera que no se restrinja el flujo a través del núcleo. No se debe colocar geocompuestos contra un mortero de menos de 4 días de edad. Los rollos del geocompuesto, deben empalmarse de manera que se evite la infiltración de suelo dentro del núcleo. Los empalmes deben construirse de manera que el flujo en los extremos a empalmar sea continuo. El geotextil debe ser traslapado un mínimo de 75 mm en la dirección del flujo del agua. En los empalmes verticales el geotextil debe traslaparse en la dirección en que se coloque el material de relleno.

El geocompuesto ya ensamblado con el tubo debe ser colocado dentro de la zanja del sub-drenaje con el rostro del geocompuesto contra el lado de la zanja donde fluye el agua. El geocompuesto se anclará al terreno natural de tal forma que no se vaya a deslizar. Para su anclaje se utilizarán ganchos metálicos. Si la pared de la zanja es irregular, ésta debe ser alisada ó se debe colocar una capa de material granular entre el geocompuesto y la pared de la zanja.

Se utilizará como material de relleno de la zanja el mismo suelo de la excavación. Si este suelo presenta un índice de plasticidad mayor a 7, se reemplazará por otro material de mejor calidad. El resto del relleno debe ser colocado y compactado de acuerdo con lo indicado en la sección 205. Cuando se utilice un geocompuesto junto con una membrana impermeable en muros de contención fabricados de concreto estructural, los paneles del drenaje, compatibles con la membrana, deben ser instalados utilizando métodos recomendados por el fabricante de la membrana.

El núcleo de drenaje debe ser conectado a la tubería colectora de manera que el flujo sea continuo a través de todo el sistema. en (ICCSA, 2001, pág. 205).

3.4 RELLENO PERMEABLE

Relleno Permeable. Es el material especial que se coloca entre una estructura cualquiera y el terraplén de la carretera, con el objeto de evacuar el agua que se acumula en esos lugares. Estas estructuras pueden ser: Muros, Cabezales, Muros de Retención o Estribos de Puentes.

3.4.1 MATERIALES

Los materiales para la construcción del relleno permeable deben cumplir con lo establecido a continuación.

- (a) Relleno permeable. El Contratista debe suministrar arena que cumpla con lo establecido en AASHTO M 6, clase B, y/o agregado grueso consistente de partículas de grava, escoria o piedra triturada estables y durables que cumplan con los requisitos de graduación indicados en la tabla 12. (ICCSA, 2001, pág. 207)

TABLA 12

Graduación para Relleno Permeable en (ICCSA, 2001, pág. 207)

Tamaño del Tamiz	Porcentaje en Masa que pasa el Tamiz Estándar (AASHTO T 11 y T 27)
75.0 mm	100
19.0 mm	50-90
4.75 mm	20-50
0.075 mm	0-2

4. HOJA ELECTRÓNICA PARA EL DISEÑO DE FILTROS DE GRAVA Y FILTROS DE GEOTEXTIL PARA SUELOS

4.1 HOJA ELECTRÓNICA PARA EL DISEÑO DE FILTRO DE GRAVA

La hoja electrónica para el diseño de filtros de grava, es una herramienta que proporciona la facilidad de diseñar un filtro de grava. Esta hoja está programada tomando de base los criterios que se indican en el capítulo 2.1 de esta tesis.

Para poder utilizar esta hoja electrónica tiene que tener instalado el programa Microsoft Office Excel 97-2003, o 2007 en su computadora.

En amarillo se encuentran las casillas que son las únicas casillas donde usted debe ingresar datos.

La hoja electrónica tiene limitantes: da una orientación, del filtro que se puede usar, no le dice exactamente que material de filtro debe usar pero si le proporciona los límites donde debe aplicar su criterio para la elección del filtro. La hoja electrónica no le dice cuanto le costara el sistema de filtro, únicamente lo diseña, el constructor deberá calcular siempre su costo y tomar en cuenta el fundamento teórico que se provee en esta tesis para que en base a su criterio pueda tener la solución de filtro adecuado para el proyecto.

4.1.1 Utilización de la hoja electrónica para el diseño de filtros de grava

4.1.1.1 Para poder diseñar usted mismo su propio filtro de grava, abra el disco que se encuentra en esta tesis, abra el archivo que tiene como nombre DISEÑO DE FILTRO DE GRAVA PARA SUELOS.

4.1.1.2 Ahora ya tiene una hoja Excel abierta en su computadora, seleccione la pestaña de color rojo que está en la parte inferior de la hoja que tiene como nombre INGRESO DE DATOS.

4.1.1.3 En este momento ya tiene la hoja en su vista, donde ya puede ingresar las características del suelo base que se tenga en el proyecto el cual se requiere diseñar un filtro de grava.

4.1.1.4 Ingresar datos. Se recomienda que al momento de usar esta hoja electrónica, ya se haya extraído una muestra del suelo base, y se haya hecho el ensayo de Granulometría, Límites de Atterberg y permeabilidad del suelo.

INGRESO DE DATOS

PASO 1

**EXTRAER MUESTRA DEL SUELO BASE
Y HACER ENSAYO DE
GRANULOMETRIA**

4.1.1.5 Ingrese los resultados obtenidos del ensayo de granulometría del suelo base en la columna de color amarillo. (ver tabla 4.1.1.5)

PASO 2

Ingresar datos proporcionados por ensayo
de granulometria del material base

Cuando no se utilicen los demas tamices, en la
columna de % Pasa, colocar 100%



TABLA 4.1.1.5

TAMIZ	d mm	% Pasa Granulometria Material Base
Nº 200	0.074	10.35%
Nº 40	0.420	16.07%
Nº 10	2.000	40.27%
Nº 4	4.760	60.16%
3/4	19.050	92.73%
1 1/2	39.100	100.00%
2	50.000	100.00%
3	80.000	100.00%

4.1.1.6 Ingresar el valor verdadero menor, en el cuadro de color amarillo, sin tomar en cuenta los verdaderos con valor cero (ver tabla 4.1.1.6)

PASO 3

TABLA 4.1.1.6

D85	F/V
2.43	FALSO
8.89	FALSO
16.89	FALSO
26.90	FALSO
69.85	VERDADERO
129.54	VERDADERO
0.00	VERDADERO
0.00	VERDADERO
0.00	FALSO



CALCULO DEL D85

Si el valor de "D85" es verdadero, tomar el menor de los verdaderos, omitir ceros

USAR D85 **69.85** mm, es el tamaño de la partícula del material que pasa el 85 %

4.1.1.7 Basado en los límites máximo y mínimo del tamaño de partículas que puede funcionar para un filtro de grava, ingrese en las columnas amarillas un número que este dentro de los límites y proponga un porcentaje de partículas que pasan los tamices. (ver tabla 4.1.1.7)

PASO 4

RESULTADOS

Proponer un material de filtro

TABLA 4.1.1.7

TAMAÑO DE PARTICULA		MATERIAL FILTRO		TAMIZ
MINIMO	MAXIMO	TAMAÑO DE PARTICULA	% QUE PASA	
0.30	69.85	2.00	2.00%	Nº 200
1.68	71.53	15.00	30.00%	Nº 40
8.00	77.85	29.00	45.00%	Nº 10
19.04	88.89	52.00	65.00%	Nº 4
76.20	146.05	86.00	80.00%	3/4
152.40	222.25	150.00	98.00%	1 1/2
0.00	69.85	0.00	100.00%	2
0.00	0.00	0.00	100.00%	3

4.1.1.8 Verificar que se cumpla la siguiente condición dada. El tamaño de la partícula de filtro que paso el 15% dividido el tamaño de la partícula del suelo base que paso el 85% debe ser menor que 4; y el tamaño de la partícula que paso el 15% del material de filtro, dividido el tamaño de la partícula que paso el 15% del material base debe ser mayor que 4. (Obtener estos valores de la grafica de granulometría)

Ejemplo: Esta es la gráfica que genera la hoja electrónica que se provee en esta tesis, para obtener el valor D_{15F} se va a la grafica y busca el eje de las ordenadas o eje Y, verá que en este eje hay valores en % ahora en la gráfica está trazada una línea horizontal de color rojo, esta línea está marcando el nivel en donde se encuentra el 15%, después de haber identificado la línea roja horizontal, vea donde intercepta la curva de color verde, que es la curva del filtro, ahora trace una perpendicular a la línea roja donde intercepto la curva verde y vea en que valor lo indica la línea perpendicular que está en color amarillo y que esta interceptando en eje x, en este caso el valor es 5 mm. El valor que corresponde al D_{15F} es 5mm. De igual forma se calculan los valores D_{15B} , en este caso se intercepta la línea roja con la curva azul que es la del material base, y donde se une la línea horizontal con la curva de color azul se traza una perpendicular (de color naranja que pasa el eje x) y de allí se obtiene el valor en el eje x, para este caso D_{15B} corresponde a 0.4mm, para obtener el valor D_{85B} vea el eje Y y vea que existe en la misma grafica de curva granulométrica una línea horizontal de color negro que está marcado el 85%, ahora vea donde se une esta línea horizontal negra con la curva de color azul que es la que representa al material base, y donde se unen haga una línea perpendicular (en este ejemplo está marcada con rojo) hacia el eje X y vea en que valor corta el eje en este caso el D_{85B} es 11mm. (ver figura 31)

PASO 5

DEBE CUMPLIR

$$\frac{D_{15F}}{D_{85B}} < 4$$

$$\frac{D_{15F}}{D_{15B}} > 4$$

4.1.1.9 La curva granulométrica del filtro debe ser aproximadamente paralela a la del material base. Ver curva granulométrica, si el material del filtro propuesto que está

representado con la curva de color verde, queda fuera de las curvas de límite máximo y mínimo, representado por las curvas de color negro y rojo en la grafica el material que se está proponiendo para filtro no es el adecuado. Si la curva de color verde esta dentro de las curvas de color negro y rojo, este material si es el adecuado para utilizarlo como filtro de grava.

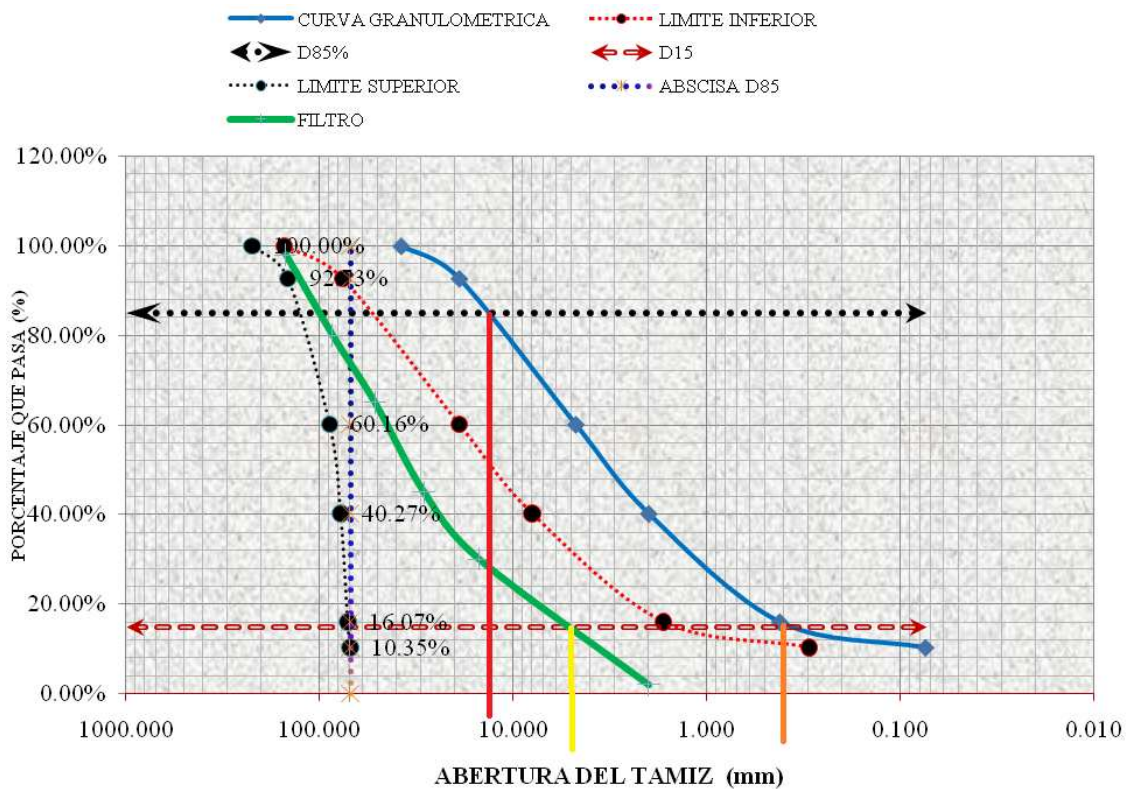


Figura 31

Curva granulométrica de material base, material de filtro y límites de material de filtros que provee la hoja electrónica para el diseño de filtros de grava para suelos, en (Hoja electrónica para diseño de filtros de grava para suelos). Elaboración propia.

4.1.1.10 Hacer el ensayo de granulometría del material que se está proponiendo para filtro. Es importante que cuando ya se tenga el banco del suelo que se está proponiendo para filtro, se le debe hacer un ensayo de granulometría, e ingresar los resultados en las

columnas de color amarillo, que están en el paso numero 4, y ver que se cumplan las condiciones que están indicadas en el paso 5.

4.1.1.11 Ver la grafica, si la curva verde esta dentro de las curvas negra y roja, este banco de material se puede usar como filtro, de lo contrario, no es el adecuado.

4.2 HOJA ELECTRÓNICA PARA EL DISEÑO DE FILTRO DE GEOTEXTIL

4.2.1 La hoja electrónica para el diseño de un filtro de geotextil, está hecha en base a los criterios indicados en el capítulo 2.2 de esta tesis.

4.2.1.1 Ingresar los datos, para poder ingresar los datos en esta hoja ya se tienen que tener los resultado de laboratorio de suelos de los ensayos de Granulometría, Permeabilidad y Límites de Atterberg del suelo base o suelo que será protegido.

INGRESO DE DATOS INICIALES

k	0.0022000	Permeabilidad del suelo (cm/s)
h	0.15	Profundidad del filtro (m)
nc	4	Numero de canales de flujo
nf	5	Numero de equipotenciales
	10	Ancho (m)
L	15	Longitud (m)
LL	37.60%	Limite liquido
IP	12.6	Indice de plasticidad
TIPO DE SUELO	Arena Arcillosa	
B	1.4287	TOMAR B EL COEFICIENTE MAYOR

Para:

K= Ver resultado de ensayo de permeabilidad.

h=proponer para su diseño según se requiera

nc= canales de flujo

nf= numero de equipotenciales

L = Longitud del filtro.

LL=ver resultado de ensayo de Límites de Atterberg.

IP=ver resultado de ensayo de Límites de Atterberg.

4.2.1.2 Los datos deben ser ingresados en las casillas que estén de color amarillo únicamente.

INGRESO DE DATOS

PASO 1

ENSAYO DE GRANULOMETRIA , PERMEABILIDAD Y LIMITES ATTERBERG SEGUN LABORATORIO DE SUELOS


4.2.1.3 Ingrese los resultados del análisis granulométrico del suelo base en la columna de color amarillo (ver tabla 4.2.1.3)

PASO 2

Ingresar datos proporcionados por ensayo de granulometria del material base

Cuando no se utilicen los demas tamices, en la columna de % Pasa, colocar 100%

TABLA 4.2.1.3



TAMIZ	d mm	% Pasa Granulometria Material Base
N° 200	0.074	10.35%
N° 40	0.420	16.07%
N° 10	2.000	40.27%
N° 4	4.760	60.16%
3/4	19.050	92.73%
1 1/2	39.100	100.00%
2	50.000	100.00%
3	80.000	100.00%

4.2.1.4 Ingresar los valores D85, D60, Y D10 en las casillas amarillas, tomar el menor de los verdaderos y omitir los que tengan valor cero. Los valores D85, D60 y D10 están por columna, cada uno. (ver tabla 4.2.1.4, esta tabla que se encuentra en la hoja electrónica que está en esta tesis, automáticamente da los valores de tamaño de partículas D85, D60, y D10)

PASO 3

TABLA 4.2.1.4

D85	F/V	D60	F/V	D10	F/V
2.43	FALSO	1.72	FALSO	0.29	FALSO
8.89	FALSO	6.27	FALSO	1.05	FALSO
16.89	FALSO	11.92	FALSO	1.99	FALSO
26.90	FALSO	18.99	VERDADERO	3.16	VERDADERO
69.85	VERDADERO	49.30	VERDADERO	8.22	VERDADERO
129.54	VERDADERO	91.44	VERDADERO	15.24	VERDADERO
0.00	VERDADERO	0.00	VERDADERO	0.00	VERDADERO
0.00	VERDADERO	0.00	VERDADERO	0.00	VERDADERO
0.00	FALSO	0.00	FALSO	0.00	FALSO

CALCULO DEL D85

Si el valor de "D85" "D60" "D10" es verdadero, tomar el menor de los verdaderos, omitir los verdaderos con valor cero

USAR D85	69.85	mm, es el tamaño de la partícula del material que pasa el 85 %
USAR D60	18.99	mm, es el tamaño de la partícula del material que pasa el 60 %
USAR D10	3.16	mm, es el tamaño de la partícula del material que pasa el 10 %

PASO 4

Determinación del Tamaño de Abertura Aparente (TAA), Según criterio de Retención

TAA= 0.3 mm si es un suelo cohesivo con un índice de plasticidad mayor a 7 el TAA debe ser TAA < 0.30 mm
Según el criterio de tamaño de apertura aparente indicado en el inciso 2.2.1.1.1 del capítulo 2.2.1

4.2.1.5 Ver la tabla 13 que está en la pestaña en la parte inferior de esta hoja electrónica, o verla impresa en el anexo número 1 de esta tesis, y proponer un geotextil que cumpla con las condiciones de permeabilidad $K_g > K_s$, ingrese el dato del geotextil propuesto y su permeabilidad en las 2 primeras casillas de color amarillo. Seleccionar en la parte inferior de la hoja electrónica la pestaña que tiene como nombre FACTORES DE RED GEOTEXTIL y ver los factores de reducción solicitado, según el tipo de proyecto, ingresar los datos en las casillas amarillas. (ver tabla 4.2.1.5)

PASO 5

Criterio de Permeabilidad

Proponer el tipo de Geotextil, cuya permeabilidad sea mayor a la permeabilidad del suelo

MAC DRAIN 2L FP	Geodren Propuesto Anexo 2
1.00	(cm/s) Ingrese Permeabilidad del geodren (tiene que ser mayor a la permeabilidad del suelo) Anexo 2
11.00	(mm) espesor del geodren Anexo 2
3.00	FRSC ver este factor en la tabla que esta en la pestaña con nombre FACTORES DE RED GEOTEXTIL Tabla 41
1.20	FRCR ver este factor en la tabla que esta en la pestaña con nombre FACTORES DE RED GEOTEXTIL Tabla 41
1.10	FRIN ver este factor en la tabla que esta en la pestaña con nombre FACTORES DE RED GEOTEXTIL Tabla 41
1.10	FRCC ver este factor en la tabla que esta en la pestaña con nombre FACTORES DE RED GEOTEXTIL Tabla 41
3.00	FRBC ver este factor en la tabla que esta en la pestaña con nombre FACTORES DE RED GEOTEXTIL Tabla 41

criterio de permeabilidad

$$K = 0.022 \text{ cm/s}$$

Donde:

FRSC = Factor de colmatación, ver tabla 41 impresa en esta tesis en el anexo numero 1 o ver en la pestaña inferior que tiene como nombre FACTORES DE RED GEOTEXTIL, que se encuentra en la hoja electrónica de diseño de filtros de geotextil para suelos que se provee en esta tesis.

FRCR = Factor de reducción de vacios, ver tabla 41 impresa en esta tesis en el anexo numero 1 o ver en la pestaña inferior que tiene como nombre FACTORES DE RED GEOTEXTIL, que se encuentra en la hoja electrónica de diseño de filtros de geotextil para suelos que se provee en esta tesis.

FRIN = Factor de intrusión en los vacios, ver tabla 41 impresa en esta tesis en el anexo numero 1 o ver en la pestaña inferior que tiene como nombre FACTORES DE RED GEOTEXTIL, que se encuentra en la hoja electrónica de diseño de filtros de geotextil para suelos que se provee en esta tesis.

FRCC = Factor de colmatación química, ver tabla 41 impresa en esta tesis en el anexo numero 1 o ver en la pestaña inferior que tiene como nombre FACTORES DE RED GEOTEXTIL, que se encuentra en la hoja electrónica de diseño de filtros de geotextil para suelos que se provee en esta tesis.

FRBC = Factor de colmatación biológica, ver tabla 41 impresa en esta tesis en el anexo numero 1 o ver en la pestaña inferior que tiene como nombre FACTORES DE RED

GEOTEXTIL, que se encuentra en la hoja electrónica de diseño de filtros de geotextil para suelos que se provee en esta tesis.

4.2.1.6 Si el FSG es mayor a 1 el geotextil propuesto es el adecuado a utilizar para filtro. Si no se cumple la condición, proponer otro geotextil y si es muy grande el flujo de agua utilizar un geodren y hacer de nuevo el cálculo completo. (ver tabla 4.2.1.6 cálculo de factor de seguridad para conocer si el filtro propuesto es el adecuado en el diseño)

PASO 6

TABLA 4.2.1.6

Factor de seguridad global (FSG)

Si el FSG, es menor a 1, recalcular y proponer un nuevo geotextil con resistencia mayor, si el FSG es mayor a uno, el geotextil propuesto es el indicado para el filtro.

FSG 9.60 FILTRO DE GEOTEXTIL ADECUADO

Si FSG > 1 El filtro que se esta proponiendo es el adecuado

Si FSG < 1 Cambiar de filtro o rediseñar

5. EJEMPLO Y COMPARACIÓN DE FILTRO DE GRAVA Y FILTRO DE GEOTEXTIL PARA SUELOS (CASO REAL)

Se requiere construir una zona filtrante donde existe mucha humedad y escorrentía superficial que se genera por las lluvias, la zona deberá ser funcional para caminamientos y paso vehicular, el suelo que existe en el lugar no se ha determinado porque no existen estudios anteriores. El área que se requiere construir es de 100 m de longitud, y 10 de ancho. Diseñar el filtro adecuado para utilizar.

En las fotos 5.1 a 5.10 se muestra el lugar donde se deberá construir el filtro adecuado y recomendado que se requiere, de aquí se extrajeron las muestras para poder hacer un estudio y presentar una opción de diseño y construcción real.

Solución:

5.1 Visita al lugar donde se debe construir el proyecto.

Este proyecto está ubicado en la Aldea Agua Blanca, que pertenece al municipio de Santa Cruz Naranjo, departamento de Santa Rosa, km 62 carretera de Barberena hacia Santa Cruz Naranjo. Para llegar al lugar hay que tomar la Bifurcación CA-1 Oriente, Barberena-Santa Cruz Naranjo, Ruta RD-SRO-03. El lugar mantiene una temperatura entre 22-28 grados.

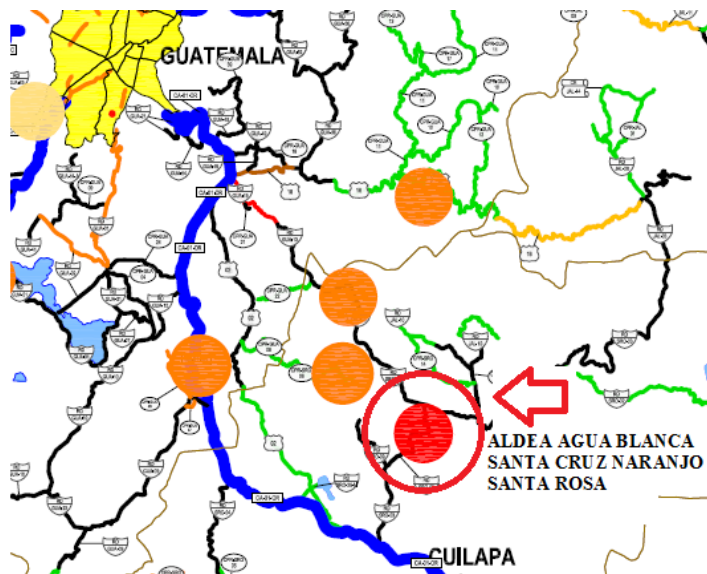


Figura 5.1.1

Ubicación de proyecto construcción de filtro de grava y pavimento en Santa Cruz Naranjo Santa Rosa.



Figura 5.1.2

Ubicación de Aldea Agua Blanca Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa donde fueron extraídas las muestras de suelo para el diseño de filtro.

5.2 Toma de muestras del suelo del lugar o suelo base donde se debe construir el filtro.

En el lugar, fueron tomadas las muestras del material base para llevarlo al laboratorio de suelos para hacerle los ensayos de Granulometría, Límites de Atterberg y Permeabilidad.



Fotografía 5.1

Vista panorámica del lugar, en (Proyecto Construcción de Filtro de Grava y Pavimento en Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa) Construvetsa, Jorge Martínez, Julio 2011.



Fotografía 5.2

Vista panorámica del lugar, en (Proyecto Construcción de Filtro de Grava y Pavimento en Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa) Construvalsa, Jorge Martínez, Julio 2011.



Fotografía 5.3

Vista panorámica del lugar, donde se requiere la construcción del filtro de grava en (Proyecto Construcción de Filtro de Grava y Pavimento en Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa) Construvalsa, Jorge Martínez, Julio 2011.



Fotografía 5.4

Vista del área, se pudo notar que el área donde se construirá es un lugar que se mantiene con un caudal de agua constante, por lo cual la construcción del filtro se utilizara para eliminar la presión de poro provocada por el agua en la masa del suelo, y control de la erosión, lo que proveerá estabilidad en el suelo, en (Proyecto Construcción de Filtro de Grava y Pavimento en Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa) Construvalsa, Jorge Martínez, Julio 2011.



Fotografía 5.5

Paralelo al área donde se construirá el filtro pasa un rio, por lo que se mantendrá el área con humedad e infiltración de un caudal de agua constante, se aporta para garantizar la estabilidad del pavimento, se construirá un filtro de grava que mantendrá las paredes del suelo en condiciones optimas para evitar que este colapse, en (Proyecto Construcción de Filtro de Grava y Pavimento en Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa) Construvalsa, Jorge Martínez, Julio 2011.



Fotografía 5.6 a.

b.

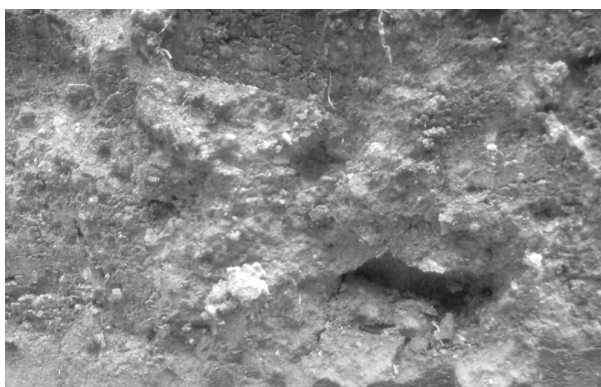
a. Estratos de suelo en el área donde se construirá el filtro de grava.

b. Estratos del suelo base, en (Proyecto Construcción de Filtro de Grava y Pavimento en Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa) Construvlsa, Jorge Martínez, Julio 2011.



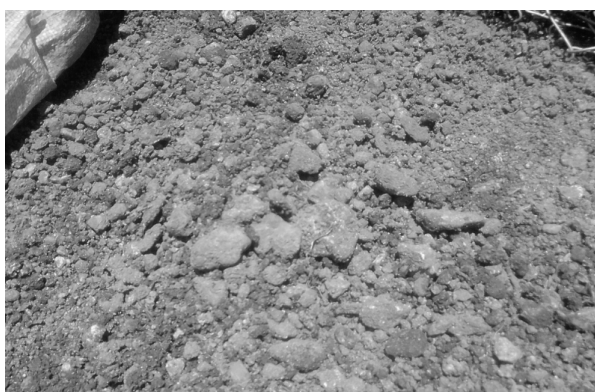
Fotografía 5.7

Estrato donde se observan dos tipos de suelo, se determino que por ser visualmente muy diferentes, se haría la extracción de las muestras de los dos materiales, sin embargo para efectos de diseño se tienen que tomar en cuenta los resultados de los ensayos de la muestra de suelo que estará en contacto directo con el filtro, en (Proyecto Construcción de Filtro de Grava y Pavimento en Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa) Construvlsa, Jorge Martínez, Julio 2011.



Fotografía 5.8

Estrato de suelo donde se extrajo la muestra 1 del suelo del lugar. en, (Proyecto Construcción de Filtro de Grava y Pavimento en Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa) Construvalsa, Jorge Martínez, Julio 2011.



Fotografía 5.9

Muestra 2 de suelo del lugar, área de construcción en, (Proyecto Construcción de Filtro de Grava y Pavimento en Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa) Construvalsa, Jorge Martínez, Julio 2011.



Fotografía 5.10

Estrato de roca que se encontró en el lugar, esta roca realmente no afecta el área de construcción del filtro, en (Proyecto Construcción de Filtro de Grava y Pavimento en Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa) Construvalsa, Jorge Martínez, Julio 2011.

5.3 Resultados de la muestra 1 y 2 de ensayos de Granulometría, Límites de Atterberg y Permeabilidad que se hicieron en el laboratorio de suelos. En el lugar se observan dos tipos de suelo, se determinó que por ser visualmente muy diferentes, se haría la extracción de las muestras de los dos materiales, sin embargo para efectos de diseño se deben tomar en cuenta los resultados de los ensayos de la muestra de suelo que estará en contacto directo con el filtro. La muestra 1 es un suelo Limo arenoso color café oscuro, ML según la clasificación S.C.U, y suelo A-4 según la clasificación P.R.A, según AASHTO T89, T90, (tabla en inciso 5.3.2). La permeabilidad de la muestra 1 es 0.000036 cm/seg, mientras que la permeabilidad de la muestra 2 es 0.0022 cm/seg, de tal forma que la muestra 2 es 61 veces más permeable que la muestra 1.

5.3.1 RESULTADO SE ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE MUESTRA 1

1 INFORME No. 0217 S.S.

O.T. No. 28,311

Interesado: Carolina Dianeth Véliz Arévalo

Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y con lavado previo.

Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11

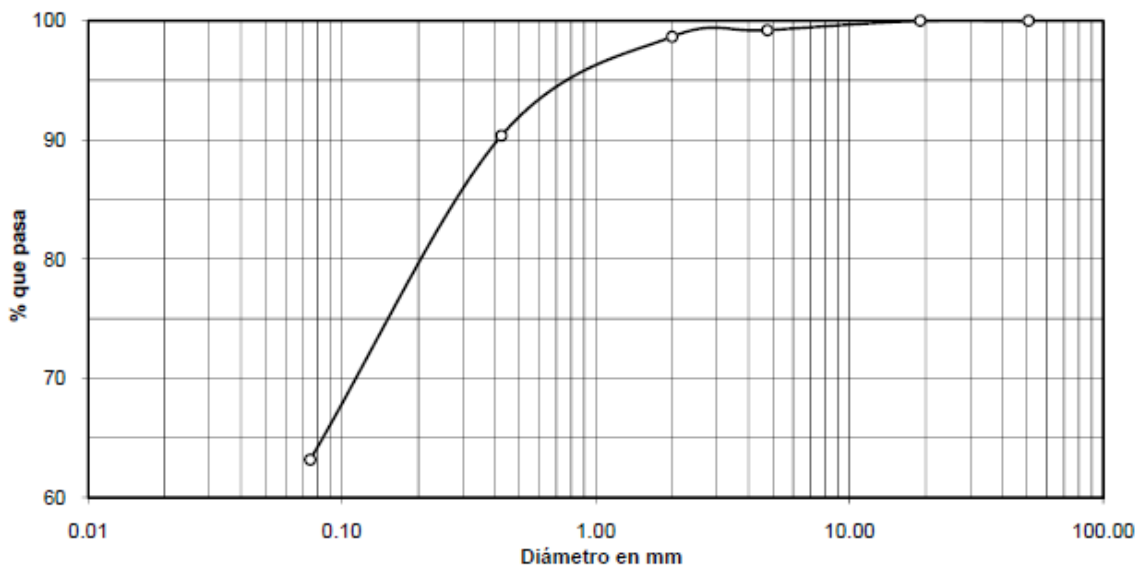
Proyecto: Diseño y Comparacion de Fitros de Grava y Filtros de Geotextil para Suelos

Ubicación: Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa

Fecha: 20 de julio de 2011

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.80	100.00
3/4"	19	100.00
4	4.75	99.20
10	2	98.65
40	0.425	90.35
200	0.075	63.17

% de Grava: 0.80
 % de Arena: 36.03
 % de finos: 63.17



DESCRIPCION DEL SUELO
Limo arenoso color café oscuro

5.3.2 RESULTADO DE ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG DE MUESTRA 1

INFORME No. 0218 S.S.

O.T.: 28,311

Interesado: Carolina Dianeth Vélez Arévalo

Proyecto: Diseño y Comparacion de Filtros de Grava y Filtros de Geotextil para Suelos

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa

FECHA: 20 de julio de 2011

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	CLASIFICACION *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	31.2	7.0	ML	Limo arenoso color café oscuro

(*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

5.3.3 RESULTADO SE ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE MUESTRA 2

1 INFORME No. 0217 S.S.

O.T. No. 28,311

Interesado: Carolina Dianeth Véliz Arévalo

Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y con lavado previo.

Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11

Proyecto: Diseño y Comparacion de Filtros de Grava y Filtros de Geotextil para suelos

Ubicación: Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa

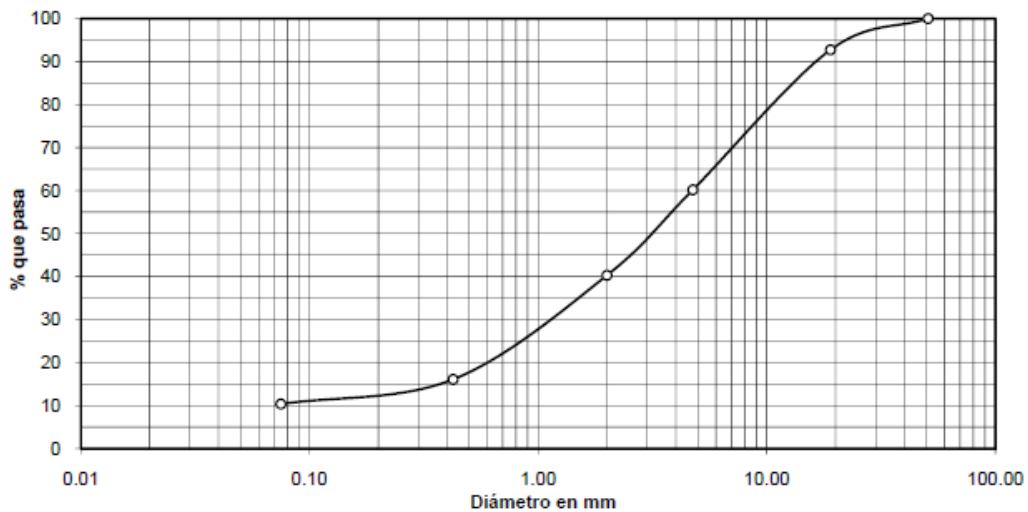
Fecha: 20 de julio de 2011

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.80	100.00
3/4"	19	92.73
4	4.75	60.16
10	2	40.27
40	0.425	16.07
200	0.075	10.35

% de Grava: 39.84

% de Arena: 49.82

% de finos: 10.35



DESCRIPCION DEL SUELO

Grava y/o arena arcillosa

5.3.4 RESULTADO DE ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG DE MUESTRA 2

INFORME No. 0218 S.S.

O.T.: 28,311

Interesado Carolina Dianeth Véliz Arévalo

Proyecto: Diseño y Comparacion de Filtros de Grava y Filtros de Geotextil para Suelos

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa

FECHA: 20 de julio de 2011

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	CLASIFICACION *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	37.6	12.6	SW-SC	Grava y/o arena arcillosa

(*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

5.3.5 RESULTADO DE ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE MUESTRA 1 Y MUESTRA 2

PERMEABILIDAD MUESTRA 1 (AASHTO T 125-66)

Suelo Limo Arenoso color café oscuro = 0.0000360 cm/seg.

PERMEABILIDAD MUESTRA 2 (AASHTO T 125-66)

Grava y/o Arena Arcillosa = 0.0022 cm/seg.

5.4 Discusión de resultados de los de los ensayos de laboratorio que se hicieron a las muestras de suelo.

Las muestras fueron extraídas en el lugar, Aldea Agua Blanca, Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa, por la alumna autora de esta tesis y fueron ensayadas en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería, el día 15 de julio de 2011. Con el propósito de obtener resultados reales del lugar y proveer un diseño adecuado, es necesario siempre hacer el ensayo de Granulometría, para determinar las características de las partículas del suelo que será protegido o suelo base, se debe hacer siempre el ensayo de permeabilidad del suelo ya que este es un parámetro que indicara la capacidad de infiltración de agua que tendrá el suelo base, es de mucha importancia hacer el ensayo de Límites de Atterberg ya que con este ensayo se determinara el tipo de suelo, y sus valores de Limite Líquido e Índice de Plasticidad, estos ensayos son los requeridos principalmente para un diseño de filtro de grava o geotextil, el filtro que se diseñara ya sea de grava o geotextil dependen de estos resultados reales del lugar donde se construirá el proyecto.

5.4.1) Muestra 1:

La muestra 1 se puede observar en la fotografía 5.8, fue tomada superficialmente para ver las características del suelo que estará en contacto directo con el filtro propuesto, es decir la muestra 1 será tomada como material base para el filtro propuesto. Se trabajo el ensayo de Granulometría, el análisis demostró que este es suelo es limo arenoso color café oscuro, al observar esta curva granulométrica se puede notar que este es un suelo mal graduado, esto lo podemos observar cuando la curva granulométrica no tiene tendencia a formar una S suave, quiere decir que el porcentaje de partículas muy finas es alto comparado con el porcentaje de partículas más gruesas; las partículas más pequeñas se presentan en mayor porcentaje, por lo que este suelo contiene una cantidad de partículas gruesas en menor magnitud, esto hace que sea cohesivo-friccionante, es decir las partículas gruesas se encuentran dentro de un masa de suelo de tamaño menor o partículas finas, están unidas entre sí por los finos que contiene este material, el poro y la relación de vacíos disminuye, por lo que hace que este suelo sea poco permeable. El ensayo de límites de Atterberg indicó que es un suelo identificado como limo arenoso color café oscuro, según la clasificación S.C.U que toma como parámetros las características del tamaño y porcentajes de partículas que pasaron un tamiz, dio un resultado de límites líquido igual a 31.2 según norma AASHTO T89 Y T90, y un índice plástico de 7.00 según norma AASHTO T89 Y T90, para esta muestra los resultados del ensayo de límites de Atterberg, indican que si existe una unión de partículas entre sí, la permeabilidad el cual fue de 3.6×10^{-5} cm/seg este valor refleja que tiene una relación de vacíos baja, pero que aun así el flujo de agua puede penetrar en la masa de suelo, pero no con tanta facilidad por la unión de partículas debido a la cantidad de finos que posee.

Para condiciones y efectos de uso para filtro en este suelo base, según los resultados de los análisis hechos por el Laboratorio de suelos, se puede determinar que el suelo no es impermeable, la cantidad de partículas gruesas que contiene hacen que el flujo

de agua penetre el estrato y que la zona mantenga un porcentaje de saturación, cuando la masa de suelo se satura el agua produce una separación de partículas entre si, por lo cual inicia el efecto de erosión e inestabilidad, es necesaria la colocación de un filtro en el lugar para garantizar la estabilidad y el funcionamiento de este proyecto.

5.4.2) Muestra 2:

La muestra 2 fue extraída a una profundidad de 2 metros bajo la superficie, para conocer las características del suelo que estará bajo el suelo base, (fotografía 5.9). Se trabajo el ensayo de granulometría, el análisis demostró que este suelo es una grava y/o arena arcillosa, al observar esta curva granulométrica se puede notar que este es un suelo bien graduado, la formación de la gráfica es en forma de una S suave, quiere decir que el tamaño de las partículas es relativo respecto a su porcentaje, y que contienen diversos tamaños en forma ascendente, este suelo contiene un porcentaje de finos lo cual hace que el suelo sea friccionante-cohesivo, existe unión de las partículas de mayor tamaño por los finos, las partículas gruesas están unidas por las partículas finas, sin embargo la característica de tener un porcentaje alto de partículas gruesas hace que este suelo sea permeable se refleja en su valor obtenido en los ensayos de laboratorio que es igual a 2.2×10^{-3} cm/seg , el flujo de agua puede penetrar con facilidad este suelo. El ensayo de límites de Atterberg determino que este suelo es grava y/o arena arcillosa, en base a los resultados de laboratorio el límite líquido e índice de plasticidad reflejan que existe cohesión o unión de partículas. A través de los resultados de permeabilidad de este suelo se puede observar que tiene una relación de vacios alta, por lo cual la infiltración del agua en este estrato será mayor que la del estrato que se encuentra en la superficie.

Para este proyecto basado en los resultados hechos en laboratorio, se recomienda la construcción de un filtro de grava, perpendicular a la calle con una profundidad de 2 m, adicional al superficial. Este filtro servirá para evacuar el agua que se encuentre en el estrato de grava y/o arena arcillosa y evitara la erosión de las paredes.

Con los resultados de los ensayos que se obtuvieron en el laboratorio correspondientes a la muestra 1, el cual indica ser un suelo limo arenoso color café oscuro, se hará a continuación el diseño del filtro y filtro de geotextil requerido en la superficie, se harán el diseño con los dos métodos utilizando la hoja electrónica proporcionada en esta tesis y se determina cual es la mejor opción a usar en este caso.

Datos:

Suelo base	= Limo arenoso
Del ensayo de granulometría	= Porcentaje y tamaño de partículas
LL	= 31.2 (del ensayo de Limites de Atterberg)
IP	= 7.0 (del ensayo de Limites de Atterberg)
K	= 0.000036 cm/seg (del ensayo de permeabilidad)
Longitud	= 100 m
Ancho	= 10 m

DISEÑO DEL FILTRO DE GRAVA (USANDO LA HOJA ELECTRÓNICA)

5.5 Se diseña el filtro de grava con la hoja electrónica proporcionada, para conocer el material que se deberá usar para el filtro y poder obtener precios reales y tiempos reales de construcción.

5.5.1 Los ensayos de laboratorio dieron los siguientes resultados.

Tabla 5.5.1.1

Granulometría de material base en, (ensayo de granulometría de muestra 1)

Granulometría (AASHTO T27 –T11)

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.80	100.00
3/4"	19	100.00
4	4.75	99.20
10	2	98.65
40	0.425	90.35
200	0.075	63.17

Tabla 5.5.1.2

Limites de Atterberg de material base en, (ensayo de Limites de Atterberg de muestra 1)

Limites de Atterberg (AASHTO T89 – T90)

<i>ENSAYO No.</i>	<i>MUESTRA No.</i>	<i>L.L. (%)</i>	<i>I.P. (%)</i>	<i>CLASIFICACION *</i>	<i>DESCRIPCION DEL SUELO</i>
1	1	31.2	7	ML	Limo arenoso color café oscuro

Permeabilidad: 0.000036 cm/seg.

5.5.2 Ingreso de datos a la hoja electrónica

PASO 1

ENSAYO DE GRANULOMETRIA, DEL SUELO BASE

PASO 2

Tabla 5.5.2.1

Ingresar datos proporcionados por ensayo de granulometria del material base

Cuando no se utilicen los demas tamices, en la columna de % Pasa, colocar 100%



TAMIZ	d mm	% Pasa Granulometria Material Base
N° 200	0.074	63.17%
N° 40	0.420	90.35%
N° 10	2.000	98.65%
N° 4	4.760	99.20%
3/4	19.050	100.00%
1 1/2	39.100	100.00%
2	50.000	100.00%
3	80.000	100.00%

PASO 3

Tabla 5.5.2.2

D85	F/V
0.40	FALSO
1.58	VERDADERO
6.89	VERDADERO
16.31	VERDADERO
64.77	VERDADERO
129.54	VERDADERO
0.00	VERDADERO
0.00	VERDADERO
0.00	FALSO

CALCULO DEL D85

Si el valor de "D85" es verdadero, tomar el menor de los verdaderos

USAR D85 1.58 mm, es el tamaño de la partícula del material que pasa el 85 %

PASO 4

RESULTADOS

De la tabla, proponer un material de filtro

Tabla 5.5.2.3 Ingreso de granulometría de material de filtro propuesto

TAMAÑO DE PARTICULA		MATERIAL FILTRO		TAMIZ
MINIMO	MAXIMO	TAMAÑO DE PARTICULA	% QUE PASA	
0.30	1.58	0.42	10.00%	N° 200
1.68	3.26	2.00	85.00%	N° 40
8.00	9.58	8.50	98.50%	N° 10
19.04	20.62	19.05	99.00%	N° 4
76.20	77.78	77.00	100.00%	3/4
152.40	153.98	153.00	100.00%	1 1/2
0.00	1.58	0.00	0.00%	2
0.00	0.00	0.00	0.00%	3

PASO 5

$$\frac{D_{15F}}{D_{85B}} < 4 = 0.80/1.58 = 0.5063$$

$$\frac{D_{15F}}{D_{15B}} > 4 = 0.80/0.011 = 72.72$$

Si las condiciones que se encuentran en el paso 5 se cumplen el material propuesto para filtro cumple. Si se puede utilizar

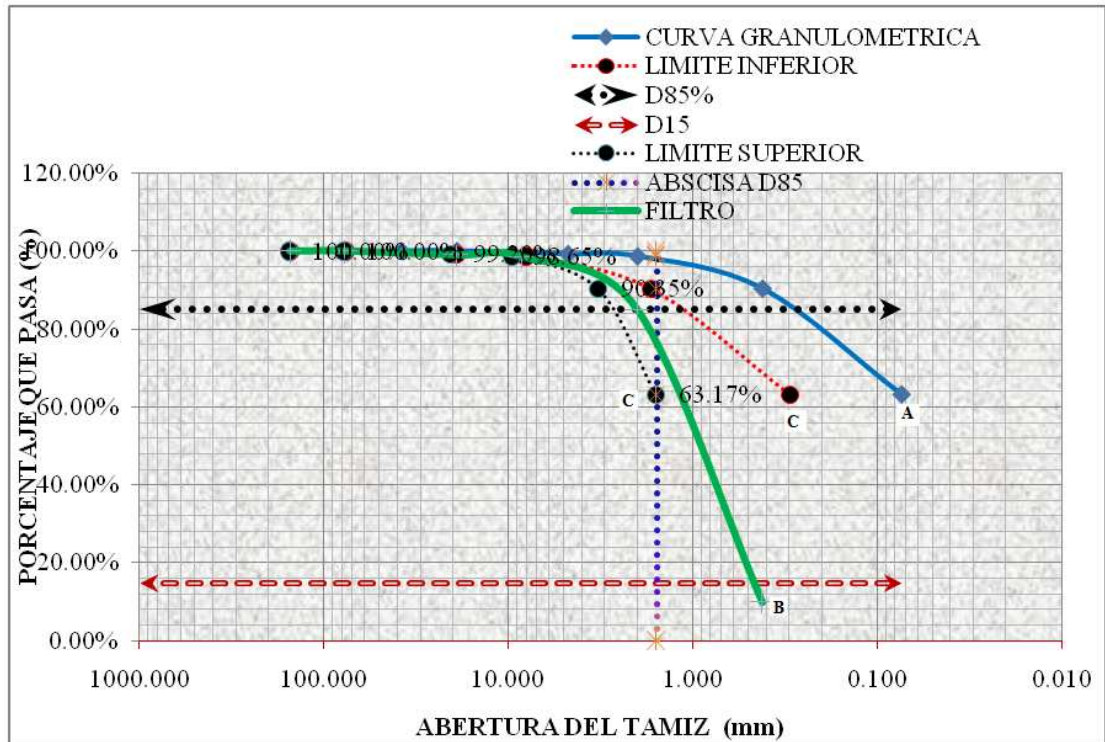


FIGURA 5.5.2.4

En la curva granulométrica se puede observar que la curva verde (B) que es la que representa al material de filtro y se ve que se encuentra dentro de las curvas (C) que indican el límite superior o tamaño máximo de la partícula y dentro de la curva de límite inferior o tamaño mínimo de la partícula adecuada para el filtro, cuando esta condición se cumpla el material que se está proponiendo es adecuado para el filtro. En este caso se cumple.

5.5 SOLUCIÓN: DISEÑO DEL FILTRO DE GEOTEXTIL (USANDO LA HOJA ELECTRÓNICA)

Tabla 5.5.1

Granulometría de material base en, (ensayo de granulometría de muestra 1)

Granulometría

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.80	100.00
3/4"	19	100.00
4	4.75	99.20
10	2	98.65
40	0.425	90.35
200	0.075	63.17

Tabla 5.5.1.2

Limites de Atterberg de material base en, (ensayo de Limites de Atterberg de muestra 1)

Limites de Atterberg

<i>ENSAYO</i> <i>No.</i>	<i>MUESTRA</i> <i>No.</i>	<i>L.L.</i> <i>(%)</i>	<i>I.P.</i> <i>(%)</i>	<i>CLASIFICACION</i> <i>*</i>	<i>DESCRIPCION DEL SUELO</i>
1	1	31.2	7	ML	Limo arenoso color café oscuro

Permeabilidad:

0.000036 cm/seg.

INGRESO DE DATOS INICIALES

k	0.0000360	Permeabilidad del suelo (cm/s)
h	0.2	Profundidad del filtro (m)
nc	100	Número de canales de flujo
nf	2	Número de equipotenciales
	10	Ancho (m)
L	100	Longitud (m)
LL	31.20%	Límite líquido
IP	7	Índice de plasticidad
TIPO DE SUELO	Limo arenoso	
B	1.4287	TOMAR B EL COEFICIENTE MAYOR

B (SEGUN EL TIPO DE SUELO)	
Arena	1,FALSO,1.42857142857143
Arena Gravosa	1,FALSO,1.42857142857143
Arena Limosa	1,FALSO,1.42857142857143
Arena Arcillosa	1,FALSO,1.42857142857143
Suelo Arenas mal graduado	1.5 a 2
Suelo fino 50% pasa el tamiz No.200	Esta en función del geotextil = 1.8

El coeficiente B es un dato que provee la misma hoja electrónica el cual se debe tomar el dato mayor ya que esta en función del suelo, al ingresar el tipo de suelo, observar el coeficiente B en la tabla e ingresar el mayor.

PASO 1

ENSAYO DE GRANULOMETRIA, LIMITES DE ATTERBERG Y PERMEABILIDAD EN EL LABORATORIO DE SUELOS

PASO 2

Ingresar datos proporcionados por ensayo de granulometria del material base

Cuando no se utilicen los demas tamices, en la columna de % Pasa, colocar 100%

TAMIZ	d mm	% Pasa Granulometria Material Base
N° 200	0.074	63.12%
N° 40	0.420	90.35%
N° 10	2.000	98.65%
N° 4	4.760	99.20%
3/4	19.050	100.00%
1 1/2	39.100	100.00%
2	50.000	100.00%
3	80.000	100.00%

PASO 3

D85	F/V	D60	F/V	D10	F/V
0.40	FALSO	0.28	VERDADERO	0.05	VERDADERO
1.58	VERDADERO	1.12	VERDADERO	0.19	VERDADERO
6.89	VERDADERO	4.87	VERDADERO	0.81	VERDADERO
16.31	VERDADERO	11.52	VERDADERO	1.92	VERDADERO
64.77	VERDADERO	45.72	VERDADERO	7.62	VERDADERO
129.54	VERDADERO	91.44	VERDADERO	15.24	VERDADERO
0.00	VERDADERO	0.00	VERDADERO	0.00	VERDADERO
0.00	VERDADERO	0.00	VERDADERO	0.00	VERDADERO
0.00	FALSO	0.00	FALSO	0.00	FALSO

CALCULO DEL D85

Si el valor de "D85" "D60" "D10" es verdadero, tomar el menor de los verdaderos

USAR D85 1.58 mm, es el tamaño de la partícula del material que pasa el 85 %

USAR D60 0.28 mm, es el tamaño de la partícula del material que pasa el 60 %

USAR D10 0.05 mm, es el tamaño de la partícula del material que pasa el 10 %

PASO 4

Determinacion del Tamaño de Abertura Aparente (TAA), Segun criterio de Retencion

TAA= **2.257346 mm** si es un suelo cohesivo con un indice de plasticidad mayor a 7 el TAA debe ser TAA<0.30 mm

PASO 5

Criterio de Permeabilidad
Proponer el tipo de Geotextil, cuya permeabilidad sea mayor a la permeabilidad del suelo

SKAPS GT 160	Geotextil Propuesto VER ANEXO 2
1.60	(cm/s) Ingrese Permeabilidad del geotextil (tiene que ser mayor a la permeabilidad del suelo) ANEXO 2
5.00	(mm) espesor del geotextil ANEXO 2
3.00	FRSC ver este factor en la tabla que esta en la pestaña con nombre FACTORES DE RED GEOTEXTIL Tabla 41
1.20	FRCR ver este factor en la tabla que esta en la pestaña con nombre FACTORES DE RED GEOTEXTIL Tabla 41
1.10	FRIN ver este factor en la tabla que esta en la pestaña con nombre FACTORES DE RED GEOTEXTIL Tabla 41
1.10	FRCC ver este factor en la tabla que esta en la pestaña con nombre FACTORES DE RED GEOTEXTIL Tabla 41
3.00	FRBC ver este factor en la tabla que esta en la pestaña con nombre FACTORES DE RED GEOTEXTIL Tabla 41

criterio de permeabilidad

K= **0.00036 cm/s**

PASO 6

Factor de seguridad global (FSg)

Si el FSg, es menor a 1, recalcular y proponer un nuevo geotextil con resistencia mayor, si el FSg es mayor a uno, el geotextil propuesto es el indicado para el filtro.

FSG 1.70 **FILTRO DE GEOTEXTIL ADECUADO**
PORQUE FSG > 1

5.7 Teniendo el diseño para el filtro por ambos métodos y basado en la tabla 1 que se encuentra en la página 31 de esta tesis, y en la granulometría que se obtuvo del ensayo de esta muestra que se encuentra en la página 86 y 87, se propone en base a la teoría y calculo que se encuentra en el capítulo 2, por su función y uso un filtro de grava, con un espesor de 8" (20cm). Y un filtro de geotextil el cual deberá ser combinado con 6" de grava por su función y uso en este proyecto específico. El cual se visualiza este diseño propuesto en el plano que corresponde a la figura 5.7.

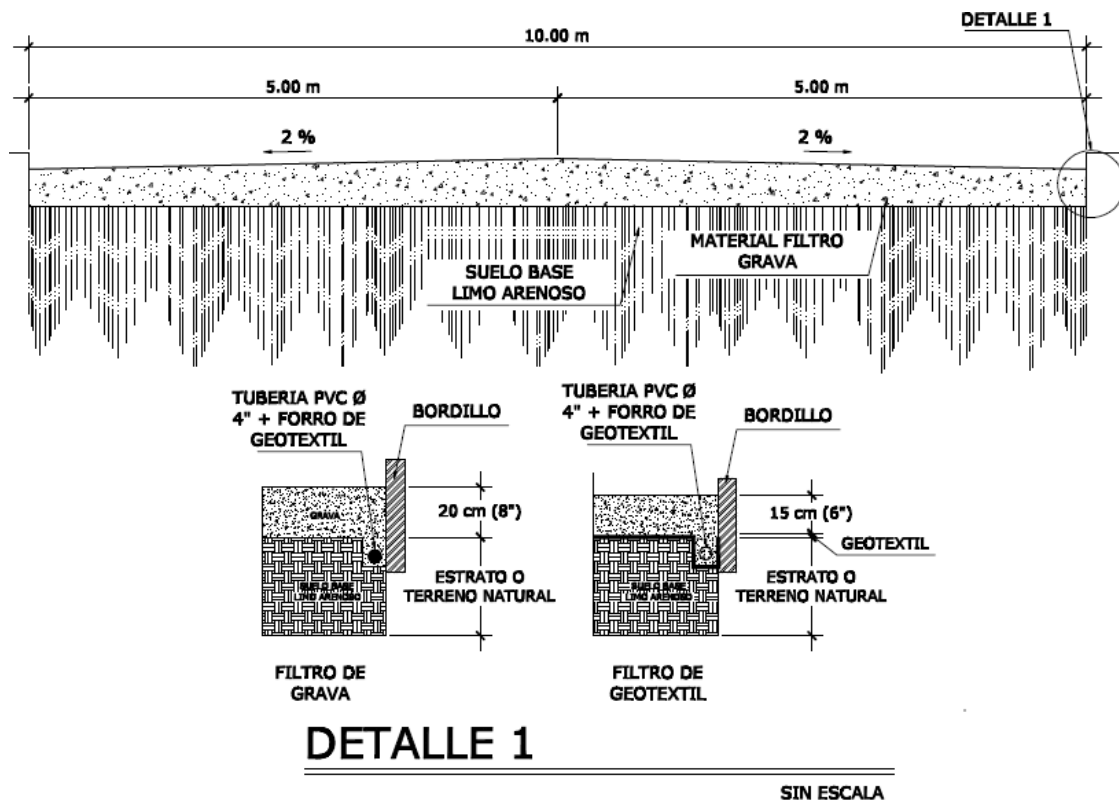


FIGURA 5.7
Plano de diseño de filtro de geotextil y filtro de grava para suelos.

5.8 Conociendo el diseño de ambos métodos y correspondiendo a las dimensiones del proyecto, se elaboro el cuadro 1 donde se presenta el cronograma para realizar la obra mediante la construcción de filtro de grava y el cuadro 2 que es el cronograma para la construcción mediante filtro de geotextil, donde se puede observar que en tiempo de construcción ambos método son similares.

CUADRO No. 1 Cronograma de Construcción de Filtro de Grava

Descripcion de Tarea	Dia 1	Personas	Dia 2	Personas	Dia 3	Personas	Dia 4	Personas	Dia 5	Personas
Limpieza, chapeo	1 día	10								
Remoción de escombros y materia organica			1/2 día	10						
Trazo			1/2 día	5						
Excavación para bordillos 0.30 alto			1/2 día	5						
Encofrado de bordillos 0.30 alto					1 día	10				
Fundición de bordillos 0.30 alto							1/2 día	10		
Desencofrado de bordillos 0.30 alto									1/2 día	5
Forrado de tubería con geotextil							1/2 día	10		
Colocación de tubería perforada de 4"									1/2 día	3
Conexión de tubería a drenaje principal									1 día	2
Colocación de grava									1 día	5

CUADRO No. 2 Cronograma de Construcción de Filtro de Geotextil

Descripcion de Tarea	Dia 1	Personas	Dia 2	Personas	Dia 3	Personas	Dia 4	Personas	Dia 5	Personas
Limpieza, chapeo	1 día	10								
Remoción de escombros y materia organica			1/2 día	10						
Trazo de caminamiento y paso vehicular			1/2 día	5						
Excavación para bordillos 0.20 alto			1/2 día	5						
Encofrado de bordillos 0.20 alto					1 día	10				
Fundición de bordillos 0.20 alto							1/2 día	5		
Desencofrado de bordillos 0.20 alto										
Forrado de tubería con geotextil							1/2 día	5		
Colocación de tubería perforada de 4"							1/2 día	5		
Conexión de tubería a drenaje principal							1/2 día	5		
Colocación de geotextil									1 día	3
Colocación de grava 6"									1 día	7

5.9 Partiendo del diseño de filtro de ambos métodos, ya se conoce el tipo de grava a utilizar y el tipo de geotextil, el cual con esos datos se solicito cotización a las empresas distribuidoras del producto para hacer la integración del costo unitario de los dos metodos. La cotizacion del geotextil se solicito a la empresa Omali, esta cotización se encuentra en el anexo 2 de esta tesis. En el cuadro 3 y 4 se presenta la integracion de costos por ambos metodos.

CUADRO 3					INTEGRACIÓN DE COSTO DE FILTRO DE GRAVA DE 1000 M2				
Suelo Arcilloso		Volumen	200 m3	Largo	100	m			
				Ancho	10	m			
				Espesor	0.2	m			
<u>MATERIAL</u>									
Descripcion		Cantidad	Unidad	Costo U	Costo Total				
Grava		200	m3	200	Q40,000.00				
Acarreo de material		200	m3	40	Q8,000.00				
Madera para encofrado de bordillo		200	m2	50	Q10,000.00				
Concreto 3000 psi		0.4	ml	58.33	Q23.33				
Tubo perforado de 4"		200	ml	58.33	Q11,666.00				
Geotextil para forro del tubo perforado GT 160		80	m2	8	Q640.00				
					Q70,329.33				
<u>EQUIPO</u>									
Vibrocompactador de 1 pie2		4	unidad	165	Q	660.00			
					Q 660.00				
<u>HERRAMIENTA</u>									
Palas		6	Unidad	40	Q	240.00			
Piochas		6	Unidad	50	Q	300.00			
Carretas		8	Unidad	100	Q	800.00			
					Q 1,340.00				
<u>MANO DE OBRA</u>									
<u>Albanil</u>									
Albanil		2	5	dias	120	600			
					Q 600.00				
<u>Avudante</u>									
Ayudante		8	5	dias	80	400			
					Q 400.00				
<u>Maestro de obra</u>									
Maestro de obra		1	5	dias	150	750			
					Q 750.00				
<u>Ing. Residente</u>									
Ingeniero		1	5	dias	350	1750			
					Q 1,750.00				
<u>Prestaciones Laborales</u>									
(Albañil+Ayudante+Maestro+Ingeniero) + 40% Ind		1		gl	Q 4,900.00				
					Q 4,900.00				
COSTO Q TOTAL DE 1000 M2		Q77,229.33		COSTO \$ TOTAL DE 1000 M2		\$ 9,901.20			
COSTO Q UNITARIO Q M2		Q77.23		COSTO \$ UNITARIO M2		\$ 9.90			

CUADRO 4

INTEGRACIÓN DE COSTO DE FILTRO DE GEOTEXTIL DE 1000 M2

Suelo Arcilloso		Largo	100	m
Volumen	150 m3	Ancho	10	m
		Espesor	0.15	m
MATERIAL				
Descripcion	Cantidad	Unidad	Costo U	Costo Total
Grava	150	m3	200	Q30,000.00
Geotextil SKAPS GT 160	1000	m2	12.5	Q12,500.00
Acarreo de material	150	m3	40	Q6,000.00
Madera para encofrado de bordillo	80	m2	50	Q4,000.00
Concreto 3000 psi	4	m3	1000	Q4,000.00
Tubo perforado de 4"	200	ml	58.33	Q11,666.00
Geotextil para forro del tubo perforado GT 160	80	m2	8	Q640.00
				Q68,806.00
EQUIPO				
Vibrocompactador de 1 pie2	4	unidad	165	Q 660.00
				Q 660.00
HERRAMIENTA				
Palas	6	Unidad	40	Q 240.00
Piochas	6	Unidad	50	Q 300.00
Carretas	8	Unidad	100	Q 800.00
				Q 1,340.00
MANO DE OBRA				
Albanil				
Albanil	2	5	dias	120
				600
				Q 600.00
Ayudante				
Ayudante	8	5	dias	80
				400
				Q 400.00
Maestro de obra				
Maestro de obra	1	5	dias	150
				750
				Q 750.00
Ing. Residente				
Ingeniero	1	5	dias	350
				1750
				Q 1,750.00
Prestaciones Laborales				
(Albañil+Ayudante+Maestro+Ingeniero) + 40% Ind	1	gl		Q 4,970.00
				Q 4,970.00
COSTO Q TOTAL DE 1000 M2	Q75,776.00	COSTO \$ TOTAL DE 1000 M2	\$ 9,714.87	
COSTO Q UNITARIO Q M2	Q75.78	COSTO \$ UNITARIO M2	\$ 9.71	

5.10 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

- El filtro de grava, garantiza la fluidez y evacuación de caudales mayores, el geotextil como tal no está diseñado para evacuar cantidades mayores de agua. Sin embargo en donde se tengan caudales mayores y pendientes menores se puede utilizar un filtro de geocompuesto, que tiene como nombre Geodren, las propiedades de este geocompuesto se pueden ingresar en la hoja de cálculo para diseño de filtro de grava con geotextil para suelos, este geocompuesto si puede sustituir la grava. Está diseñado para evacuar caudales mayores de agua y evitar que los finos emigren a la superficie, en casos donde se tenga una superficie donde estará expuesto a esfuerzos de compresión el Geodren debe ser planar.
- La construcción de un filtro de geotextil comparado con el tiempo de construcción de un filtro de grava, es más rápida en casos donde el geotextil se utilice en muros de retención estabilizados mecánicamente o donde se utilice como filtro de separación para evitar únicamente la emigración de finos, en otros casos donde el filtro de geotextil requiera un colchón de grava como en una trinchera drenante en pasos peatonales, vehiculares, o muros de retención los tiempos de construcción son similares.
- El filtro de grava siempre necesita tener confinamiento, el cual hace posible su construcción, un filtro de geotextil no necesita confinamiento.
- El filtro de geotextil no sustituye la grava, sustituye una cama de arena de 4 cm de espesor, el filtro de grava si sustituye el geotextil.
- El geotextil no puede quedar expuesto al sol, se deteriora, el filtro de grava puede estar expuesto al sol y sus propiedades se mantienen.
- Un filtro de grava pierde su función rápidamente, cuando el suelo base donde será construido el proyecto es un limo arenoso, arcilla limosa, o en general cuando se tenga un suelo base con un porcentaje de finos mayor al 50%. Cuando existen estas condiciones el espesor del filtro deberá ser mayor y el costo se eleva.
- La instalación de un filtro de geotextil deberá ser cuidadosa para evitar que se rompa, si en algún caso sucediera el rompimiento o rasgado del mismo se debe reparar con parches que traslapen por lo menos 20 cm la rotura.
- La grava requiere de un buen control de calidad al momento de ser instalada en obra como filtro, se debe verificar que sea de la granulometría diseñada para que puede cumplir su función y que el material de filtro de grava este limpio y no exceda el porcentaje de finos requerido.

- Los costos son similares y relativos, dependerán de las condiciones del proyecto y la facilidad de obtención del material en el lugar, si se tiene un banco de grava cercano al lugar de construcción el costo de la construcción de grava resulta más económico, sin embargo si se tiene la facilidad de adquirir un geotextil, el costo del filtro con geotextil puede ser el más económico. Lo importante es trabajar el diseño en ambos métodos y hacer la integración del costo unitario para la construcción de cada uno según las condiciones que se tengan, tomando en cuenta el costo de cada uno. y un punto muy importante será las características del tipo de suelo y condiciones a las que estará sometido el filtro.
- Un punto muy importante será las características del tipo de suelo y condiciones a las que estará sometido el filtro. Donde el suelo base sea muy blando como una arcilla el filtro de geotextil tiene la ventaja de formar una superficie con mayor facilidad de trabajo, y forma la separación entre los finos y el suelo granular, no permite la emigración de finos.
- Para la construcción de un filtro en suelos arcillosos, o limos, se recomienda la utilización del geotextil de polipropileno para proveer mayor facilidad de construcción y evitar la colmatación por finos en el filtro.
- Cuando se tengan suelos con un porcentaje de finos mayor a 50%, provee mayor vida útil al filtro de grava, filtro de grava debe llevar sobre el suelo base una cama de arena o en sustitución de la arena un geotextil, es recomendable usar en estos casos, sobre el suelo base el geotextil y sobre el geotextil el colchón de grava.
- El geotextil se puede utilizar como filtro en sustitución de la grava en lugares donde la colocación de grava es bastante difícil y en lugares donde se mantienen corrientes de flujo y al mismo tiempo se requiere drenar el agua y separar dos tipos de suelo, como en los taludes.

5.11 Discusión de resultados

Para este proyecto se tiene un suelo base Limo arenoso color café oscuro, se diseñaron ambos métodos de filtro, y tenemos dos opciones de construcción: filtro de grava y filtro de geotextil, haciendo el diseño del filtro de grava se obtuvo la granulometría adecuada a utilizar, y trabajando el diseño de filtro de geotextil se determinó utilizar un geotextil SKAPS GT 160.

Partiendo de los parámetros de diseño se obtuvo una granulometría adecuada para el filtro de grava y un geotextil adecuado para el filtro, y conociendo estos datos, se cotizaron costos actuales, y se realizó la integración del costo unitario para cada método, de donde se determinó que en este caso el costo de la construcción de un filtro de geotextil con grava, es más económico que un filtro de grava.

Se tiene como suelo base un limo arenoso color café oscuro, este tipo de suelo tiene la características de poseer un porcentaje alto de finos por lo que es recomendable utilizar un filtro de grava con geotextil que mantendrá controlada la emigración o pérdida de partículas finas. Se eligió la opción más económica, su función y vida útil que tendrá. Al colocarle una base de geotextil al filtro este aumenta su función, su vida útil y se garantiza la protección y función del geotextil que no quedara expuesto a los rayos ultravioleta.

Respecto a tiempos de construcción se determino con un cronograma que en este caso la construcción de un método comparado con el otro son similares.

Se recomienda construir para este caso un filtro de geotextil con grava de 6" de espesor.

6. CASOS PRÁCTICOS DE CONSTRUCCIÓN DE FILTROS

En este capítulo se hace una ilustración, de cómo se pueden utilizar los sistemas de filtros de grava y geotextil para suelos, se proveen los criterios teóricos y una hoja electrónica para su diseño en esta tesis.

En el capítulo 6 se encuentran unas fotografías de algunos proyectos contruidos con sistemas de filtro para suelos. En el proyecto que se ilustra en las fotografías 6.1 y 6.2, se utilizo un geotextil SKAPS GT 160 sus propiedades se encuentran en el anexo 2, la fotografía 6.3 muestra un filtro de grava, en la foto 6.4 se hizo un sistema de filtro de geocompuesto llamado Geodren, en la fotografía 6.5 se uso un sistema de filtro con geomembranas de polietileno, la fotografía 6.6 ilustra un sistema de filtro con geotextil SKAPS GT 160, en la fotografía 6.7 se ilustra un proyecto donde se uso un geocompuesto, la fotografía 6.8 ilustra un proyecto donde se uso un Geodren Mac Drain, sus propiedades se encuentran en el anexo 2; en el proyecto mostrado con la fotografía 6.9 se utilizo un sistema de filtro con Geodren Mac Drain, en la fotografía 6.10 se uso un sistema de filtro de geotextil y filtro de grava, se uso el geotextil SKAPS GT 160.

En todos estos proyectos que se ilustran en las fotografías 6.1 a 6.10 excepto en el proyecto que se ilustra en la fotografía 6.8, se coloco el tubo de recepción del fluido a través del sistema de filtro, por medio de tubo perforado de 4", en el proyecto que se ilustra en la fotografía 6.8 se uso un tubo perforado de 6" para recolectar el fluido que debe ser evacuado por el sistema de filtro, todos los tubos perforados fueron forrados con geotextil SKAPS, y conectados al sistema de recolección principal de drenaje del lugar.



Fotografía 6.1

Filtro de grava y geotextil para liberación de presión de poro del suelo en muro de retención. En este proyecto el muro se estaba agrietando debido a que la cimentación estaba quedando descubierta porque la erosión y la infiltración de agua en el suelo que se encuentra al pie del muro estaba provocando un desprendimiento de partículas y el muro se estaba asentando el cual se trabajo un muro de retención con un sistema de filtro de grava y geotextil en (Universidad Rafael Landivar, Huehuetenango).



Fotografía 6.2

Filtro de grava y geotextil para liberación de presión de poro del suelo en muro de retención. En este proyecto el muro se estaba agrietando debido a que la cimentación estaba quedando descubierta porque la erosión y la infiltración de agua en el suelo que se encuentra al pie del muro estaba provocando un desprendimiento de partículas y el muro se estaba asentando el cual se trabajo un muro de retención con un sistema de filtro de grava y geotextil en (Universidad Rafael Landivar, Huehuetenango).



Fotografía 6.3

Hundimiento de Casa, en carretera a Santa Catarina Pínula. Causa probable: grietas en la cañería y se saturaron los suelos de cimentación que tenían mal valor soporte. Se hicieron filtros de grava para poder estabilizar el área y eliminar la presión de poro por saturación en el suelo.



Fotografía 6.4

Proyecto de bodegas atrás de Centro comercial Gran Plaza Km 14 CA-01 Oriente. En este caso se ejemplifica una serie de errores constructivos. Falta de subdrenajes, que provocó saturación en los suelos de relleno y ocasionó desplomes considerables en los muros. Se utilizó el sistema de filtros de grava para evacuar la saturación y mantener el relleno en condiciones óptimas.



Fotografía 6.5

Espina de pescado. Proyecto Planta Ambev (Cervecería Brahva), Teculután, Zacapa. Sistema de detección de fugas bajo geotextiles, se utilizo una combinación de filtro de grava y filtros de geotextil.



Fotografía 6.6

Aplicación de sub drenaje en cara de muro de contención de block pineado y suelo estabilizado mecánicamente con geomallas. Proyecto Alquibodegas Calzada Atanasio Tzul y 49 calle. Propósito: Evacuación de humedad del sistema de suelo reforzado



Fotografía 6.7

Se utilizó un Geocompuesto 1. Geodrén Proyecto San José Power Plant, Masagua, Escuintla. Sistema de recolección de lixiviados de cenizas volantes.



Fotografía 6.8

Geodrén. Proyecto Ofibodegas. Calzada Atanasio Tzul y 32 calle zona 12, Ciudad de Guatemala. Propósito drenaje de terreno vecino y evitar filtraciones en sótano.



Fotografía 6.9

Geodrén. Proyecto Ofibodegas. Calzada Atanasio Tzul y 32 calle zona 12, Ciudad de Guatemala. Propósito drenaje de terreno vecino y evitar filtraciones en sótano.



Fotografía 6.10

Aplicación de Geodrén en proyecto Residencial Jardín del Valle. San José Pinula, Guatemala. Propósito drenaje interceptor para evitar la formación de presiones de poro en muro de suelo estabilizado mecánicamente con geomallas. Nótese que se coloca en bandas para lograr un correcto engrape del suelo de relleno con el suelo natural y evitar la formación de potenciales superficies de deslizamiento. En este caso al pie del talud se dejó un "filtro " de piedrín limpio de 3/4" envuelto en geotextil y tubo perforado de PVC de 4" de diámetro.

CONCLUSIONES

En base al objetivo general número 1 se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. El diseño de filtros de grava y/o filtros de geotextil se tiene que hacer partiendo del Análisis Granulométrico, Límites de Atterberg, y Permeabilidad del suelo base o suelo que será protegido.
2. La utilización de normas y requerimientos de diseño para filtros son elementos esenciales que se deben seguir respecto a lo especificado para tener un buen funcionamiento del mismo.

En base al objetivo específico número 1 se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. Un filtro de grava es diferente respecto al filtro de geotextil por sus características físicas, el filtro de grava forma un medio drenante con una cantidad de poros y vacíos que se forman a través de un volumen de partículas de grava, y el filtro de geotextil forma un medio drenante a través de una tela permeable que tiene las características requeridas para filtro para suelos.

En base al objetivo específico número 2 se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. Los filtros de geotextil no se deben usar donde quedaran expuestos a los rayos ultravioleta, el tiempo los deteriora, se deben utilizar filtros de geotextil, siempre y cuando el geotextil quede cubierto o protegido. Por ejemplo en un talud, el filtro de geotextil puede estar protegido por una masa de suelo al frente o un muro fachada.
2. Donde existe escorrentía permanente o mucha humedad en el suelo, se utilizan filtros de grava o geocompuestos (geodren), en el caso de túneles, o superficies que no estarán sometidas a esfuerzos que puedan dañar el geodren no se requiere de un colchón de grava o una superficie de protección.
3. Un filtro de geotextil de poliéster no se puede usar para suelos alcalinos, se degrada, se deben utilizar geotextiles de polipropileno.
4. El geotextil provee una mejor función de separación y evita la emigración de partículas finas en suelos con un porcentaje de finos mayor a 50%.
5. Cuando existan condiciones de ríos, o acuíferos o nivel freático relativamente superficial es de mejor función el filtro de grava si se tienen suelos arenosos, cuando existan condiciones de evacuación de agua de escorrentía o infiltración de caudal mínimo y es mejor opción la utilización del filtro de geotextil.

6. Un filtro de grava pierde su función rápidamente, cuando el suelo base donde será construido el proyecto es un limo arenoso, arcilla limosa, o en general cuando se tenga un suelo base con un porcentaje de finos mayor al 50%. Cuando existen estas condiciones, se debe usar geotextil y según su función un colchón de grava.

En base al objetivo específico número 3 se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. El poro en el geotextil utilizado debe tener una abertura adecuada para retener el suelo, cumpliendo simultáneamente con un valor mínimo admisible de permeabilidad, que permita el paso del flujo sin problema.
2. El filtro de geotextil no sustituye la grava, sustituye una cama de arena de 4 cm de espesor, el filtro de grava si sustituye el geotextil.

En base al objetivo específico número 4 se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. Debe existir permeabilidad en el filtro para que pueda producirse el drenaje del flujo de agua que tiende a levantar partes del suelo.

En base al objetivo específico número 5 se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. La construcción de un filtro de geotextil comparado con el tiempo de construcción de un filtro de grava, es más rápida en casos donde el geotextil se utilice en muros de retención estabilizados mecánicamente o donde se utilice como filtro de separación para evitar únicamente la emigración de finos, en otros casos donde el filtro de geotextil requiera un colchón de grava como en una trinchera drenante en pasos peatonales, vehiculares, o muros de retención los tiempos de construcción son similares.
2. El filtro de grava, garantiza la fluidez y evacuación de caudales mayores, el geotextil como tal no está diseñado para evacuar cantidades mayores de agua. Sin embargo en donde se tengan caudales mayores y pendientes menores se puede utilizar un filtro de geocompuesto, que tiene como nombre geodren, las propiedades de este geocompuesto se pueden ingresar en la hoja de cálculo para diseño de filtro de grava con geotextil para suelos, este geocompuesto si puede sustituir la grava. Está diseñado para evacuar caudales mayores de agua y evitar que los finos emigren a la superficie, en casos donde se tenga una superficie donde estará expuesto a esfuerzos de compresión el geodren debe ser planar.
3. La instalación de un filtro de geotextil tiene que ser cuidadosa para evitar que se rompa, si en algún caso sucediera el rompimiento o rasgado del mismo se debe reparar con parches que traslapen por lo menos 20 cm la rotura.

4. La grava requiere de un buen control de calidad al momento de ser instalada en obra como filtro, se debe verificar que sea de la granulometría diseñada para que puede cumplir su función y que el material de filtro de grava este limpio y no exceda el porcentaje de finos requerido.
5. El geotextil se puede utilizar como filtro en sustitución de la grava en lugares donde la colocación de grava es bastante difícil y en lugares donde se mantienen corrientes de flujo y al mismo tiempo se requiere drenar el agua y separar dos tipos de suelo, como en los taludes.
6. La perdida de partículas de suelo en una masa produce inestabilidad, se garantiza el buen funcionamiento del filtro con todos sus tubos de evacuación del caudal.
7. El filtro de grava siempre necesita tener confinamiento de lo contrario no es posible su construcción, un filtro de geotextil no necesita confinamiento.

En base al objetivo específico número 6 se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. La filtración a través de grava y geotextiles, es la forma más económica y eficiente de proteger el suelo base y evitar el arrastre de partículas. La filtración es un proceso de mucha importancia dentro de estabilización de las masas de suelo.
2. Si en el lugar donde se debe construir el filtro se encuentran bancos de material de grava muy cercanos, el filtro de grava es más económico que un filtro de geotextil, sin embargo esto puede cambiar si las condiciones son contrarias. No se puede generalizar que filtro es más económico, realmente el costo de cada método depende de muchos factores que intervienen en el proyecto.

RECOMENDACIONES

En base al objetivo específico número 1 se obtuvieron las siguientes recomendaciones:

1. En Guatemala existen muchas regiones de occidente donde se encuentran suelos con porcentajes de finos mayores al 50%, en particular limos, arcillas, en estas zonas es de mejor función un filtro de geotextil, ya que provee bastante control de las partículas finas y mayor facilidad de construcción un y según su función se verificara si es necesario colocar un colchón de grava. En las zonas tropicales se presentan áreas de suelo arenoso, para estos casos se recomienda un filtro de grava ya que la emigración de finos es menor y la vida útil del filtro se mantiene por más tiempo, debido a que los suelos arenosos no aportan una cantidad de finos alta para las partículas de grava, esto hace que el filtro provee su función de mejor manera.
2. Según la función del filtro se debe tomar en cuenta que el geotextil no sustituye la grava.

En base al objetivo general número 1 se obtuvieron las siguientes recomendaciones:

1. Hacer siempre el análisis granulométrico, límites de Atterberg y permeabilidad del suelo que será protegido para poder diseñar el filtro adecuado.
2. Usar el geotextil adecuado partiendo del diseño, solicitar al proveedor la hoja técnica del geotextil que se desea utilizar y rectificar si cumple con las condiciones adecuadas para su función como filtro de geotextil que las indicar el diseño.
3. El geotextil a utilizar debe cumplir con las características de diseño según el tipo de suelo que se requiere proteger, la abertura de poro no debe permitir la emigración de las partículas de suelo.
4. Tomar en cuenta todos los parámetros indicados para el diseño del filtro a utilizar para garantizar el mejor funcionamiento.
5. El confinamiento para la construcción de filtros de grava debe ser el requerido o diseñado según el proyecto.

En base al objetivo general número 2 se obtuvieron las siguientes recomendaciones:

1. Es recomendable usar un filtro de grava o geodren donde el caudal o escorrentía sea alta.
2. Para determinar que método se utilizara, debe tomar en cuenta su función, el costo y vida útil.

3. Utilizar filtros de grava en lugares donde existan caudales mayores, o donde quedara expuesto a los rayos UV.
4. Para la construcción de un filtro donde las condiciones para confinamiento sea muy difícil y en suelos arcillosos, o limos, se recomienda la utilización del geotextil de polipropileno para proveer mayor facilidad de construcción y evitar la colmatación por finos en el filtro.

En base al objetivo general número 3 se obtuvieron las siguientes recomendaciones:

1. Utilizar filtro de geotextil donde no quedara expuesto a los rayos UV, o verificar que siempre este protegido contra los rayos ultravioleta.
2. Las salidas y sifones deben ser fabricadas con el mismo material que la tubería de sub-drenaje. Excepto por las cubiertas y las bandas de acoplamiento, en ninguna instalación se debe combinar tubería de aluminio con acero. Las salidas y sifones y sus accesorios no deber ser perforadas.

En base al objetivo general número 4 se obtuvieron las siguientes recomendaciones:

1. Hacer la inspección de campo para determinar las características del suelo a proteger y poder hacer el diseño del filtro adecuado.
2. Un filtro de geotextil es recomendable donde el suelo base sea muy blando, en este caso provee protección, separación, filtración del material base y facilidad de construcción del proyecto.

En base al objetivo general número 5 se obtuvieron las siguientes recomendaciones:

1. El filtro de geotextil debe ser diseñado para permitir el paso del agua mientras retiene el suelo en el sitio sin apelmazarse.
2. Si se usa un geocompuesto en lugares donde existirán escorrentías mayores o caudales altos, además cargas a compresión transmitidas, se debe colocar un colchón de grava que lo proteja o alguna superficie que no permita el contacto directo o deterioro.
3. Hacer la inspección en el lugar y ver las condiciones del sitio para determinar la mejor opción de filtro a utilizar, extraer las muestra de suelo que será el suelo que quedara en contacto con el filtro el cual es llamado suelo base y llevarlas al laboratorio hacer los análisis o ensayos requeridos.

4. Según las facilidades, función y utilización de los filtros de geotextil o grava se recomienda tomar en cuenta sus tiempos de construcción.
5. Hacer la inspección del filtro después de unos meses de funcionamiento y hacer la limpieza cuando se haya calculado sea conveniente.
6. Cubrir el tubo perforado con geotextil para evitar que los finos tapen sus perforaciones, esto se debe hacer siempre, con el filtro de grava y el de geotextil

En base al objetivo general número 6 se obtuvieron las siguientes recomendaciones:

1. Usar el filtro más económico, siempre y cuando se tomen en cuenta todos los parámetros de diseño y se garantice su mejor función y vida útil.

REFERENCIAS

American Association Of State Highway And Transportation Officials (Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes AASHTO M 6-08. Standard Specification for Fine Aggregate for Hydraulic Cement Concrete. American Association of State and Highway Transportation Officials / 01-Aug-2008 / 8 pages

American Association Of State Highway And Transportation Officials (Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes AASHTO M 36-03. Standard Specification for Corrugated Steel Pipe, Metallic-Coated, for Sewers and Drains. American Association of State and Highway Transportation Officials / 24 pages

American Association Of State Highway And Transportation Officials (Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes AASHTO M65:04 Standard Specification for Vitrified Clay Pipe, Extra Strength, Standard Strength and Perforated / 4 pages.

American Association Of State Highway And Transportation Officials (Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes AASHTO M 176M/M 176-06 Standard Specification for Porous Concrete Pipe, American Association of State and Highway Transportation Officials 2006 / 2 pages.

American Association Of State Highway And Transportation Officials (Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes AASHTO M 196-92. (2004) Standard Specification for Corrugated Aluminum Pipe for Sewers and Drains American Association of State and Highway Transportation Officials / 16 pages.

American Association Of State Highway And Transportation Officials (Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes ASHTO M 218-03. Standard Specification for Steel Sheet, Zinc-Coated (Galvanized), for Corrugated Steel Pipe American Association of State and Highway Transportation Officials / 7 pages.

American Association Of State Highway And Transportation Officials (Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes AASHTO M 252-09. Standard Specification for Corrugated Polyethylene Drainage Pipe American Association of State and Highway Transportation Officials / 01-Jan-2009 / 10 pages.

American Association Of State Highway And Transportation Officials (Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes. AASHTO M 264-03 Standard Specification for Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) and Poly (Vinyl

Chloride) (PVC) Composite Sewer Piping, American Association of State and Highway Transportation Officials / 2 pages

American Association Of State Highway And Transportation Officials (Asociacion Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes AASHTO M 278-02. Standard Specification for Class PS46 Poly (Vinyl Chloride) (PVC) Pipe American Association of State and Highway Transportation Officials / 9 pages.

American Association Of State Highway And Transportation Officials (Asociacion Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes AASHTO M 294-09. Standard Specification for Corrugated Polyethylene Pipe, 300- to 1500-mm Diameter American Association of State and Highway Transportation Officials / 2009 / 15 pages

American Association Of State Highway And Transportation Officials (Asociacion Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes AASHTO T 11-05. Standard Method of Test for Materials Finer Than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing American Association of State and Highway Transportation Officials / 6 pages

American Association Of State Highway And Transportation Officials (Asociacion Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes AASHTO T 27-06. Standard Method of Test for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates American Association of State and Highway Transportation Officials / 9 pages

American Association Of State Highway And Transportation Officials (Asociacion Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes AASHTO T 85-10. Standard Method of Test for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate (ASTM Designation: C 127-04) American Association of State and Highway Transportation Officials / 2010 / 10 pages

American Association Of State Highway And Transportation Officials (Asociacion Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes AASHTO T 88-00 (2004). Standard Method of Test for Particle Size Analysis of Soils American Association of State and Highway Transportation Officials / 21 pages

American Association Of State Highway And Transportation Officials (Asociacion Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes AASHTO T 99-01 (2009). Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils Using a 2.5-kg (5.5-lb) Rammer and a 305-mm (12-in.) Drop American Association of State and Highway Transportation Officials / 2009 / 13 pages

American Society For Testing And Materials (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales) ASTM D1621 - 10 Standard Test Method for Compressive Properties Of Rigid Cellular Plastics 5 pag.

American Society For Testing And Materials (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales) ASTM D3786-01 Standard Test Method for Hydraulic Bursting Strength of Textile Fabrics-Diaphragm Bursting Strength Tester Method 4 pag.

American Society For Testing And Materials (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales)ASTM D4491-99a Standard Test Methods for Water Permeability of Geotextiles by Permittivity 6 page

American Society For Testing And Materials (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales) ASTM D4533 - 04(2009) Standard Test Method for Trapezoid Tearing Strength of Geotextiles

American Society For Testing And Materials (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales) ASTM D4632 - 08 Standard Test Method for Grab Breaking Load and Elongation of Geotextiles 4 pag.

American Society For Testing And Materials (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales) ASTM D4833-00 Standard Test Method for Index Puncture Resistance of Geotextiles, Geomembranes, and Related Products 4 pag.

Das, B.M., 2001: Principios de Ingeniería de Cimentaciones, Thomson Editores, Cuarta Edición., California State University, pág. 30.

Das, B.M., 1998: Principios de Geotécnica, Limusa Editores, Primera Edición., México, pág. 90-200.

Chow. V.T., 1988: Handbook Of Applied Hydrology, McGraw-Hill, California, pagina 400-480, 510, 635-650, 712-720.

Dingman, S. L., 1994: Physical hydrology, Prentice-Hall, Madrid, pagina 25-50, 97.

Fajardo A., y Rodríguez S., 1999: Diseño Racional De Elementos Filtrantes Para Sistemas De Subdrenaje, P.U.J., Colombia. Página 162-200.

González de Vallejo, Luis I., 2002: Ingeniería Geológica. Editorial Pearson Prentice Hall, Madrid. Página 30, 37, 52.

GSE (Geosintéticos, Sistemas de Erosión). 2003 Drainage Design Manual Thomson Editores, Primera Edición, California, pág. 50.

Holtz, R., 1997. Geosynthetic Engineering. NOS Editores, California, Pag. 30-200.

Ingenieros Consultores de Centro América S.A (ICCSA), 2001: Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes; Edición 2001, Guatemala. Página 200-650

Lambe T W., y R. V. Whitman, 1984. "Mecánica de suelos," Editorial Limusa, S.A México, pág. 32-37, 41-54, 267-297, 299-312.

Price, M., 2003.- Agua Subterránea. Limusa, Colombia 341 pp.

Sanz Llano J. J., 1975: Mecánica de Suelos. Editores Técnicos Asociados, S.A, Barcelona. Página 90.

Terzaghi, K., y R, Peck., 1948: Soil mechanics in engineering practice". John Wiley and Sons, 3era edición, New York, páginas 745 -900.

USGS. Servicio Geológico de Estados Unidos., 1995, Physical Hydrology. Prentice-Hall, (Segunda edición). Menlor Park California.
<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>)

ANEXO 1

TABLA 13

Propiedades mecánicas, hidráulicas y físicas que debe cumplir un geotextil para filtro, en (ingenieriageosinteticos.amco@pavco.com.co • www.pavco.com.co)

PROPIEDADES MECANICAS	NORMA	UNIDAD	NT 1600	NT 1800	NT 2000	NT 2500	NT 3000	NT 4000	NT 5000	NT 6000	NT 7000	REPAV 400	REPAV 450
Metodo Grab													
Resistencia a la Tension	ASTM D 4632	N (lb)	450(102)	530(120)	620 (141)	710(161)	770(125)	1070(243)	1220(243)	1410(320)	1720(391)	530(120)	570(130)
Elongacion		%	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
Resistencia al punzonamiento	ASTM D 4833	N (lb)	250(57)	310(70)	360(82)	400(91)		590(134)	590(134)	800(182)	800(182)	300(68)	320(73)
Metodo CBR													
Resistencia al punzonamiento	ASTM D 6241	KN	1.3	1.6	1.8	2.2	2.4	3.1	3.5	4.1	5.4	N/A	N/A
Resistencia al Rasgado													
Trapezoidal	ASTM D 4533	N (lb)	210(48)	260(59)	280(64)	320(73)	340(77)	400(91)	460 (105)	540(123)	600(136)	250(57)	290(66)
Metodo Mullen Burst													
Resistencia al Estallido	ASTM D 3786	kPa (psi)	1311(190)	1587(230)	1794(260)	2070(300)	2208(320)	2829(410)	3174(460)	3795 (550)	4830(700)	1518(220)	1587(230)

PROPIEDADES HIDRAULICAS	NORMA	UNIDAD	NT 1600	NT 1800	NT 2000	NT 2500	NT 3000	NT 4000	NT 5000	NT 6000	NT 7000	REPAV 400	REPAV 450
Tamaño de abertura aparente	ASTM D 4751	mm (No. Tamiz)	0.250 (60)	0.180(80)	0.180(80)	0.150(100)	0.150(100)	0.125(120)	0.106(140)	0.106(140)	0.09(170)	N/A	N/A
Permeabilidad	ASTM D 4491	cm/s	46 x 10 (-2)	41x10(-2)	42x10(-2)	40x10(-2)	40x10(-2)	34x10(-2)	32x10(-2)	28x10(-2)	22x10(-2)	N/A	N/A
Permitividad	ASTM D 4491	1/s	3.1	2.4	2.0	1.9	2.0	1.4	1.2	0.9	0.7	N/A	N/A
Retencion de asfalto	ASTM D 6140	L/m2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.0	1.1

PROPIEDADES FISICAS	NORMA	UNIDAD	NT 1600	NT 1800	NT 2000	NT 2500	NT 3000	NT 4000	NT 5000	NT 6000	NT 7000	REPAV 400	REPAV 450
Espesor	ASTM D 5199	mm	1.5	1.7	1.9	2.0	2.1	2.4	2.7	3.1	3.2	1.3	1.5
Resistencia UV @ 500 horas	ASTM D 4355	%	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70
Rollo Ancho	Medido	m	3.5-3.8-4.0	3.5-3.8-4.0	3.5-3.8-4.0	3.5-3.8-4.0	3.5-3.8-4.0	3.5-3.8-4.0	3.5-3.8-4.0	3.5-3.8-4.0	3.5-3.8-4.0	3.8-4.0	3.8-4.0
Rollo Largo	Medido	m	160	150	130	120	120	130	120	100	80	180	150
Rollo Area	Calculado	m2	560-608-640	525-570-600	455-494-520	420-456-480	420-456-480	455-494-520	420-456-480	350-380-400	280-304-320	680-720	570-600

TABLA 14

Tipos de geosinteticos y ss nombres equivalentes por marca y propiedades.

COMPARACION DE GEOTEXILES, BASADO EN EL COMPORTAMIENTO EQUIVALENTE**										
Civil-Tex - USA	Skaps Industries - USA	BBA NONWOVENS Brasi	PAVCO S.A., Colombia	MACCAFERRI Brasil	TENCATE Mirafi USA	GSE LINING TECHNOLGI ES USA	LINQ INDUSTRIAL FABRICS USA	PROPEX, INC. (Synthetic Industries) USA	TNS USA	TERRAM LTD United Kingdom
		Bidim	PAVCO	MacTex	Mirafi			Geotex		TerraTex
GEOTEXILES TEJIDOS										
M404	M404						GTF-400EO	111F (1198)	M 404	
MC706	M706			MXM10	/ 700		GTF-400E	104F (1199)	M 706	
W100	W100		T1050							
W180	W180		T 1400		500XL /		GTF200S	180ST		
W200	W200		T 1700	MXW9	500X /		GTF-200	200ST (2002)	W 200	
W250	W250		T 2100		550X /		GTF-250	250ST (2004)	W 250	
W300/W315	W300/W315		T 2400		600X /		GTF-300	315ST (2006)	W 300	
MT4050	MT4050				/ 404			2 x 2 HF (2016)	MT 4050	
			TR4000					3 x 3 (2033)		
M440	M440				Geolon HP570		GTF-570	4 x 4 (2044)	MP 570	
GEOTEXILES PARA CORTINAS DE SEDIMENTOS										
W100	W100				100X /		GTF-180, GTF 190	2130	W100	
WM330	WM330							2127		
GEOTEXILES NO TEJIDOS										
NW210	GE180	OP20	NT3000	MX225	S800	NW 6		651	E 080	
NW280	GE180	OP30	NT4000	MX275	S800	NW 8	GTF-225EX	861	E 080	2000
NW340	GT110		NT5000	MX350	1100N		GTF-250EX	1001	R 100, E 100	
NW410	GT112	OP40	NT6000		1200N		GTF-275EX	1201	R 120, E 120	3000, 4000
NW540	GT116	OP60	NT7000		1160N	NW 16	GTF-350EX	1601, 1701	R 160	4000, 5000
NW560	GE116				S1180			1751	E160	
NW105	GT131		NT1400					311	R 031	600
NW120	GT135		NT1600		140NL		GTF-125EX	351	R 035	
NW140	GT140	OP15	NT1800		140NC		GTF-130EX	401	R 040	800
NW150	GT142		NT2000	MX155	140N	NW4	GTF-140EX	401, 451	R 042	900
NW170	GT150			MX180						1200
NW200	GT180	OP20	NT2000M / NT3000	MX225	160N	NW 6	GTF-150EX	601	R 060	
NW240	GT170			MX245			GTF-160EX		R 070	1300
NW270	GT180	OP30	NT3000M / NT4000	MX275	180N	NW8	GTF-180EX	801	R 080	1500
TELAS DE PAVIMENTACION										
PA140	GC140		Repav 450		Mirapave 500		GTF-130EX	Petromat 4598	A/o Mat C 040	
PA130	GC130		Repav 400		Mirapave 400		GTF-125EX	Petromat 4599	A/o Mat C 039	

TABLA 15

Geotextil sugerido a utilizar segun su campo de aplicación y funcion en (ingenieriageosinteticos.amco@pavco.com.co)

Campos de Aplicación/Funcion	Separacion	Filtracion	Drenaje en el plano	Refuerzo	GEOTEXTIL SUGERIDO
Vias	X	X	X	X	NT 1600, NT 1800, NT 2000, NT 2500, NT 3000, NT 4000, NT 5000
					NT 6000, NT 7000, T1050, T1400, T1700, T2400, TR 3000, TR 4000
Repavimentacion					REPAV 400, REPAV 450
Ferrovias	X	X	X	X	NT 4000, NT 5000, NT 6000, NT 7000, T2100, T2400, TR 3000, TR 4000
Subdrenes	X	X	X		NT 1600, NT 1800, NT 2000, NT 2500, NT 3000
Muros de Contencion				X	T1400, T 1700, T2100, T2400, TR 3000, TR 4000
Terraplenes	X			X	NT 3000, NT 4000, NT 5000, NT 6000, NT 7000, T1700, T2100, T2400, TR3000, TR 4000
Gaviones	X	X			NT 1600, NT 1800, NT 2000, NT 2500, NT 3000
Muelles y Puentes	X	X			NT 1800, NT 2000, NT 2500, NT 3000, NT 4000, NT 5000
Presas, Diques y Canales	X	X			NT 2500, NT 3000, NT 4000, NT 5000, NT 6000, NT 7000
Tuneles		X	X		NT 2000, NT 2500, NT 3000, NT 4000, NT 5000, NT 6000, NT 7000
Rellenos Sanitarios y Embalses	X		X		NT 1600, NT 1800, NT 2000, NT 2500, NT 3000, NT 4000, NT 5000, NT 6000, NT 7000
Filtro para Bolsacretos	X	X			NT 1600, NT 1800, NT 2000, NT 2500, NT 3000

TABLA 16

Calculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 40 x 40 cm, en (GSE 2003)

Seccion cm x cm	Area cm2	Pendiente (%)	Tamaño del agregado 1/2"		Tamaño del agregado 3/4"		Tamaño del agregado 1"		Tamaño del agregado 2"	
			Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal
			cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s
40 x 40	1600	0.50	0.06	100	0.156	250	0.281	450	0.375	600
40 x 40	1600	1.00	0.125	200	0.313	500	0.563	900	0.750	1200
40 x 40	1600	1.50	0.188	300	0.469	750	0.844	1350	1,125	1800
40 x 40	1600	2.00	0.25	400	0.625	1000	1,125	1800	1,500	2400
40 x 40	1600	2.50	0.313	500	0.781	1250	1,406	2250	1,875	3000
40 x 40	1600	3.00	0.375	600	0.938	1500	1,688	2700	2,250	3600
40 x 40	1600	3.50	0.438	700	1,094	1750	1,969	3150	2,625	4200
40 x 40	1600	4.00	0.5	800	1,250	2000	2,250	3600	3,000	4800
40 x 40	1600	4.50	0.563	900	1,406	2250	2,531	4050	3,375	5400
40 x 40	1600	5.00	0.625	1000	1,563	2500	2,813	4500	3,750	6000
40 x 40	1600	5.50	0.688	1100	1,719	2750	3,094	4950	4,125	6600
40 x 40	1600	6.00	0.75	1200	1,875	3000	3,375	5400	4,500	7200
40 x 40	1600	6.50	0.813	1300	2,031	3250	3,656	5850	4,875	7800
40 x 40	1600	7.00	0.875	1400	2,188	3500	3,938	6300	5,250	8400

TABLA 17

Calculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 40 x 50 cm, en (GSE 2003)

Seccion cm x cm	Area cm ²	Pendiente (%)	Tamaño del agregado 1/2"		Tamaño del agregado 3/4"		Tamaño del agregado 1"		Tamaño del agregado 2"	
			Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal
			cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s
40 x 50	2.00	0.50	0.06	125	0.156	312.5	0.281	562.5	0.375	750.0
40 x 50	2.00	1.00	0.125	250	0.313	625.0	0.563	1125.0	0.750	1500.0
40 x 50	2.00	1.50	0.188	375	0.469	937.5	0.844	1687.5	1,125	2250.0
40 x 50	2.00	2.00	0.25	500	0.625	1250.0	1,125	2250.0	1,500	3000.0
40 x 50	2.00	2.50	0.313	625	0.781	1562.0	1,406	2812.5	1,875	3750.0
40 x 50	2.00	3.00	0.375	750	0.938	1875.0	1,688	3375.0	2,250	4500.0
40 x 50	2.00	3.50	0.438	875	1,094	2187.5	1,969	3937.5	2,625	5250.0
40 x 50	2.00	4.00	0.5	1000	1,250	2500.0	2,250	4500.0	3,000	6000.0
40 x 50	2.00	4.50	0.563	1,125,0	1,406	2812.5	2,531	5062.5	3,375	6750.0
40 x 50	2.00	5.00	0.625	1,250,0	1,563	3125.0	2,813	5625.0	3,750	7500.0
40 x 50	2.00	5.50	0.688	1,375,0	1,719	3437.5	3,094	6187.5	4,125	8250.0
40 x 50	2.00	6.00	0.75	1,500,0	1,875	3750.0	3,375	6750.0	4,500	9000.0
40 x 50	2.00	6.50	0.813	1,625,0	2,031	4062.5	3,656	7312.5	4,875	9750.0
40 x 50	2.00	7.00	0.875	1,750,0	2,188	4375.0	3,938	7875.0	5,250	10500.0

TABLA 18

Calculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 40 x 60 cm, en (GSE 2003)

Seccion cm x cm	Area cm2	Pendiente (%)	Tamaño del agregado 1/2"		Tamaño del agregado 3/4"		Tamaño del agregado 1"		Tamaño del agregado 2"	
			Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal
			cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s
40 x60	2.40	0.50	0.063	150	0.156	375	0.281	675	0.375	900
40 x 60	2.40	1.00	0.125	300	0.313	750	0.563	1350	0.750	1800
40 x 60	2.40	1.50	0.188	450	0.469	1125	0.844	2025	1,125	2700
40 x 60	2.40	2.00	0.250	600	0.625	1500	1,125	2700	1,500	3600
40 x 60	2.40	2.50	0.313	750	0.781	1875	1,406	3375	1,875	4500
40 x 60	2.40	3.00	0.375	900	0.938	2250	1,688	4050	2,250	5400
40 x 60	2.40	3.50	0.438	1050	1,094	2625	1,969	4725	2,625	6300
40 x 60	2.40	4.00	0.500	1200	1,250	3000	2,250	5400	3,000	7200
40 x 60	2.40	4.50	0.563	1350	1,406	3375	2,531	6075	3,375	8100
40 x 60	2.40	5.00	0.625	1500	1,563	3750	2,813	6750	3,750	9000
40 x 60	2.40	5.50	0.688	1650	1,719	4125	3,094	7425	4,125	9900
40 x 60	2.40	6.00	0.750	1800	1,875	4500	3,375	8100	4,500	10800
40 x 60	2.40	6.50	0.813	1950	2,031	4875	3,656	8775	4,875	11700
40 x 60	2.40	7.00	0.875	2100	2,188	5250	3,938	9450	5,250	12600

TABLA 19

Calculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 40 x 70 cm, en (GSE 2003)

Seccion cm x cm	Area cm2	Pendiente (%)	Tamaño del agregado 1/2"		Tamaño del agregado 3/4"		Tamaño del agregado 1"		Tamaño del agregado 2"	
			Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal
			cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s
40 x 70	2.80	0.50	0.063	175	0.156	437.5	0.281	787.5	0.375	1050
40 x 70	2.80	1.00	0.125	350	0.313	875.0	0.563	1575.0	0.750	2100
40 x 70	2.80	1.50	0.188	525	0.469	1312.5	0.844	2362.5	1,125	3150
40 x 70	2.80	2.00	0.250	700	0.625	1750.0	1,125	3150.0	1,500	4200
40 x 70	2.80	2.50	0.313	875	0.781	2187.5	1,406	3937.5	1,875	5250
40 x 70	2.80	3.00	0.375	1050	0.938	2625.0	1,688	4725.0	2,250	6300
40 x 70	2.80	3.50	0.438	1225	1,094	3062.5	1,969	5512.5	2,625	7350
40 x 70	2.80	4.00	0.500	1400	1,250	3500.0	2,250	6300.0	3,000	8400
40 x 70	2.80	4.50	0.563	1575	1,406	3937.5	2,531	7087.5	3,375	9450
40 x 70	2.80	5.00	0.625	1750	1,563	4375.0	2,813	7875.0	3,750	10500
40 x 70	2.80	5.50	0.688	1925	1,719	4812.0	3,094	8662.5	4,125	11550
40 x 70	2.80	6.00	0.750	2100	1,875	5250.0	3,375	9450.0	4,500	12600
40 x 70	2.80	6.50	0.813	2275	2,031	5687.5	3,656	10237.5	4,875	13650
40 x 70	2.80	7.00	0.875	2450	2,188	6125.0	3,938	11025.0	5,250	14700

TABLA 20

Calculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 40 x 80 cm, en (GSE 2003)

Seccion cm x cm	Area cm ²	Pendiente (%)	Tamaño del agregado 1/2"		Tamaño del agregado 3/4"		Tamaño del agregado 1"		Tamaño del agregado 2"	
			Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal
			cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s
40 x 80	3.20	0.50	0.063	200	0.156	500	0.281	900	0.375	1200
40 x 80	3.20	1.00	0.125	400	0.313	1000	0.563	1800	0.750	2400
40 x 80	3.20	1.50	0.188	600	0.469	1500	0.844	2700	1,125	3600
40 x 80	3.20	2.00	0.250	800	0.625	2000	1,125	3600	1,500	4800
40 x 80	3.20	2.50	0.313	1000	0.781	2500	1,406	4500	1,875	6000
40 x 80	3.20	3.00	0.375	1200	0.938	3000	1,688	5400	2,250	7200
40 x 80	3.20	3.50	0.438	1400	1,094	3500	1,969	6300	2,625	8400
40 x 80	3.20	4.00	0.500	1600	1,250	4000	2,250	7200	3,000	9600
40 x 80	3.20	4.50	0.563	1800	1,406	4500	2,531	8100	3,375	10800
40 x 80	3.20	5.00	0.625	2000	1,563	5000	2,813	9000	3,750	12000
40 x 80	3.20	5.50	0.688	2200	1,719	5500	3,094	9900	4,125	13200
40 x 80	3.20	6.00	0.750	2400	1,875	6000	3,375	10800	4,500	14400
40 x 80	3.20	6.50	0.813	2600	2,031	6500	3,656	11700	4,875	15600
40 x 80	3.20	7.00	0.875	2800	2,188	7000	3,938	12600	5,250	16800

TABLA 21

Calculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 40 x 90 cm, en (GSE 2003)

Seccion cm x cm	Area cm ²	Pendiente (%)	Tamaño del agregado 1/2"		Tamaño del agregado 3/4"		Tamaño del agregado 1"		Tamaño del agregado 2"	
			Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal
			cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s
40 x 90	3.60	0.50	0.063	225	0.156	562.5	0.281	1012.5	0.375	1350
40 x 90	3.60	1.00	0.125	450	0.313	1125.0	0.563	2025.0	0.750	2700
40 x 90	3.60	1.50	0.188	675	0.469	1687.5	0.844	3037.5	1,125	4050
40 x 90	3.60	2.00	0.250	900	0.625	2250.0	1,125	4050.0	1,500	5400
40 x 90	3.60	2.50	0.313	1125	0.781	2812.5	1,406	5062.5	1,875	6750
40 x 90	3.60	3.00	0.375	1350	0.938	3375.0	1,688	6075.0	2,250	8100
40 x 90	3.60	3.50	0.438	1575	1,094	3937.5	1,969	7087.5	2,625	9450
40 x 90	3.60	4.00	0.500	1800	1,250	4500.0	2,250	8100.0	3,000	10800
40 x 90	3.60	4.50	0.563	2025	1,406	5062.5	2,531	9112.5	3,375	12150
40 x 90	3.60	5.00	0.625	2250	1,563	5625.0	2,813	10125.0	3,750	13500
40 x 90	3.60	5.50	0.688	2475	1,719	6187.5	3,094	11137.5	4,125	14850
40 x 90	3.60	6.00	0.750	2700	1,875	6750.0	3,375	12150.0	4,500	16200
40 x 90	3.60	6.50	0.813	2925	2,031	7312.5	3,656	13162.5	4,875	17550
40 x 90	3.60	7.00	0.875	3150	2,188	7875.0	3,938	14175.0	5,250	18900

TABLA 22

Calculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 40 x 100 cm, en (GSE 2003)

Seccion cm x cm	Area cm2	Pendiente (%)	Tamaño del agregado 1/2"		Tamaño del agregado 3/4"		Tamaño del agregado 1"		Tamaño del agregado 2"	
			Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal
			cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s
40 x100	2.00	0.50	0.063	125	0.156	312.5	0.281	562.5	0.375	750
40 x 100	2.00	1.00	0.125	250	0.313	625.0	0.563	1125.0	0.750	1500
40 x 100	2.00	1.50	0.188	375	0.469	937.5	0.844	1687.5	1,125	2250
40 x 100	2.00	2.00	0.250	500	0.625	1250.0	1,125	2250.0	1,500	3000
40 x 100	2.00	2.50	0.313	625	0.781	1562.5	1,406	2812.5	1,875	3750
40 x 100	2.00	3.00	0.375	750	0.938	1875.0	1,688	3375.0	2,250	4500
40 x 100	2.00	3.50	0.438	875	1,094	2187.5	1,969	3937.5	2,625	5250
40 x 100	2.00	4.00	0.500	1000	1,250	2500.0	2,250	4500.0	3,000	6000
40 x 100	2.00	4.50	0.563	1125	1,406	2812.5	2,531	5062.5	3,375	6750
40 x 100	2.00	5.00	0.625	1250	1,563	3125.0	2,813	5625.0	3,750	7500
40 x 100	2.00	5.50	0.688	1375	1,719	3437.5	3,094	6187.5	4,125	8250
40 x 100	2.00	6.00	0.750	1500	1,875	3750.0	3,375	6750.0	4,500	9000
40 x 100	2.00	6.50	0.813	1625	2,031	4062.5	3,656	7312.5	4,875	9750
40 x 100	2.00	7.00	0.875	1750	2,188	4375.0	3,938	7875.0	5,250	10500

TABLA 23

Calculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 50 x 50 cm, en (GSE 2003)

Seccion cm x cm	Area cm2	Pendiente (%)	Tamaño del agregado 1/2"		Tamaño del agregado 3/4"		Tamaño del agregado 1"		Tamaño del agregado 2"	
			Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal
			cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s
50 x 50	2.50	0.50	0.063	156.3	0.156	390.6	0.281	703.1	0.375	937.5
50 x 50	2.50	1.00	0.125	312.5	0.313	781.3	0.563	1406.3	0.750	1875
50 x 50	2.50	1.50	0.188	468.8	0.469	1171.9	0.844	2109.4	1,125	2812.5
50 x 50	2.50	2.00	0.250	625.0	0.625	1562.5	1,125	2812.5	1,500	3750.0
50 x 50	2.50	2.50	0.313	781.3	0.781	1953.1	1,406	3515.6	1,875	4687.5
50 x 50	2.50	3.00	0.375	937.5	0.938	2343.8	1,688	4218.8	2,250	4625.0
50 x 50	2.50	3.50	0.438	1093.8	1,094	2734.4	1,969	4921.9	2,625	6562.5
50 x 50	2.50	4.00	0.500	1250.0	1,250	3125.0	2,250	5625.0	3,000	7500.0
50 x 50	2.50	4.50	0.563	1406.3	1,406	3515.6	2,531	6328.1	3,375	8437.5
50 x 50	2.50	5.00	0.625	1562.5	1,563	3906.3	2,813	7031.3	3,750	9375.0
50 x 50	2.50	5.50	0.688	1718.8	1,719	4296.9	3,094	7734.4	4,125	10312.5
50 x 50	2.50	6.00	0.750	1875.0	1,875	4687.5	3,375	8437.5	4,500	11250
50 x 50	2.50	6.50	0.813	2031.3	2,031	5078.1	3,656	9140.6	4,875	12187.0
50 x 50	2.50	7.00	0.875	2187.5	2,188	5468.8	3,938	9843.8	5,250	13125.0

TABLA 24

Calculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 50 x 60 cm, en (GSE 2003)

Seccion cm x cm	Area cm2	Pendiente (%)	Tamaño del agregado 1/2"		Tamaño del agregado 3/4"		Tamaño del agregado 1"		Tamaño del agregado 2"	
			Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal
			cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s
50 x60	3.00	0.50	0.063	187.5	0.156	468.8	0.281	843.8	0.375	1125
50 x 60	3.00	1.00	0.125	375.0	0.313	937.5	0.563	1687.5	0.750	2250
50 x 60	3.00	1.50	0.188	562.5	0.469	1406.3	0.844	2531.3	1,125	3375
50 x 60	3.00	2.00	0.250	750.0	0.625	1875.0	1,125	3375.0	1,500	4500
50 x 60	3.00	2.50	0.313	937.5	0.781	2343.8	1,406	4218.8	1,875	5625
50 x 60	3.00	3.00	0.375	1125.0	0.938	2812.5	1,688	5062.5	2,250	6750
50 x 60	3.00	3.50	0.438	1312.5	1,094	3281.3	1,969	5906.3	2,625	7875
50 x 60	3.00	4.00	0.500	1500.0	1,250	3750.0	2,250	6750.0	3,000	9000
50 x 60	3.00	4.50	0.563	1687.5	1,406	4218.8	2,531	7593.8	3,375	10125
50 x 60	3.00	5.00	0.625	1875.0	1,563	4687.5	2,813	8437.5	3,750	11250
50 x 60	3.00	5.50	0.688	2062.5	1,719	5156.3	3,094	9281.3	4,125	12375
50 x 60	3.00	6.00	0.750	2250.0	1,875	5625.0	3,375	10125.,0	4,500	13500
50 x 60	3.00	6.50	0.813	2437.5	2,031	6093.8	3,656	10968.8	4,875	14625
50 x 60	3.00	7.00	0.875	2625.0	2,188	6562.5	3,938	11812.5	5,250	15750

TABLA 25

Calculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 50 x 70 cm, en (GSE 2003)

Seccion cm x cm	Area cm2	Pendiente (%)	Tamaño del agregado 1/2"		Tamaño del agregado 3/4"		Tamaño del agregado 1"		Tamaño del agregado 2"	
			Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal
			cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s
50 x 70	3.50	0.50	0.063	218.8	0.156	546.9	0.281	984.4	0.375	1312.5
50 x 70	3.50	1.00	0.125	437.5	0.313	1093.8	0.563	1968.8	0.750	2625.0
50 x 70	3.50	1.50	0.188	656.3	0.469	1640.6	0.844	2953.1	1,125	3937.5
50 x 70	3.50	2.00	0.250	875.0	0.625	2187.5	1,125	3937.5	1,500	5250.0
50 x 70	3.50	2.50	0.313	1093.8	0.781	2764.4	1,406	4921.9	1,875	6562.5
50 x 70	3.50	3.00	0.375	1312.5	0.938	3281.3	1,688	5906.3	2,250	7875.0
50 x 70	3.50	3.50	0.438	1531.3	1,094	3828.1	1,969	6890.6	2,625	9187.5
50 x 70	3.50	4.00	0.500	1750.0	1,250	4375.0	2,250	7875.0	3,000	10500.0
50 x 70	3.50	4.50	0.563	1968.8	1,406	4921.9	2,531	8859.4	3,375	11812.5
50 x 70	3.50	5.00	0.625	2187.5	1,563	5468.8	2,813	9843.8	3,750	13125.0
50 x 70	3.50	5.50	0.688	2406.3	1,719	6015.6	3,094	10828.1	4,125	14437.5
50 x 70	3.50	6.00	0.750	2625.0	1,875	6562.5	3,375	11812.5	4,500	15750.0
50 x 70	3.50	6.50	0.813	2843.8	2,031	7109.4	3,656	12796.9	4,875	17062.5
50 x 70	3.50	7.00	0.875	3062.5	2,188	7656.3	3,938	13781.3	5,250	18375.0

TABLA 26

Calculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 50 x 80 cm, en (GSE 2003)

Seccion cm x cm	Area cm2	Pendiente (%)	Tamaño del agregado 1/2"		Tamaño del agregado 3/4"		Tamaño del agregado 1"		Tamaño del agregado 2"	
			Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal
			cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s
50 x 80	4,000	0.50	0.063	250	0.156	325	0.281	1125	0.375	1500
50 x 80	4,000	1.00	0.125	500	0.313	1250	0.563	2250	0.750	3000
50 x 80	4,000	1.50	0.188	7500	0.469	1875	0.844	3375	1,125	4500
50 x 80	4,000	2.00	0.250	1000	0.625	2500	1,125	4500	1,500	6000
50 x 80	4,000	2.50	0.313	1250	0.781	3125	1,406	5625	1,875	7500
50 x 80	4,000	3.00	0.375	1500	0.938	3750	1,688	6750	2,250	9000
50 x 80	4,000	3.50	0.438	1750	1,094	4375	1,969	7875	2,625	10500
50 x 80	4,000	4.00	0.500	2000	1,250	5000	2,250	9000	3,000	12000
50 x 80	4,000	4.50	0.563	2250	1,406	5625	2,531	10125	3,375	13500
50 x 80	4,000	5.00	0.625	2500	1,563	6250	2,813	11250	3,750	15000
50 x 80	4,000	5.50	0.688	2750	1,719	6875	3,094	12375	4,125	16500
50 x 80	4,000	6.00	0.750	3000	1,875	7500	3,375	13500	4,500	18000
50 x 80	4,000	6.50	0.813	3250	2,031	8125	3,656	14625	4,875	19500
50 x 80	4,000	7.00	0.875	3500	2,188	8750	3,938	15750	5,250	21000

TABLA 27

Calculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 50 x 90 cm, en (GSE 2003)

Seccion cm x cm	Area cm2	Pendiente (%)	Tamaño del agregado 1/2"		Tamaño del agregado 3/4"		Tamaño del agregado 1"		Tamaño del agregado 2"	
			Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal
			cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s
50 x 90	4,500	0.50	0.063	281.3	0.156	703.1	0.281	1265.6	0.375	1687.5
50 x 90	4,500	1.00	0.125	562.5	0.313	1406.3	0.563	2531.3	0.750	3375.0
50 x 90	4,500	1.50	0.188	843.8	0.469	2109.4	0.844	3796.9	1,125	5062.5
50 x 90	4,500	2.00	0.250	1125.0	0.625	2812.5	1,125	5062.5	1,500	6750.0
50 x 90	4,500	2.50	0.313	1406.3	0.781	3515.6	1,406	6328.1	1,875	8437.5
50 x 90	4,500	3.00	0.375	1687.5	0.938	4219.8	1,688	7593.8	2,250	10125.0
50 x 90	4,500	3.50	0.438	1968.8	1,094	4921.9	1,969	8859.4	2,625	11812.5
50 x 90	4,500	4.00	0.500	2250.0	1,250	5625.0	2,250	10125.0	3,000	13500.0
50 x 90	4,500	4.50	0.563	2531.3	1,406	6328.1	2,531	11390.6	3,375	15187.5
50 x 90	4,500	5.00	0.625	2812.5	1,563	7031.3	2,813	12656.3	3,750	16875.0
50 x 90	4,500	5.50	0.688	3093.8	1,719	7734.4	3,094	13921.9	4,125	18562.5
50 x 90	4,500	6.00	0.750	3375.0	1,875	8437.5	3,375	15187.5	4,500	20250.0
50 x 90	4,500	6.50	0.813	3656.3	2,031	9140.6	3,656	16453.1	4,875	21937.5
50 x 90	4,500	7.00	0.875	3937.5	2,188	9843.8	3,938	17718.8	5,250	23625.0

TABLA 28

Calculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 50 x 100 cm, en (GSE 2003)

Seccion cm x cm	Area cm2	Pendiente (%)	Tamaño del agregado 1/2"		Tamaño del agregado 3/4"		Tamaño del agregado 1"		Tamaño del agregado 2"	
			Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal
			cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s
50 x 100	5,000	0.50	0.063	312.5	0.156	781.3	0.281	1406.3	0.375	1875
50 x 100	5,000	1.00	0.125	625.0	0.313	1562.5	0.563	2812.5	0.750	3750
50 x 100	5,000	1.50	0.188	937.5	0.469	2343.8	0.844	4218.8	1,125	5625
50 x 100	5,000	2.00	0.250	1250.0	0.625	3125.0	1,125	5625.0	1,500	7500
50 x 100	5,000	2.50	0.313	1562.5	0.781	3906.3	1,406	7031.3	1,875	9375
50 x 100	5,000	3.00	0.375	1875.0	0.938	4687.5	1,688	8437.5	2,250	11250
50 x 100	5,000	3.50	0.438	2187.5	1,094	5468.8	1,969	9843.8	2,625	13125
50 x 100	5,000	4.00	0.500	2500.0	1,250	6250.0	2,250	11250.0	3,000	15000
50 x 100	5,000	4.50	0.563	2812.5	1,406	7031.3	2,531	12656.3	3,375	16875
50 x 100	5,000	5.00	0.625	3125.0	1,563	7812.5	2,813	14062.5	3,750	18750
50 x 100	5,000	5.50	0.688	3437.5	1,719	8593.8	3,094	15468.8	4,125	20625
50 x 100	5,000	6.00	0.750	3750.0	1,875	9375.0	3,375	16875.0	4,500	22500
50 x 100	5,000	6.50	0.813	4062.5	2,031	10156.3	3,656	18281.3	4,875	24375
50 x 100	5,000	7.00	0.875	4375.0	2,188	10937.5	3,938	19687.5	5,250	26250

TABLA 29

Calculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 60 x 60 cm, en (GSE 2003)

Seccion cm x cm	Area cm ²	Pendiente (%)	Tamaño del agregado 1/2"		Tamaño del agregado 3/4"		Tamaño del agregado 1"		Tamaño del agregado 2"	
			Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal
			cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s
60 x 60	3,600	0.50	0.063	225	0.156	562.5	0.281	1012.5	0.375	1350.0
60 x 60	3,600	1.00	0.125	450	0.313	1125.0	0.563	2025.0	0.750	2700.0
60 x 60	3,600	1.50	0.188	675	0.469	1687.5	0.844	3037.5	1,125	4050.0
60 x 60	3,600	2.00	0.250	900	0.625	2250.0	1,125	4050.0	1,500	5400.0
60 x 60	3,600	2.50	0.313	1125	0.781	2812.5	1,406	5062.5	1,875	3750.0
60 x 60	3,600	3.00	0.375	1350	0.938	3375.0	1,688	6075.0	2,250	8100.0
60 x 60	3,600	3.50	0.438	1575	1,094	3937.5	1,969	7087.5	2,625	9450.0
60 x 60	3,600	4.00	0.500	1800	1,250	4500.0	2,250	8100.0	3,000	10800.0
60 x 60	3,600	4.50	0.563	2025	1,406	5062.5	2,531	9112.5	3,375	12150.0
60 x 60	3,600	5.00	0.625	2250	1,563	5625.0	2,813	10125.0	3,750	13500.0
60 x 60	3,600	5.50	0.688	2475	1,719	6187.5	3,094	11137.5	4,125	14850.0
60 x 60	3,600	6.00	0.750	2700	1,875	6750.0	3,375	12150.0	4,500	16200.0
60 x 60	3,600	6.50	0.813	2925	2,031	7312.5	3,656	13162.5	4,875	17500.0
60 x 60	3,600	7.00	0.875	3150	2,188	7875.0	3,938	14175.0	5,250	18900.0

TABLA 30

Calculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 60 x 70 cm, en (GSE 2003)

Seccion cm x cm	Area cm2	Pendiente (%)	Tamaño del agregado 1/2"		Tamaño del agregado 3/4"		Tamaño del agregado 1"		Tamaño del agregado 2"	
			Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal
			cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s
60 x 70	4,200	0.50	0.063	262.5	0.156	656.3	0.281	1181.3	0.375	1575.0
60 x 70	4,200	1.00	0.125	525.0	0.313	1312.5	0.563	2362.5	0.750	3150.0
60 x 70	4,200	1.50	0.188	787.5	0.469	1968.8	0.844	3543.8	1,125	4725.0
60 x 70	4,200	2.00	0.250	1050.0	0.625	2625.0	1,125	4725.0	1,500	6300.0
60 x 70	4,200	2.50	0.313	1312.5	0.781	3281.3	1,406	5906.3	1,875	7875.0
60 x 70	4,200	3.00	0.375	1575.0	0.938	3937.5	1,688	7087.5	2,250	9450.0
60 x 70	4,200	3.50	0.438	1837.5	1,094	4593.8	1,969	8268.8	2,625	11025.0
60 x 70	4,200	4.00	0.500	2100.0	1,250	5250.0	2,250	9450.0	3,000	12600.0
60 x 70	4,200	4.50	0.563	2362.5	1,406	5906.3	2,531	10631.3	3,375	14175.0
60 x 70	4,200	5.00	0.625	2625.0	1,563	6562.5	2,813	11812.5	3,750	15750.0
60 x 70	4,200	5.50	0.688	2887.5	1,719	7218.8	3,094	12993.8	4,125	17325.0
60 x 70	4,200	6.00	0.750	3150.0	1,875	7875.0	3,375	14175.0	4,500	18900.0
60 x 70	4,200	6.50	0.813	3412.5	2,031	8531.3	3,656	15356.3	4,875	20475.0
60 x 70	4,200	7.00	0.875	3675.0	2,188	9187.5	3,938	16537.5	5,250	22050.0

TABLA 31

Calculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 60 x 80 cm, en (GSE 2003)

Seccion cm x cm	Area cm2	Pendiente (%)	Tamaño del agregado 1/2"		Tamaño del agregado 3/4"		Tamaño del agregado 1"		Tamaño del agregado 2"	
			Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal
			cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s
60 x 80	4,800	0.50	0.063	300	0.156	750	0.281	1350	0.375	1800
60 x 80	4,800	1.00	0.125	600	0.313	1500	0.563	2700	0.750	3600
60 x 80	4,800	1.50	0.188	900	0.469	2250	0.844	4050	1,125	5400
60 x 80	4,800	2.00	0.250	1200	0.625	3000	1,125	5400	1,500	7500
60 x 80	4,800	2.50	0.313	1500	0.781	3750	1,406	6750	1,875	9000
60 x 80	4,800	3.00	0.375	1800	0.938	4500	1,688	8100	2,250	10800
60 x 80	4,800	3.50	0.438	2100	1,094	5250	1,969	9450	2,625	12600
60 x 80	4,800	4.00	0.500	2400	1,250	6000	2,250	10800	3,000	14400
60 x 80	4,800	4.50	0.563	2700	1,406	6750	2,531	12150	3,375	16200
60 x 80	4,800	5.00	0.625	3000	1,563	7500	2,813	13500	3,750	18000
60 x 80	4,800	5.50	0.688	3300	1,719	8250	3,094	14850	4,125	19800
60 x 80	4,800	6.00	0.750	3600	1,875	9000	3,375	16200	4,500	21600
60 x 80	4,800	6.50	0.813	3900	2,031	9750	3,656	17550	4,875	23400
60 x 80	4,800	7.00	0.875	4200	2,188	10500	3,938	18900	5,250	25200

TABLA 32

Calculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 60 x 90 cm, en (GSE 2003)

Seccion cm x cm	Area cm ²	Pendiente (%)	Tamaño del agregado 1/2"		Tamaño del agregado 3/4"		Tamaño del agregado 1"		Tamaño del agregado 2"	
			Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal
			cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s
60 x 90	6,300	0.50	0.063	337.5	0.156	843.8	0.281	1518.8	0.375	2025
60 x 90	6,300	1.00	0.125	675	0.313	1687.5	0.563	3037.5	0.750	4050
60 x 90	6,300	1.50	0.188	1012.5	0.469	2531.3	0.844	4556.3	1,125	6075
60 x 90	6,300	2.00	0.250	1350	0.625	3375.0	1,125	6075.0	1,500	8100
60 x 90	6,300	2.50	0.313	1687.5	0.781	4218.8	1,406	7593.8	1,875	10125
60 x 90	6,300	3.00	0.375	2025	0.938	5062.5	1,688	9112.5	2,250	12150
60 x 90	6,300	3.50	0.438	2362.5	1,094	5906.3	1,969	10631.3	2,625	14175
60 x 90	6,300	4.00	0.500	2700	1,250	6750.0	2,250	12150.0	3,000	16200
60 x 90	6,300	4.50	0.563	3037.5	1,406	7593.8	2,531	13668.8	3,375	18225
60 x 90	6,300	5.00	0.625	3375	1,563	8437.5	2,813	15187.5	3,750	20250
60 x 90	6,300	5.50	0.688	3712.5	1,719	9281.3	3,094	16706.3	4,125	22275
60 x 90	6,300	6.00	0.750	4050	1,875	10125.0	3,375	18225.0	4,500	24300
60 x 90	6,300	6.50	0.813	4387.5	2,031	10968.8	3,656	19743.8	4,875	26325
60 x 90	6,300	7.00	0.875	4725	2,188	11812.5	3,938	21262.5	5,250	28350

TABLA 33

Calculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 60 x 100 cm, en (GSE 2003)

Seccion cm x cm	Area cm ²	Pendiente (%)	Tamaño del agregado 1/2"		Tamaño del agregado 3/4"		Tamaño del agregado 1"		Tamaño del agregado 2"	
			Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal
			cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s
60 x 100	6,000	0.50	0.063	375	0.156	937.5	0.281	1687.5	0.375	2250
60 x 100	6,000	1.00	0.125	750	0.313	1875.0	0.563	3375.0	0.750	4500
60 x 100	6,000	1.50	0.188	1125	0.469	2812.5	0.844	5062.5	1,125	6750
60 x 100	6,000	2.00	0.250	1500	0.625	3750.0	1,125	6750.0	1,500	9000
60 x 100	6,000	2.50	0.313	1875	0.781	4687.5	1,406	8437.5	1,875	11250
60 x 100	6,000	3.00	0.375	2250	0.938	5625.0	1,688	10125.0	2,250	13500
60 x 100	6,000	3.50	0.438	2625	1,094	6562.5	1,969	11812.5	2,625	15750
60 x 100	6,000	4.00	0.500	3000	1,250	7500.0	2,250	13500.0	3,000	18000
60 x 100	6,000	4.50	0.563	3375	1,406	8437.5	2,531	15187.5	3,375	20250
60 x 100	6,000	5.00	0.625	3750	1,563	9375.0	2,813	16875.0	3,750	22500
60 x 100	6,000	5.50	0.688	4125	1,719	10312.5	3,094	18562.5	4,125	24750
60 x 100	6,000	6.00	0.750	4500	1,875	11250.0	3,375	20250.0	4,500	27000
60 x 100	6,000	6.50	0.813	4875	2,031	12187.5	3,656	21937.5	4,875	29250
60 x 100	6,000	7.00	0.875	5250	2,188	13125.0	3,938	23625.0	5,250	31500

TABLA 34

Calculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 60 x 100 cm, en (GSE 2003)

Seccion cm x cm	Area cm2	Pendiente (%)	Tamaño del agregado 1/2"		Tamaño del agregado 3/4"		Tamaño del agregado 1"		Tamaño del agregado 2"	
			Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal
			cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s
70 x70	4,900	0.50	0.063	306.3	0.156	765.6	0.281	1378.1	0.375	1837.5
70 x 70	4,900	1.00	0.125	612.5	0.313	1531.3	0.563	2756.3	0.750	3675.0
70 x 70	4,900	1.50	0.188	918.8	0.469	2296.9	0.844	4134.4	1,125	5512.5
70 x 70	4,900	2.00	0.250	1225.0	0.625	3062.5	1,125	5512.5	1,500	7350.0
70 x 70	4,900	2.50	0.313	1531.3	0.781	3828.1	1,406	6890.6	1,875	9187.5
70 x 70	4,900	3.00	0.375	1837.5	0.938	4593.8	1,688	8268.8	2,250	11025.0
70 x 70	4,900	3.50	0.438	2143.8	1,094	5359.4	1,969	9646.9	2,625	12862.5
70 x 70	4,900	4.00	0.500	2450.0	1,250	6125.0	2,250	11025.0	3,000	14700.0
70 x 70	4,900	4.50	0.563	2756.3	1,406	6890.6	2,531	12403.1	3,375	16537.5
70 x 70	4,900	5.00	0.625	3062.5	1,563	7656.3	2,813	13781.3	3,750	18375.0
70 x 70	4,900	5.50	0.688	3368.8	1,719	8421.9	3,094	15159.4	4,125	20212.5
70 x 70	4,900	6.00	0.750	3675.0	1,875	9187.5	3,375	16537.5	4,500	22050.0
70 x 70	4,900	6.50	0.813	3981.3	2,031	9953.1	3,656	17915.6	4,875	23887.5
70 x 70	4,900	7.00	0.875	4287.5	2,188	10718.8	3,938	19293.8	5,250	25725.0

TABLA 35

Calculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 70 x 80 cm, en (GSE 2003)

Seccion cm x cm	Area cm ²	Pendiente (%)	Tamaño del agregado 1/2"		Tamaño del agregado 3/4"		Tamaño del agregado 1"		Tamaño del agregado 2"	
			Velocidad cm/s	Caudal cm/s	Velocidad cm/s	Caudal cm/s	Velocidad cm/s	Caudal cm/s	Velocidad cm/s	Caudal cm/s
70 x 80	5,600	0.50	0.063	350	0.156	875	0.281	1575	0.375	2100
70 x 80	5,600	1.00	0.125	700	0.313	1750	0.563	3150	0.750	4200
70 x 80	5,600	1.50	0.188	1050	0.469	2625	0.844	4725	1,125	6300
70 x 80	5,600	2.00	0.250	1400	0.625	3500	1,125	6300	1,500	8400
70 x 80	5,600	2.50	0.313	1750	0.781	4375	1,406	7875	1,875	10500
70 x 80	5,600	3.00	0.375	2100	0.938	5250	1,688	9450	2,250	12600
70 x 80	5,600	3.50	0.438	2450	1,094	6125	1,969	11025	2,625	14700
70 x 80	5,600	4.00	0.500	2800	1,250	7000	2,250	12600	3,000	16800
70 x 80	5,600	4.50	0.563	3150	1,406	7875	2,531	14175	3,375	18900
70 x 80	5,600	5.00	0.625	3500	1,563	8750	2,813	15750	3,750	21000
70 x 80	5,600	5.50	0.688	3850	1,719	9625	3,094	17325	4,125	23100
70 x 80	5,600	6.00	0.750	4200	1,875	10500	3,375	18900	4,500	25200
70 x 80	5,600	6.50	0.813	4550	2,031	11375	3,656	20475	4,875	27300
70 x 80	5,600	7.00	0.875	4900	2,188	12250	3,938	22050	5,250	29400

TABLA 36

Calculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 70 x 90 cm, en (GSE 2003)

Seccion cm x cm	Area cm2	Pendiente (%)	Tamaño del agregado 1/2"		Tamaño del agregado 3/4"		Tamaño del agregado 1"		Tamaño del agregado 2"	
			Velocidad cm/s	Caudal cm/s	Velocidad cm/s	Caudal cm/s	Velocidad cm/s	Caudal cm/s	Velocidad cm/s	Caudal cm/s
70 x 90	6,300	0.50	0.063	393.8	0.156	984.4	0.281	1771.9	0.375	2362.5
70 x 90	6,300	1.00	0.125	787.5	0.313	1968.8	0.563	3543.8	0.750	4725.0
70 x 90	6,300	1.50	0.188	1181.3	0.469	2953.1	0.844	5315.6	1,125	7087.5
70 x 90	6,300	2.00	0.250	1575.0	0.625	3937.5	1,125	7087.5	1,500	9450.0
70 x 90	6,300	2.50	0.313	1968.8	0.781	4921.9	1,406	8859.4	1,875	11812.5
70 x 90	6,300	3.00	0.375	2362.5	0.938	5906.3	1,688	10631.3	2,250	14175.0
70 x 90	6,300	3.50	0.438	2756.3	1,094	6890.6	1,969	12403.1	2,625	16537.5
70 x 90	6,300	4.00	0.500	3150.0	1,250	7875.0	2,250	14175.0	3,000	18900.0
70 x 90	6,300	4.50	0.563	3543.8	1,406	8859.4	2,531	15946.9	3,375	21262.5
70 x 90	6,300	5.00	0.625	3937.5	1,563	9843.8	2,813	17718.8	3,750	23625.0
70 x 90	6,300	5.50	0.688	4331.3	1,719	10828.1	3,094	19490.6	4,125	25987.5
70 x 90	6,300	6.00	0.750	4725.0	1,875	11812.5	3,375	21262.5	4,500	28350.0
70 x 90	6,300	6.50	0.813	5118.8	2,031	12796.9	3,656	23034.4	4,875	30712.5
70 x 90	6,300	7.00	0.875	5512.5	2,188	13781.3	3,938	24806.3	5,250	33075.0

TABLA 37

Calculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 70 x 100 cm, en (GSE 2003)

Seccion cm x cm	Area cm2	Pendiente (%)	Tamaño del agregado 1/2"		Tamaño del agregado 3/4"		Tamaño del agregado 1"		Tamaño del agregado 2"	
			Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal
			cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s
70 x 100	7,000	0.50	0.063	437.5	0.156	1093.8	0.281	1968.8	0.375	2625
70 x 100	7,000	1.00	0.125	875	0.313	2187.5	0.563	3937.5	0.750	5250
70 x 100	7,000	1.50	0.188	1312.5	0.469	3281.3	0.844	5096.3	1,125	7875
70 x 100	7,000	2.00	0.250	1750	0.625	4375	1,125	7875.0	1,500	10500
70 x 100	7,000	2.50	0.313	2187.5	0.781	5468.8	1,406	9843.8	1,875	13125
70 x 100	7,000	3.00	0.375	2625	0.938	6562.5	1,688	11812.5	2,250	15750
70 x 100	7,000	3.50	0.438	3062.5	1,094	7656.3	1,969	13781.3	2,625	18375
70 x 100	7,000	4.00	0.500	3500	1,250	8750	2,250	15750.0	3,000	21000
70 x 100	7,000	4.50	0.563	3937.5	1,406	9843.8	2,531	17718.8	3,375	26625
70 x 100	7,000	5.00	0.625	4375	1,563	10937.5	2,813	19687.5	3,750	26250
70 x 100	7,000	5.50	0.688	4812.5	1,719	12031.3	3,094	21656.3	4,125	28875
70 x 100	7,000	6.00	0.750	5250	1,875	13125	3,375	23625.0	4,500	31500
70 x 100	7,000	6.50	0.813	5687.5	2,031	14218.8	3,656	25593.8	4,875	34125
70 x 100	7,000	7.00	0.875	6125	2,188	15312.5	3,938	27562.5	5,250	36750

TABLA 38

Calculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 80 x 80 cm, en (GSE 2003)

Seccion cm x cm	Area cm ²	Pendiente (%)	Tamaño del agregado 1/2"		Tamaño del agregado 3/4"		Tamaño del agregado 1"		Tamaño del agregado 2"	
			Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal
			cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s
80 x 80	6,400	0.50	0.063	400	0.156	1000	0.281	1800	0.375	2400
80 x 80	6,400	1.00	0.125	800	0.313	2000	0.563	3600	0.750	4800
80 x 80	6,400	1.50	0.188	1200	0.469	3000	0.844	5400	1,125	7200
80 x 80	6,400	2.00	0.250	1600	0.625	4000	1,125	7200	1,500	9600
80 x 80	6,400	2.50	0.313	2000	0.781	5000	1,406	9000	1,875	12000
80 x 80	6,400	3.00	0.375	2400	0.938	6000	1,688	10800	2,250	14400
80 x 80	6,400	3.50	0.438	2800	1,094	7000	1,969	12600	2,625	16800
80 x 80	6,400	4.00	0.500	3200	1,250	8000	2,250	14400	3,000	19200
80 x 80	6,400	4.50	0.563	3600	1,406	9000	2,531	16200	3,375	21600
80 x 80	6,400	5.00	0.625	4000	1,563	10000	2,813	18000	3,750	24000
80 x 80	6,400	5.50	0.688	4400	1,719	11000	3,094	19800	4,125	26400
80 x 80	6,400	6.00	0.750	4800	1,875	12000	3,375	21600	4,500	28800
80 x 80	6,400	6.50	0.813	5200	2,031	13000	3,656	23400	4,875	31200
80 x 80	6,400	7.00	0.875	5600	2,188	14000	3,938	25200	5,250	33600

TABLA 39

Calculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 80 x 90 cm, en (GSE 2003)

Seccion cm x cm	Area cm ²	Pendiente (%)	Tamaño del agregado 1/2"		Tamaño del agregado 3/4"		Tamaño del agregado 1"		Tamaño del agregado 2"	
			Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal
			cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s
80 x 90	7,200	0.50	0.063	450	0.156	1125	0.281	2025	0.375	2700
80 x 90	7,200	1.00	0.125	900	0.313	1250	0.563	4050	0.750	5400
80 x 90	7,200	1.50	0.188	1350	0.469	3375	0.844	6075	1,125	8100
80 x 90	7,200	2.00	0.250	1800	0.625	4500	1,125	8100	1,500	10800
80 x 90	7,200	2.50	0.313	2250	0.781	5625	1,406	10125	1,875	13500
80 x 90	7,200	3.00	0.375	2700	0.938	6750	1,688	12150	2,250	16200
80 x 90	7,200	3.50	0.438	3150	1,094	7875	1,969	14175	2,625	18900
80 x 90	7,200	4.00	0.500	3600	1,250	9000	2,250	16200	3,000	21600
80 x 90	7,200	4.50	0.563	4050	1,406	10125	2,531	18225	3,375	24300
80 x 90	7,200	5.00	0.625	4500	1,563	11250	2,813	20250	3,750	27000
80 x 90	7,200	5.50	0.688	4950	1,719	12375	3,094	22275	4,125	29700
80 x 90	7,200	6.00	0.750	5400	1,875	13500	3,375	24300	4,500	32400
80 x 90	7,200	6.50	0.813	5850	2,031	14625	3,656	26325	4,875	35100
80 x 90	7,200	7.00	0.875	6300	2,188	15750	3,938	28350	5,250	37800

TABLA 40

Calculo de caudal y velocidad del agua en un sistema de filtro para una sección de 80 x 100 cm, en (GSE 2003)

Seccion cm x cm	Area cm2	Pendiente (%)	Tamaño del agregado 1/2"		Tamaño del agregado 3/4"		Tamaño del agregado 1"		Tamaño del agregado 2"	
			Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal	Velocidad	Caudal
			cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s
80 x 100	8,000	0.50	0.063	500	0.156	1250	0.281	2250	0.375	3000
80 x 100	8,000	1.00	0.125	1000	0.313	2500	0.563	4500	0.750	6000
80 x 100	8,000	1.50	0.188	1500	0.469	3750	0.844	6750	1,125	9000
80 x 100	8,000	2.00	0.250	2000	0.625	5000	1,125	9000	1,500	12000
80 x 100	8,000	2.50	0.313	2500	0.781	6250	1,406	11250	1,875	15000
80 x 100	8,000	3.00	0.375	3000	0.938	7500	1,688	13500	2,250	18000
80 x 100	8,000	3.50	0.438	3500	1,094	8750	1,969	15750	2,625	21000
80 x 100	8,000	4.00	0.500	4000	1,250	10000	2,250	18000	3,000	24000
80 x 100	8,000	4.50	0.563	4500	1,406	11250	2,531	20250	3,375	27000
80 x 100	8,000	5.00	0.625	5000	1,563	12500	2,813	22500	3,750	30000
80 x 100	8,000	5.50	0.688	5500	1,719	13750	3,094	24750	4,125	33000
80 x 100	8,000	6.00	0.750	6000	1,875	15000	3,375	27000	4,500	36000
80 x 100	8,000	6.50	0.813	6500	2,031	16250	3,656	29250	4,875	39000
80 x 100	8,000	7.00	0.875	7000	2,188	17500	3,938	31500	5,250	42000

TABLA 41

Factores de reducción para geotextiles en aplicaciones de drenaje en (GSE 2003)

AREA	COLMATACION FR SCB	Reduccion de vacios por creep FR CR	Intrusion en los vacios FR IN	Colmatacion Quimica FRcc	Colmatacion Biologica FRbc
Filtros en el espaldon de muros de contencion	2.0 a 4.0	1.5 a 2.0	1.0 a 1.2	1.0 a 1.2	1.0 a 1.3
Sistema de subdrenaje	2.0 a 10.0	1.0 a 1.5	1.0 a 1.2	1.2 a 1.5	2.0 a 4.0
Filtros de control de erosion	2.0 a 10.0	1.0 a 1.5	1.0 a 1.2	1.0 a 1.2	2.0 a 4.0
Filtros en rellenos sanitarios	2.0 a 10.0	1.5 a 2.0	1.0 a 1.2	1.2 a 1.5	2.0 a 5.0
Drenaje por gravedad	2.0 a 4.0	2.0 a 3.0	1.0 a 1.2	1.2 a 1.5	1.2 a 1.5
Drenaje a presion	2.0 a 3.0	2.0 a 3.0	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3	1.1 a 1.3

FR = FACTOR DE COLMATACION
 FRCR = FACTOR DE REDUCCION DE VACIOS
 FRIN = FACTOR DE INTRUSION DE VACIOS
 FRCC = FACTOR DE COLMATACION QUIMICA
 FRBC = FACTOR DE COLMATACION BIOLOGICA

ANEXO 2

OMALI, S.A.

27 CALLE 13-07 ZONA 5
GUATEMALA, GUATEMALA
TELS: + (502) 2361-1204
+ (502) 2360-8419
EMAIL: iraguilar@omali.com

FAX : + (502) 361-1206

SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS CON GEOSINTETICOS

Guatemala, 22 de Junio de 2011
Ref LRA_220611
3 Pag.

ASUNTO: COTIZACION GEODREN Y GEOTEXTIL

Estimada Ing. Carolina Véliz:

De conformidad con su solicitud, ustedes necesitan construir un filtro para drenaje de aguas sub superficiales, para lo cual harán la evaluación entre un filtro tradicional de grava y geotextil y un geodren.

DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS:

El **Geodren MacDrain 2LFP** es un geocompuesto liviano y flexible para drenaje, cuyo núcleo drenante está formado por una geomanta tridimensional con espesor de 10 a 18 mm, la cual es fabricada con filamentos de polipropileno, con índice de vacíos de aproximadamente el 95%. Este núcleo está termosoldado a ambos lados a un geotextil de poliéster. El geotextil sobresale 10 cm del núcleo a lo largo de los bordes longitudinales, para garantizar juntas continuas del sistema de drenaje. El traslape mínimo recomendado para esta aplicación es de 10 cm, en los cuales se debe dejar continuidad del núcleo del geocompuesto.

MacDrain ofrece un eficiente drenaje del exceso de agua acumulada, aliviando presiones de poros y asegurando la integridad de la obra.

OFERTA ECONOMICA:

La presente oferta tomará de base la cantidad de 2 rollos de MacDrain 2LFP son de 2.00 m de ancho por 30.00 m de largo (60.0 m²/rollo), de manera que se estarían suministrando 120. m² en total.

Para la opción de geotextil se tomará de base la cantidad de 200 m². Puesto que el suelo que estará en contacto con la tela es arcilloso, le recomendamos un geotextil no tejido de 200 g/m². Para cubrir la cantidad base

proponemos el suministro de una fracción de rollo de 3.81 m de ancho por 53.00 m de largo 2019.93 m².

GEODREN MACDRAIN

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTI-DAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (Q.)	SUBTOTAL (q.)
MAC DRAIN 2L FP	Geocompuesto de drenaje marca MACDRAIN 2L FP, fabricado por Macaferri, en Brasil. Rollos completos de 2.00 m de ancho por 30.00 m de largo (60.00 m ² /rollo) a razón de Q 66.67/m ² . Precio puesto en nuestra bodega, 27 Calle 13-07 Zona 5	2	Rollos	4,000	8,000.00
TOTAL EN Q.					8,000.00

SKAPS GT 160 DE 200 G/M2

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTI-DAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (Q.)	SUBTOTAL (Q.)
GT160	Geotextil de polipropileno de 200 g/m ² estabilizado contra los rayos UV en Fraccion de rollo de 3.81 m de ancho por 53.00 m de largo. Precio puesto en nuestra bodega, 27 Calle 13-07 Zona 5	201.93	M2	12.50	2,524.13
TOTAL EN Q.					2,524.13

CONSIDERACIONES GENERALES DE LA PRESENTE OFERTA:

Todos nuestros precios incluyen los Derechos y Gastos Arancelarios e Iva correspondiente a la tasa impositiva del 12% vigente a la presente fecha, y son puestos en nuestras bodegas de la zona 5 de esta ciudad de Guatemala.

TIEMPO DE ENTREGA:

Inmediata mientras duren existencias. Nuestro productos están sujetos a venta previa, por lo que les sugerimos enviar su Orden de compra lo mas pronto posible para apartarles el producto.

FORMA DE PAGO:

100 % contado contra entrega.

LUGAR DE ENTREGA:

Nuestra Bodega ubicada en la 27 Calle 13-07, zona 5 Ciudad de Guatemala.

HORARIO DE ENTREGA EN BODEGA:

De lunes a viernes en horario de 7:00 a 12:00 y 14:00 a 17:00 horas,

VALIDEZ DE ESTA OFERTA:

15 días a partir de la presente fecha.

En espera de que la información proporcionada sea de su agrado, nos es grato enviarle un cordial saludo.

Muy atentamente,

OMALI, S.A.



Ing. Luis Rolando Aguilar Aldana
Ingeniero de Proyectos

ANEXO 2.2 HOJA TECNICA DE GEOCOMPUESTO PARA DRENAJE QUE SE UTILIZO EN EL EJEMPLO DEL DISEÑO DE FILTRO EN ESTA TESIS

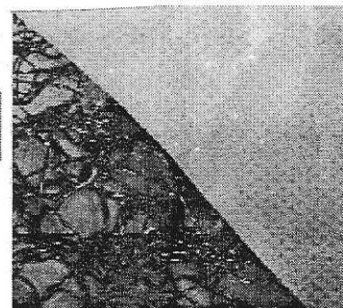
MacDrain® 2L FP

Geocompuesto para drenaje

Características técnicas

MacDrain® 2L FP es un geocompuesto para drenaje liviano y flexible, cuyo núcleo drenante es formado por una geomanta tridimensional, fabricada con filamentos de polipropileno. El núcleo es termosoldado entre dos geotextiles no tejidos en todos los puntos de contacto, siendo un geotextil de poliéster e el otro laminado de polipropileno.

Los geotextiles sobresalen 100 mm del núcleo en las extremidades longitudinales del MacDrain® 2L FP, para garantizar la perfecta continuidad del sistema en las juntas y permitir la ejecución de los traslapes.



Caudal

ASTM D 4716	Drenaje horizontal										Drenaje vertical	
	i = 0.01		i = 0.02		i = 0.03		i = 0.10		i = 0.50		i = 1.00	
Gradiente hidráulico	l/s.m	l/h.m	l/s.m	l/h.m	l/s.m	l/h.m	l/s.m	l/h.m	l/s.m	l/h.m	l/s.m	l/h.m
10 kPa	0,32	1152	0,40	1440	0,46	1692	0,95	3420	1,96	7092	2,76	9972
20 kPa	0,28	1008	0,35	1260	0,40	1476	0,89	3240	1,82	6588	2,53	9144
50 kPa	0,16	576	0,20	720	0,23	864	0,54	1980	1,12	4068	1,53	5508
100 kPa	0,05	180	0,06	252	0,07	252	0,19	720	0,35	1260	0,51	1836
200 kPa	0,03	144	0,04	180	0,05	180	0,12	468	0,25	900	0,38	1368

Propiedades hidráulicas	Geocompuesto		Geotextil	
Abertura de filtración	mm	AFNOR G 38017	---	
Permisividad	s ⁻¹	ASTM D 4491	---	
Permeabilidad	cm/s	ASTM D 4491	---	

Propiedades mecánicas		Geocompuesto	Geotextil en poliéster		Geotextil laminado en polipropileno			
			Dirección longitudinal	Dirección transversal	Dirección longitudinal	Dirección transversal	Dirección longitudinal	Dirección transversal
Resistencia a la tracción	kN/m	ABNT NBR 12824 ASTM D 4595	14,00	8,00	5,26	2,92	5,60	3,06
Deformación a la rotura	%	ABNT NBR 12824 ASTM D 4595	30,00	30,00	37,38	36,26	52,00	50,00
Punzonamiento	N	ABNT NBR 13359 ASTM D 4833	---		602.50		---	

Características físicas	Geocompuesto		Geotextil en poliéster	Geotextil laminado en polipropileno
Espesor	mm	ABNT NBR 12569 ASTM D 5199	11,00	0,70
Gramaje	g/m ²	ABNT NBR 12563 ASTM D 5261	750	100

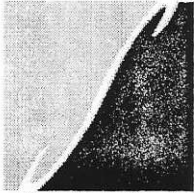
Presentación del rollo	Geocompuesto	
Ancho	m	1
Largo	m	10 ou 30
Area	m ²	10 ou 30
Diámetro promedio	m	0,40 ou 0,70
Peso	kg	7,5 ou 22,5

**ANEXO 2.3 HOJA TECNICA DE GEOTEXTIL QUE SE UTILIZO EN EL DISEÑO DE
FILTRO EN ESTA TESIS**

Marketing, Technical, and Sale Services in Latin America by:



Geosynthetics & Engineering



SKAPS

GT-160 (NW200)

nonwoven geotextile

Style GT-160 is a needle-punched nonwoven geotextile made of 100% polypropylene staple fibers, which are formed into a random network for dimensional stability. **GT-160** resists ultraviolet deterioration, rotting, biological degradation, naturally encountered basics and acids. Polypropylene is stable within a ph range of 2 to 13. **GT-160** conforms to the physical property values listed below:

PROPERTY	TEST METHOD	UNIT	M.A.R.V. (Minimum Average Roll Value)	TYPICAL VALUE**
Nominal Weight	ASTM D 5261	oz/sy (g/sm)		6.0 (203)
Grab Tensile	ASTM D 4632	lbs (kN)	160 (.711)	175 (0.780)
Grab Elongation	ASTM D 4632	%	50	70
Trapezoid Tear Strength	ASTM D 4533	lbs (kN)	65 (.289)	80 (0.356)
Puncture Resistance	ASTM D 4833	lbs (kN)	90 (.400)	100 (0.450)
Mullen Burst Strength	ASTM D 3786	psi (kPa)	315 (2170)	340 (2347)
Permittivity*	ASTM D 4491	I/sec	1.6	1.8
Permeability*	ASTM D 4491	cm/sec	0.3	0.4
Water Flow*	ASTM D 4491	gpm/ft ² (l/min/m ²)	110 (4480)	135 (5500)
AOS*	ASTM D 4751	US Sieve (mm)	70 (.212)	70-80 (0.212 - 0.180)
UV Resistance	ASTM D 4355	%/hrs	70/500	80/500

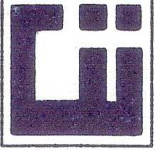
* At the time of manufacturing. Handling, storage and shipping may change these properties. ** Typical property values are for comparison purpose only.

This information is provided for reference purposes only and is not intended as a warranty or guarantee. Skaps Industries assumes no liability in connection with the use of this information.

PACKAGING	
Roll Dimensions (W x L) – Feet	12.5 x 360 / 15 x 300
Square Yards Per Roll	500
Estimated Roll Weight - Lbs	195

Date Issued: 06/01/2007

ANEXO 3



INFORME No. 318 S.S.

O.T. No. 28,749

Interesado: Carolina Dianeth Véliz Arévalo

Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y con lavado previo.

Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11

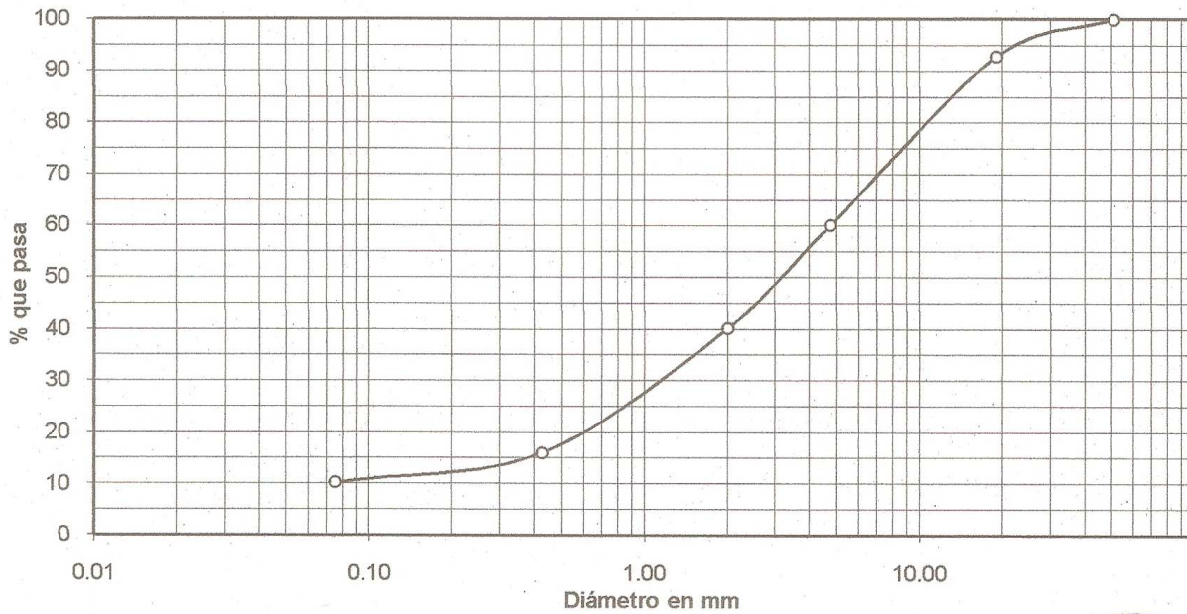
Proyecto: Diseño y Comparación de Filtros de Grava y Filtros de Geotextil para Suelos

Ubicación: Santa Cruz Naranja, Santa Rosa

Fecha: 12 de agosto del 2011

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.80	100.00
3/4"	19	92.73
4	4.75	60.16
10	2	40.27
40	0.425	16.07
200	0.075	10.35

% de Grava: 39.84
% de Arena: 49.82
% de finos: 10.35



Descripción del suelo: Grava y/o arena arcillosa
Clasificación: S.C.U.: SW P.R.A.: A-2-4
Observaciones: Muestra tomada por el interesado.



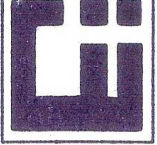
Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC



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



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



Nº 19492

INFORME No. 320 S.S.

O.T.: 28,749

Interesado: Carolina Dianeth Véliz Arévalo

Proyecto: Diseño y Comparación de Filtros de Grava y Filtros de Geotextil para Suelos

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa

FECHA: 12 de agosto del 2011

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	CLASIFICACION *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	37.6	12.6	SW-SC	Grava y/o arena arcillosa

(*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

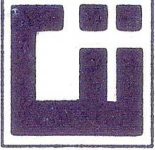
Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC



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





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



Nº 19489

INFORME No. 317 S.S.

O.T. No. 28,749

Interesado: Carolina Dianeth Véliz Arévalo

Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y con lavado previo.

Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11

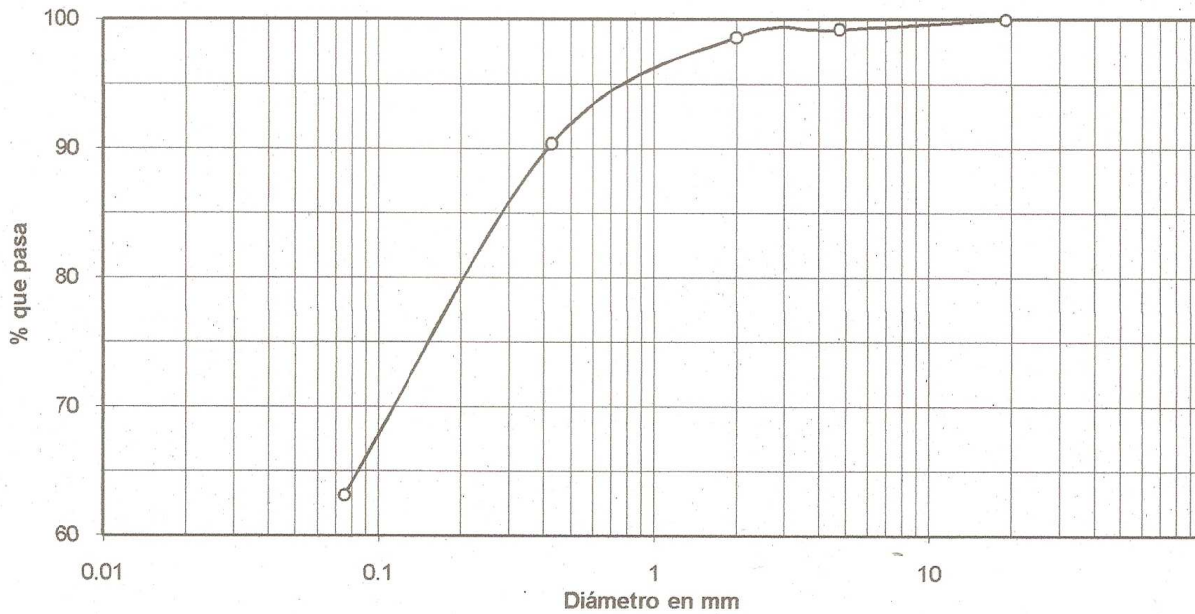
Proyecto: Diseño y Comparación de Filtros de Grava y Filtros de Geotextil para Suelos

Ubicación: Santa Cruz Naranja, Santa Rosa

Fecha: 12 de agosto del 2011

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.80	100.00
3/4"	19	100.00
4	4.75	99.20
10	2	98.65
40	0.425	90.35
200	0.075	63.17

% de Grava: 0.80
% de Arena: 36.03
% de finos: 63.17



Descripción del suelo: Limo arenoso color café oscuro

Clasificación: S.C.U.: ML P.R.A.: A-4

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

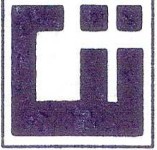
Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos





INFORME No. 319 S.S.

O.T.: 28,749

Interesado: Carolina Dianeth Véliz Arévalo

Proyecto: Diseño y Comparación de Filtros de Grava y Filtros de Geotextil para Suelos

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa

FECHA: 12 de agosto del 2011

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	CLASIFICACION *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	31.2	7.0	ML	Limo arenoso color café oscuro

(*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

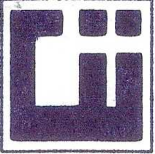
Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CIVUSAC



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





Informe No: 316 S. S.

O.T. No.: 28,749

INTERESADO: Carolina Dianeth Véliz Arévalo
PROYECTO: Diseño y Comparación de Filtros de Grava y Filtros de Geotextil para Suelos
UBICACIÓN: Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa
ASUNTO: ENSAYO DE PERMEABILIDAD
NORMA: AASHTO T125-66
FECHA: 12 de agosto del 2011

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Limo arenoso color café oscuro

RESULTADO DEL ENSAYO: Muestra: 1

Coefficiente de Permeabilidad = 3.6×10^{-5}

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Grava y/o arena arcillosa

RESULTADO DEL ENSAYO: Muestra: 2

Coefficiente de Permeabilidad = 2.2×10^{-3}

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,



Omar E. Medrano Mendez
Ing. Omar Enrique Medrano Mendez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.

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

