



UNIVERSIDAD DE CUENCA

RESUMEN

El subdrenaje vial es un sistema de vital importancia para garantizar la durabilidad de las estructuras de pavimento, permite interceptar el agua subterránea evitando que la misma provoque daños irreversibles en las carreteras. El presente estudio analiza los tipos de subdrenaje vial existentes; y los elementos característicos que compone un subdrén.

El agua subterránea que capta un subdrén proviene del agua de infiltración, del nivel freático, e incluso de la escorrentía superficial, dando lugar en épocas de lluvia a un caudal considerable.

Un buen manejo del agua en las estructuras viales conlleva a una reducción notable de los costos por mantenimiento de la misma, recalcando la importancia que el subdrenaje tiene independientemente de los costos necesarios de diseño y construcción del mismo.

Para optimizar el funcionamiento del sistema de subdrenaje vial, es recomendable la colocación de obras de drenaje superficial como cunetas de coronación, drenes en espina de pescado, reduciendo con ello el caudal de aporte al subdrenaje.

La vía a tratarse es LA TRANCA – EL TAMBO VIEJO de 3.6 km, en la cual se diseñó un subdrén longitudinal que se dispone debajo de la cuneta, dividiéndose en tramos de tubería de 110 y 160 mm según lo requiera, proyectándose además el geotextil necesario para la obra; y, el material filtro conveniente que cumpla con las especificaciones requeridas para el mismo.

Es evidente que un buen diseño del subdrenaje en la vía en estudio traerá consigo el progreso de la comunidad y con ello el desarrollo de toda una región.

Palabras clave: Subdrenaje Vial, agua subterránea, caudal de infiltración, nivel freático, escorrentía superficial, subdrenaje horizontal, subdrenaje longitudinal, geotextil, material filtro.

Autores: María Alvarado
Jamil naranjo



CONTENIDO

RESUMEN	1
INDICE DE FIGURAS.	4
INDICE DE TABLAS.	6
INDICE DE ANEXOS.	6
1. GENERALIDADES.....	15
1.1 Introducción	15
1.2 Objetivos	15
1.3 Generalidades y alcance.....	16
1.4 El agua en el subsuelo	17
1.5 Agua subterránea en diversas formas.....	18
1.6 Métodos de subdrenaje en Vías Terrestres	20
1.6.1 Capas permeables en pavimentos	20
1.6.2 Subdrenes interceptores transversales.....	22
1.6.3 Drenes de penetración transversal	22
1.6.4 Pozos de alivio	24
1.6.5 Capas permeables profundas con remoción del material	24
1.6.6 Trincheras estabilizadoras.....	25
1.6.7 Galerías filtrantes	27
1.7 Problema de Subdrenaje:.....	28
2. ELEMENTOS DE DRENAJE SUBTERRANEO	30
2.1. Zanjas Drenantes.....	30
2.1.1 Ubicación.....	31
2.1.2. Prescripciones específicas sobre la zanja drenante	32
2.1.3 Desagüe de la zanja drenante	33
2.2. Pantallas Drenantes.	34
2.3. Filtros y Materiales drenantes.	35
2.4. Tubería Drenante.	35
2.5. Colectores.....	36
2.6. Pozos de Registro.	36
a. Mantos Drenantes.....	37



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.8. Drenes en Espina de Pez.	38
2.9. Tacones Drenantes.....	39
2.10. Drenes de Intercepción.	40
2.10.1. En cimiento de relleno.	41
2.10.2. Drenes Longitudinales de Interceptación.	41
2.11. Contrafuertes Drenantes.	41
2.12. Drenes Californianos.	42
2.12.1. Ubicación.....	42
2.12.2. Perforación.....	42
2.12.3. Tubos.....	42
2.12.4. Aguas Captadas.....	43
2.13. Subdrenes 100% sintéticos.	43
2.14. Pozos.	44
2.15. Galerías Drenantes.....	45
2.16. Trabajos Geotécnicos Específicos.	46
2.17. Otros Elementos o Sistemas de Drenaje Subterráneo.....	47
3. SUBDRENAJE LONGITUDINAL.....	49
3.1. Consideraciones Especiales.....	49
3.2. Elementos Filtrantes.	51
3.2.1. Empleo de Agregados Naturales.....	52
3.2.2. Empleo de Geotextiles.	53
3.2.2.1. Función de los Geotextiles.	54
3.2.3. Principales conceptos y conclusiones relativas al diseño de Filtros.	58
4. SUBDRENAJE HORIZONTAL.....	60
4.1 Consideraciones Especiales.....	60
4.2 Observaciones Generales.....	62
4.3 Incertidumbres en el Diseño de Subdrenes Horizontales.....	62
4.4 Diseño de Subdrenes de penetración.....	63
5. DISEÑO DE SUBDRENAJE.....	64
5.1. Geotextiles.	64
5.1.1. Tipos de geotextiles.....	64
5.1.1.1. Geotextiles Tejidos.....	64



UNIVERSIDAD DE CUENCA

5.1.1.2. Geotextiles no tejidos.	65
5.2. Diseño de un sistema de subdrenaje.	66
5.2.1. Estimación del Caudal de Diseño.	67
5.2.1.1. Caudal por Infiltración.....	67
5.2.1.2. Caudal por abatimiento del nivel freático.....	68
5.2.1.3. Caudal por escorrentía Superficial.	69
5.2.2. Dimensionamiento de la sección transversal.....	69
5.2.3. Determinación del tipo de geotextiles a usar en el filtro.....	71
5.2.4. Tasa de Flujo.....	75
5.2.5. Diseño del número de geo-redes necesarias.	76
5.2.6. Establecer el sistema de evacuación de los líquidos que capta el geodren.....	78
5.2.7. Diseño de filtros.	79
5.2.8. Diseño de subdrenes de zanja.....	82
5.2.9. Empleo de Geomembranas.....	82
6. APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE SUBDRENAJE A LA VIA LA TRANCA – EL TAMBO VIEJO	84
6.1 Granulometría	84
6.2 Precipitación de diseño	85
6.3 Diseño del Subdrenaje Vial.....	85
6.4 Cantidades de Obra	91
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
8. BIBLIOGRAFIA	96

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Formas de agua subterránea.....	19
Figura 2: Ríos y efluentes. Diferencias en el N.A.F regional	20
Figura 3: Capas permeables	21
Figura 4: Flujo hacia el talud y la cama de un corte	22
Figura 5: Esquema de la influencia de los drenes transversales de penetración en un corte de balcón	24
Figura 6: Remoción de material blando y colocación de una capa permeable	25
Figura 7: Tipos de trincheras estabilizadoras	26



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Figura 8: Galería filtrante	28
Figura 9: Instalaciones típicas para drenar manantiales.....	29
Figura 10: Detalles típicos de una zanja drenante	31
Figura 11: Zanja drenante	32
Figura 12: Desagüe directo de una zanja drenante	34
Figura 13: Combinación de pozos verticales y subdrenes horizontales.....	36
Figura 14: Detalle de la Zona de Inserción	37
Figura 15: Combinación de un manto drenante con drenes en espina de pez	39
Figura 16: Tacón drenante y ejemplo de relleno con zona especial de drenante	40
Figura 17: Dren típico de Intercepción.....	40
Figura 18: Ejemplo de dren longitudinal de interceptación.....	41
Figura 19: Diagrama de un subdren 100% sintético	44
Figura 20: Pozos verticales conectados con ductos horizontales de PVC para desagüe	45
Figura 21: Evolución de la línea de nivel freático al construir una galería de drenaje	46
Figura 22: Flujo hacia el talud y la cama de un corte	49
Figura 23: Casos de uso de drenes longitudinales de zanja para abatir el nivel freático	50
Figura 24: Grafica que relaciona la profundidad del subdren y la carga hidrostática que se puede generar entre dos subdrenes	51
Figura 25: Aplicación de una grava o geotextil como filtro.....	53
Figura 26: Geotextil como respaldo de un contrafuerte de un talud	54
Figura 27: Función de separación con geotextil, evita perdida de agregados.....	55
Figura 28: Función de refuerzo a la tracción del geotextil	56
Figura 29: Drenaje del flujo a través del mismo tejido	57
Figura 30: Función de filtración del fluido	58
Figura 31: Esquema general de colocación de un subdren horizontal	60
Figura 32: Subdrén horizontal diseñado para captación solamente en la punta interior	61
Figura 33: Vista macroscópica de algunos tipos de geotextiles tejidos.....	65
Figura 34: Vista macroscópica de geotextiles no tejidos	66
Figura 35: Sección transversal del sistema de subdrenaje en una vía	69
Figura 36: Pendiente vs. Velocidad, según el tamaño del agregado	71
Figura 37: Diagrama de un geodren con tubo	77
Figura 38: Nomograma para el cálculo del diámetro de tubería	79
Figura 39: Disposición de las perforaciones en tuberías para subdrenaje	81
Figura 40: Sección transversal de 0.6 x 1.2 con Φ 110mm.	90
Figura 41: Sección transversal de 0.6 x 1.6 con Φ 110mm.	90
Figura 42: Sección transversal de 0.6 x 1.6 con Φ 160mm.	91



INDICE DE TABLAS.

Tabla 1: Valores recomendados para F_i	68
Tabla 2: Valores recomendados para F_R	68
Tabla 3: Rango de algunas propiedades representativas de geotextiles utilizadas para filtro.....	74
Tabla 4: Propiedades mecánicas del geotextil según especificaciones AASHTO M-288-05	74
Tabla 5: Factores de seguridad de geotextiles de drenaje.....	76
Tabla 6: Especificaciones generales de construcción.....	81
Tabla 7: Resultados obtenidos a partir de la Muestra A.....	84
Tabla 8: Resultados obtenidos a partir de la Muestra B	84
Tabla 9: Tabla de Obtención de la Precipitación de diseño	85
Tabla 10: Tabla de Resumen para la colocación del subdren	86
Tabla 11: Tabla de Resumen para el Tramo 1	86
Tabla 12: Tabla de Resumen para el Tramo 2	88
Tabla 13: Tabla de Resumen para el Tramo 3	89
Tabla 14: Tabla de Cantidades de Obra	91

INDICE DE ANEXOS.

ANEXO 1: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MUESTRA A Y MUESTRA B.....	97
ANEXO 2: PRECIPITACIÓN DE DISEÑO.....	101
ANEXO 3: ANÁLISIS TRAMO A TRAMO DE LA ESTRUCTURA DE SUBDRENAJE.....	103
ANEXO 4: PRECIOS UNITARIOS.....	111
ANEXO 5: RESUMEN FOTOGRAFICO DE LA VIA LA TRANCA – EL TAMBO VIEJO.....	112
ANEXO 6: PLANO CON EL DISEÑO DEL SUBDRENAJE VIAL PARA LA VIA LA TRANCA – EL TAMBO VIEJO.....	123
ANEXO 7: DISEÑO DEL SISTEMA DE SUBDRENAJE, HOJA ELECTRONICA.	127



UNIVERSIDAD DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, **María Gabriela Alvarado Calle**, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

María Gabriela Alvarado Calle

0104207923

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, **María Gabriela Alvarado Calle**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

María Gabriela Alvarado Calle

0104207923

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, **Jamil Fernando Naranjo Cuesta**, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de **Ingeniero Civil**. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Jamil Fernando Naranjo Cuesta

0302308788

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, **Jamil Fernando Naranjo Cuesta**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Jamil Fernando Naranjo Cuesta

0302308788

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador

Autores: María Alvarado
Jamil naranjo

Página | 10



UNIVERSIDAD DE CUENCA

UNIVERSIDAD DE CUENCA



Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

“DISEÑO DEL SUBDRENAJE VIAL EN LA VÍA LA TRANCA – TAMBO VIEJO DE 3.6 KM”

*Monografía previa a la
obtención del Título
de Ingeniero Civil*

AUTORES:

María Gabriela Alvarado Calle

Jamil Fernando Naranjo Cuesta

TUTOR:

Ing. Cristian Coello

Cuenca – Ecuador

2012



DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen, por darme la sabiduría necesaria y guiarme con paso firme este largo recorrido.

A mi madre Mariana, ejemplo de madre y mujer luchadora, por todo tu amor incondicional y por cuidar de mi en todas las circunstancias de mi vida.

A mi padre Sergio, gracias por cuidarme y bendecirme, estés donde estés. Has sido mi fuerza desde tu ausencia.

A mi hermano Xavier, a quien debo mi gratitud eterna, gracias por confiar en mí.

A mis hermanos Pablo y Eduardo, por el apoyo incondicional recibido de ellos.

A mis sobrinos, por ser la luz de mis días.

Y a todos mis familiares y amigos que han sido parte fundamental para cumplir esta meta.

Ma. Gabriela Alvarado C.



DEDICATORIA

Mi gratitud especial a Dios quien con su infinito amor me ha guiado por el camino de la felicidad y me ha dado la sabiduría suficiente para culminar mi carrera.

A mi Madre Azucena, quien siendo un ángel guió mi camino, llenándome de bendiciones en todo momento.

A mi padre Silvio, pilar fundamental en mi vida, quién con su apoyo, esfuerzo, amor, tenacidad y lucha pude concluir mi carrera.

A mis hermanos Mercy, Geovanny, Magaly, Guido y Sonia, por su cariño, comprensión, paciencia y apoyo incondicional brindado para culminar mi profesión.

A todos mi gratitud y reconocimiento.

Jamil Naranjo Cuesta



UNIVERSIDAD DE CUENCA

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Cuenca, en especial a la Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniera Civil por permitirnos ser parte de una generación de triunfadores.

A nuestros profesores quienes han impartido sus conocimientos durante esta trayectoria, afianzando nuestra formación; en especial al Ing. Cristian Coello, Tutor de Tesis quién con su orientación y profesionalismo ético orientó a culminar este trabajo.

A nuestros padres, hermanos, familiares y amigos quienes contribuyeron incondicionalmente a lograr nuestras metas y objetivos.

Ma. Gabriela Alvarado C.

Jamil F. Naranjo C.



1. GENERALIDADES

1.1 Introducción

Los problemas que se presentan en las vías terrestres debido al agua subterránea se deben a una saturación incontrolada y al desarrollo de presiones de poro imprevistas. Aquí juega un papel fundamental la acción capilar del agua. Es por eso, que hoy en día la alternativa mejor utilizada para el control de la estabilidad de los caminos es la instalación de subdrenes, la cual tiende a mantener el agua subterránea alejada de la obra básica y/o de la subrasante. Aquellas personas encargadas de la estabilidad de las masas de tierras en carreteras saben que ésta depende de la correlación existente entre la época de lluvias y la intensidad de las mismas con las fallas, que es tan claro persuadir que la obra necesita de la instalación de subdrenes.

El subdrenaje es conveniente y beneficioso, pero muchas de las veces tiene un costo bastante elevado, sin embargo debería prescindirse del mismo debido al beneficio que al largo o corto plazo proporciona el subdrenaje. Al considerar la relación beneficio – costo se concluye que el subdrenaje es un arma valiosa cuya justificación económica es indiscutible. En este sentido, la importancia que tenga la vía de acuerdo al movimiento económico y cultural se deberá condicionar la medida de la frecuencia e intensidad de aplicación de subdrenaje; además de esto se requiere de una buena información sobre la disposición y naturaleza de los materiales naturales en dónde se pretende construir el subdren.

Un adecuado sistema de subdrenaje debe siempre estar en tal disposición como para sufrir todos los cambios y adaptaciones necesarias durante la construcción de la vía y en su vida útil. El ingeniero debe estar consciente de que un buen diseño hará que la vida útil y la funcionalidad de la carretera den los mejores resultados. Es por ello que esta investigación está enfocada en elegir el mejor sistema de subdrenaje para la vía La Tranca-Tambo Viejo de 3.6 km localizada en la provincia del Cañar y a su vez emitir recomendaciones y observaciones para el diseño del mismo.

1.2 Objetivos

Objetivo General

El objetivo principal de esta monografía es analizar y establecer la necesidad y/o mejor alternativa de subdrenaje de la zona objeto de estudio, y por ende indicar las zonas donde sea necesario implantar subdrenes a lo largo de los 3.6 Km del tramo vial con lo cual se presentara una alternativa para el mejoramiento de las condiciones actuales de la vía de estudio.



Objetivos Específicos

- Establecer y analizar los problemas relativos al drenaje vial de la zona.
- Analizar los diferentes tipos de elementos de un drenaje subterráneo.
- Establecer el tipo de subdrenaje a utilizar en el tramo de estudio.
- Evaluar criterios y consideraciones para la colocación de materiales filtro, tipos y condiciones.
- Análisis de geo-textiles como elementos filtrantes.
- Afianzar y aplicar cada uno de los conocimientos adquiridos en el desarrollo del módulo correspondiente al Drenaje Vial.

1.3 Generalidades y alcance

Paralelamente al estudio de los suelos de una subrasante se debe realizar la investigación de la presencia del agua y por lo tanto el diseño de los subdrenes. Generalmente los mecanismos de actuación del agua en el suelo son los siguientes:

1. Si los vacíos del suelo están parcialmente llenos de aire y el contenido de agua del suelo aumenta substancialmente, se elimina parte de la tensión superficial en el interior de la masa, la cual proporcionaba al conjunto una cohesión aparente que contribuía a la estabilidad.
2. El aumento del contenido de agua del suelo se refleja en un aumento de su peso, lo cual puede tener repercusiones en la estabilidad general de la masa.
3. Un flujo de agua puede afectar la estabilidad de una masa de suelo al disolver cementantes naturales que pudieran existir; este es el caso típico de los loess, en los que frecuentemente los granos se encuentran cementados por carbonatos de calcio solubles.

En añadidura a los tres efectos anteriores, el agua que penetra en una masa de suelo y fluye a su través tiene un cuarto efecto que suele ser, con mucho, el que más influye en su estabilidad. Este es la elevación del nivel piezométrico que tiene lugar como consecuencia del flujo, la que, a su vez, trae consigo un aumento en las presiones neutrales del agua en el suelo, con la correspondiente disminución de la resistencia al esfuerzo cortante del mismo (Rico Alfonso, 2005).



Si h es la elevación piezométrica en un determinado punto de la masa, la presión de poro del agua en ese punto valdrá:

$$u = h \gamma_w$$

Y la resistencia al esfuerzo cortante del suelo en ese punto será:

$$s = c + (\sigma - h \gamma_w) \tan \phi = c + (\sigma - u) \tan \phi$$

La expresión anterior indica claramente la disminución en resistencia que se tiene con cualquier aumento de h .

Una vez obtenidos los conocimientos suficientes de la acción del agua subterránea, se procederá a realizar el diseño del subdrenaje a utilizar en la Vía en estudio.

1.4 El agua en el subsuelo

La cantidad de agua que penetra a la tierra queda determinada por varios factores:

1. Cantidad y tipo de precipitación.
2. Ritmo de precipitación. Cuando más rápidamente cae la lluvia, menos agua penetra, pues se satura la superficie del terreno.
3. Declive superficial. La infiltración es mayor en terrenos más planos, a los que corresponden velocidades de escurrimiento superficial menores.
4. La porosidad de los suelos y las rocas.
5. La permeabilidad de los suelos y las rocas. Una formación muy porosa no es necesariamente muy permeable. La arcilla, por ejemplo, es muy porosa y muy poco permeable.
6. La estructuración de suelos y rocas, especialmente en lo que se refiere a fracturación, estratigrafía y a la secuencia de los estratos permeables y los impermeables.
7. Cantidad y tipo de vegetación.
8. Humedad atmosférica. Si la humedad es baja, gran parte del agua caída se evapora antes de penetrar en el terreno (Rico Alfonso, 2005).

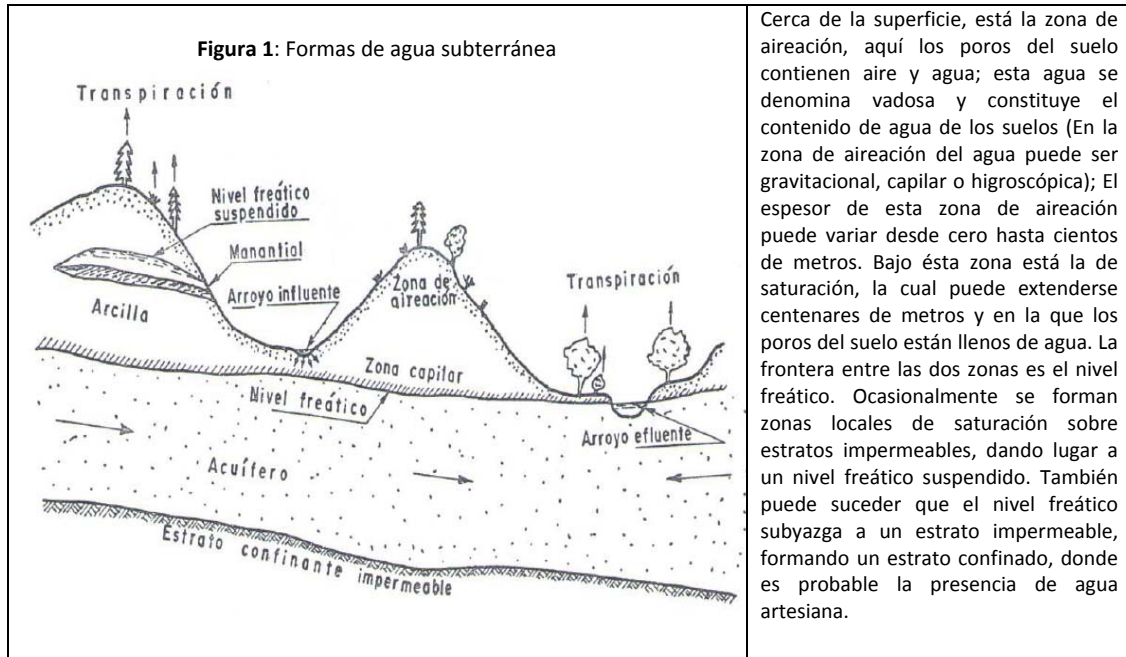


1.5 Agua subterránea en diversas formas

El agua subterránea puede almacenarse de varias maneras. La mayor parte se encuentra en los vacíos entre las partículas de suelo o en las cavidades, fracturas y fallas de las rocas; una parte menor puede formar ríos o lagos subterráneos. La geología del sector juega un papel fundamental en el régimen de las aguas subterráneas, considerándose para ello las unidades de suelos y rocas presentes:

- La presencia de sedimentos no consolidados, tales como grava, arena o mezclas de estos materiales, estas unidades son susceptibles de almacenar mucha agua.
- Formaciones acuíferas, comunes en aluviones de río, a lo largo de corrientes actuales, valles fluviales abandonados o enterrados, en lugares planos, en depósitos glaciales, en delantales marinos y en grandes formaciones de depósitos de talud. *Las calizas, por ejemplo, son muy variables como formaciones acuíferas, pues su porosidad depende mucho de su disolución interna, pero cuando esta es importante, pueden dar lugar a abundantes manantiales, ríos subterráneos, etc.*
- Las rocas ígneas cristalinas y las rocas metamórficas suelen ser las menos abundantes en agua y la que se encuentre procederá de sus fracturas.
- Las arcillas y los suelos arcillosos son capaces de almacenar enormes cantidades de agua

La Figura 1 indica las diversas formas en que el agua puede estar en el subsuelo (Rico Alfonso, 2005).

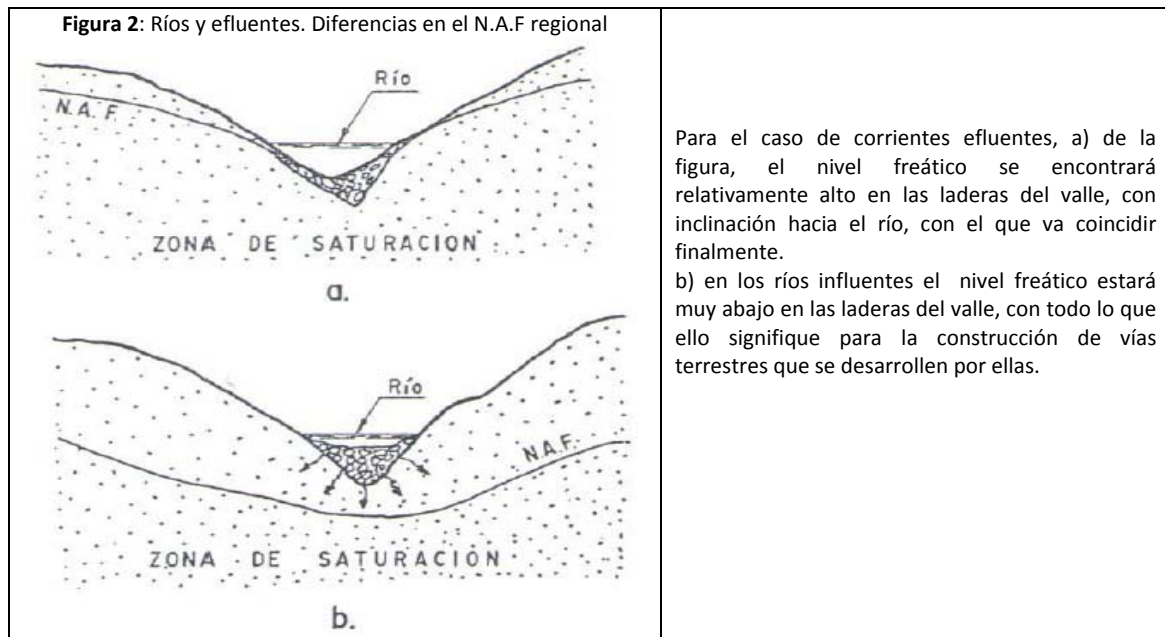


FUENTE: (Rico Alfonso, 2005).

La configuración del nivel freático depende mucho de la forma del relieve superficial, se aleja de la superficie del terreno bajo colinas y elevaciones y se acerca a ella en los valles y, muy especialmente, en los ríos y en los lagos.

Es usual que los periodos de sequía traigan abatimientos importantes del nivel freático, en tanto que se eleva mucho tras periodos de fuertes lluvias. Estas fluctuaciones suelen ser aún más marcadas en terrenos granulares permeables. Hay ocasiones en que el nivel freático se abate tanto que ciertos ríos y lagos pierden agua por infiltración hacia abajo (influentes). La condición normal es, naturalmente, que el nivel freático proporcione agua a estos depósitos naturales y que dicho nivel coincida con su superficie libre (ríos y lagos efluentes). [JUA69].

La Figura 2 muestra las diferencias regionales que es posible encontrar en los valles fluviales, según que los ríos sean influentes o efluentes, en el sentido arriba definido (Rico Alfonso, 2005).



FUENTE: (Rico Alfonso, 2005).

1.6 Métodos de subdrenaje en Vías Terrestres

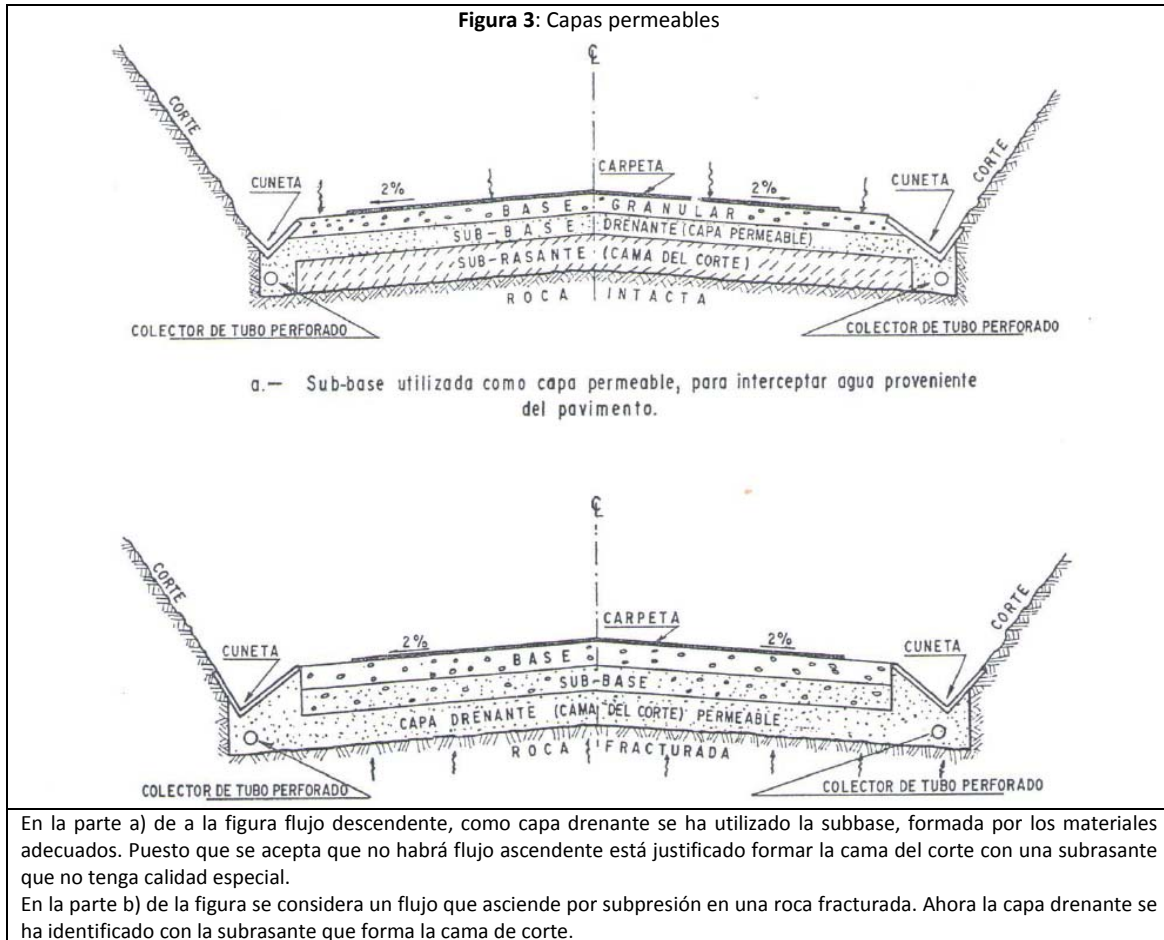
A continuación se indican los principales métodos utilizados en el subdrenaje para carreteras.

1.6.1 Capas permeables en pavimentos

En las camas de los cortes de las carreteras y de las vías férreas aparecen grandes cantidades de agua; en estos casos puede ser útil la colocación de capas permeables bajo el pavimento para su protección. Estas son capas de espesor razonable que se colocan debajo de la corona del camino o de la superficie pavimentada y están constituidas por material de filtro, de manera que con ayuda de una pendiente transversal adecuada y de unas correctas instalaciones de salida puedan drenar el agua *que se infiltre desde el pavimento, que provenga de los acotamientos de la vía o que ascienda por subpresión, procedente de niveles inferiores* (Rico Alfonso, 2005).

Estas capas permeables pueden servir de transición entre los materiales finos de terracería y alguna capa de material triturado grueso que haya de colocarse encima, para impedir la incrustación de los fragmentos gruesos en la matriz fina. La Figura 3 muestra en forma esquemática la utilización de capas permeables para control de infiltración proveniente de la parte superior del pavimento y de ascensión de agua proveniente de capas inferiores, en las que se supone existe una subpresión.

Figura 3: Capas permeables



En la parte a) de la figura flujo descendente, como capa drenante se ha utilizado la subbase, formada por los materiales adecuados. Puesto que se acepta que no habrá flujo ascendente está justificado formar la cama del corte con una subrasante que no tenga calidad especial.

En la parte b) de la figura se considera un flujo que asciende por subpresión en una roca fracturada. Ahora la capa drenante se ha identificado con la subrasante que forma la cama de corte.

FUENTE: (Rico Alfonso, 2005).

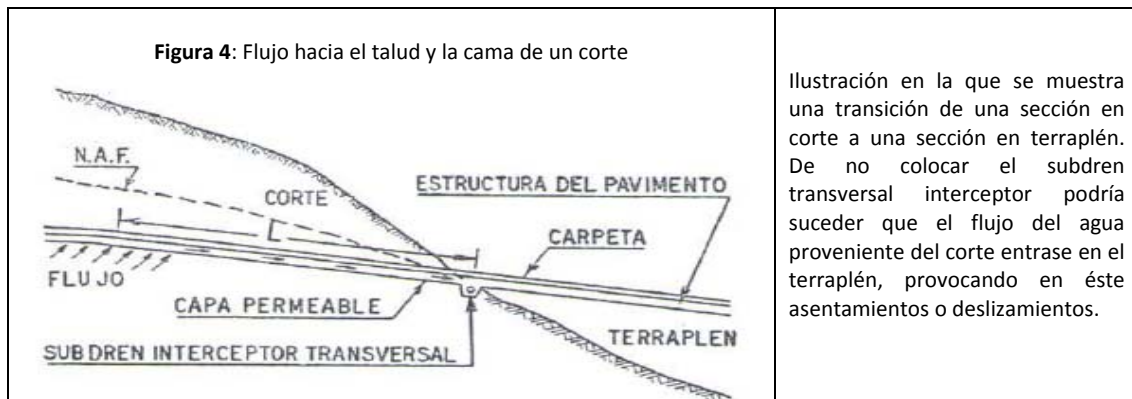
A veces una capa permeable de material grueso se coloca en la parte inferior de un pavimento o aun en el cuerpo o la parte inferior del terraplén, con la finalidad de interrumpir un proceso de ascensión capilar que, de otra manera, terminaría por perjudicar la capa subrasante, la subbase y aún quizá, la base de dicho pavimento. Éstas son las capas rompedoras de capilaridad, cuya función es impedir el acceso del agua, pero no drenarla; no son propiamente capas drenantes. El material idóneo para estas capas rompedoras debe ser bien graduado. Las capas permeables son aquellas destinadas a captar flujo de agua que desciende de la superficie de pavimento y acotamientos, que proviene de los lados de los cortes o que ascienda por supresión.

Aunque se procura que los pavimentos sean relativamente herméticos, de manera que la mayor parte del agua de precipitación sea eliminada por escurrimiento superficial, gracias al bombeo transversal, el hecho es que ningún pavimento es totalmente impermeable, de manera que una parte del agua llovida se infiltra. *Un aspecto importante en el diseño de capas permeables es su costo, que suele ser*

alto. A este respecto es deseable cualquier reducción en el espesor de la capa que pueda lograrse sin disminuir en exceso la capacidad drenante. Sin embargo, capas demasiado delgadas se complican constructivamente hasta el grado de perder su ventaja económica. Quizá no deben emplearse capas de espesor inferior a 15cm y 20 y 30 cm son las dimensiones más comunes; espesores mayores probablemente repercuten ya mucho en el costo, sobre todo en carreteras, pues en aeropistas suelen tener márgenes más amplios a este respecto.

1.6.2 Subdrenes interceptores transversales

Son dispositivos de drenaje análogos en principio a los subdrenes de zanja y lo único que los distingue es la dirección en que se desarrollan, *que ahora es normal al eje de la vía terrestre*. El caso típico de la instalación de estos subdrenes en carreteras Figura 4.



FUENTE: (Rico Alfonso, 2005).

El efecto del dren interceptor puede incrementarse mucho en casos como el de la Figura 4 si en una cierta longitud se coloca una capa permeable drenante a ambos lados del mismo. Los drenes interceptores transversales deben de ser capaces de eliminar muy rápidamente las aguas que les lleguen por lo que en ellos son particularmente críticos los requerimientos de permeabilidad (Rico Alfonso, 2005).

1.6.3 Drenes de penetración transversal

Como bien se sabe, los mecanismos por los que el agua que satura las masas que quedan a los lados de un corte que se realicen durante la construcción de una vía terrestre, pueden influir desfavorablemente en la estabilidad de sus taludes; y los mismos ponen en riesgo el equilibrio de una ladera natural a través de la que se establezca un flujo.

No debe imaginarse, por cierto, que la presencia de agua en los taludes de cortes sea un fenómeno raro o dependiente del azar; por el contrario, es algo que debe



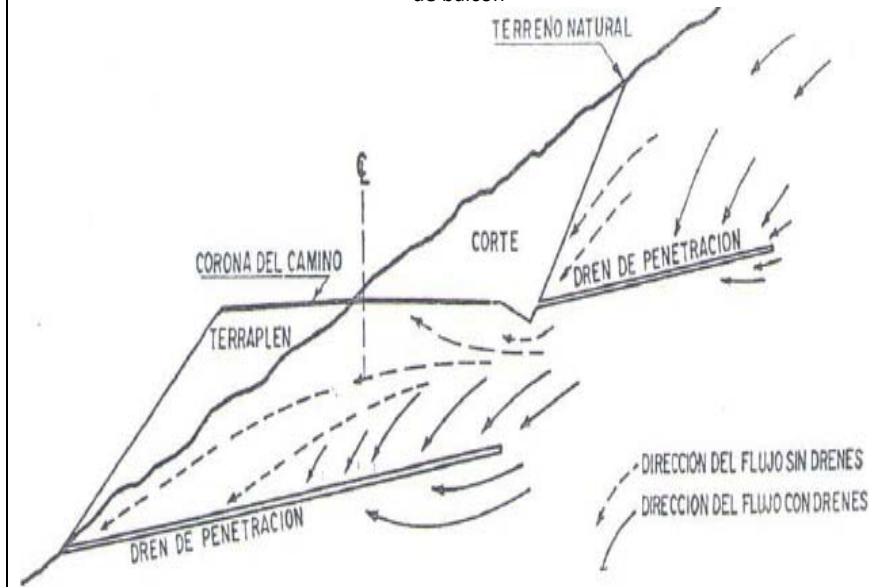
esperarse sistemáticamente en todos los terrenos en que el nivel freático no sea bastante más profundo que la rasante de la vía o en que la precipitación no sea anormalmente escasa. La razón es que al practicar un corte se abate el nivel del agua interior hasta su cama, produciendo una zona profunda a la presión atmosférica, hacia la que deberá fluir el agua de las masas vecinas. En general, un corte actúa como un dren en el terreno en que se construye.

Un corte puede ser estable bajo una determinada condición de agua subterránea y bajo ciertas cargas hidráulicas, pero si una cantidad adicional de agua fluye hacia él se podrá alcanzar una condición tal en el agua en cuanto a las cargas hidráulicas, que se desarrollen en el interior del suelo presiones neutrales que produzcan la falla. Por esta razón, un corte construido desde hace muchos años puede fallar repentinamente tras un periodo de precipitación extraordinaria.

Los drenes de penetración transversal denominados por la práctica americana drenes horizontales son instalaciones de subdrenaje que responden específicamente a la necesidad de abatir del interior de los taludes del corte las presiones generadas por el agua, que sean susceptibles de provocar la falla del corte. Comenzaron a utilizarse en el Departamento de Carreteras de California (EEUU) a partir de los últimos años de la década de los 30s (Rico Alfonso, 2005).

La presencia de cavidades suele ser el problema más grave que se presenta en la perforación de drenes transversales. Los derrumbes en la perforación son normalmente otro problema de consideración; cuando se perfora en zonas en que ha ocurrido una falla y hay movimientos, este peligro es particularmente significativo. La descarga puede ser libre a la cuneta o, en instalaciones importantes, a tubos colectores de unos 20 cm de diámetro, que encaminan las aguas a donde sean inofensivas. La parte del tubo perforado del subdren que queda próxima a la salida debe dejarse sin perforar en uno o dos metros, para evitar la invasión de vegetación a través de las perforaciones y la obstrucción del tubo (Rico Alfonso, 2005).

Figura 5: Esquema de la influencia de los drenes transversales de penetración en un corte de balcón



Los drenes de penetración transversal deben instalarse de manera que puedan ser objeto de un mantenimiento durante la conservación normal de la vía terrestre. Este mantenimiento consiste en su limpieza interior, incluyendo el destapar sus perforaciones. Para ello existe la maquinaria apropiada generalmente a base de cepillos con cerda metálica, integrados a máquinas de acción mecánica. Esta necesidad obliga muchas veces a la construcción de túneles o grandes tubos que proporcionen acceso a la boca de los drenes.

FUENTE: (Rico Alfonso, 2005).

1.6.4 Pozos de alivio

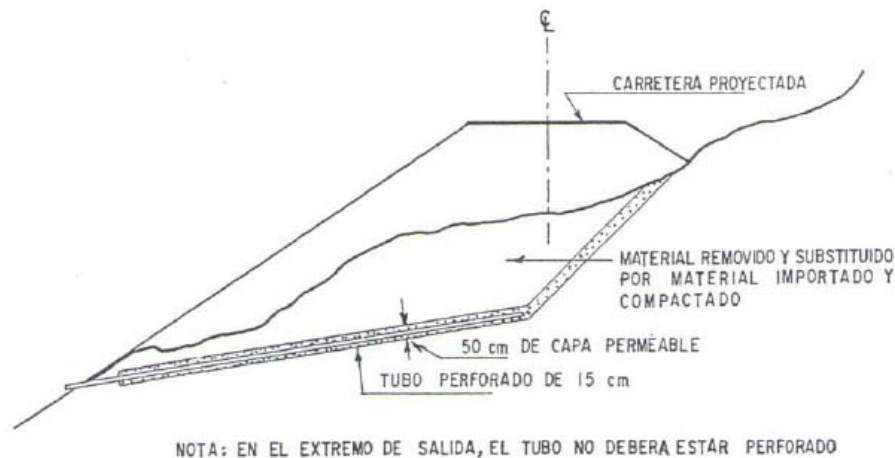
Aunque son relativamente escasos en la tecnología de vías terrestres, los pozos constituyen un modo útil de resolver algunos problemas específicos. Son perforaciones verticales del orden de 0.40 – 0.60 m de diámetro, dentro de las cuales se coloca un tubo perforado de 10 -15 cm de diámetro. El espacio anular que pueda entre ambos, se rellena con material de filtro. Los pozos se han construido hasta de 20 m de profundidad. Se colocan de forma tal que capten los flujos perjudiciales, o sea ladera arriba de la zona que se desee proteger. Su misión principal es abatir la presión en el agua existente en capas profundas del subsuelo, a las que no es económico o posible llegar por excavación; no suelen ser muy efectivos desde el punto de vista de eliminar toda el agua contenida por el suelo.

El método de los pozos de alivio tiene en su contra el costo, que suele ser alto; no es fácil que se justifiquen económicamente allí donde la perforación sea dificultosa o, sobre todo, donde el pozo haya de ser ademado, antes de colocar su relleno.

1.6.5 Capas permeables profundas con remoción del material

Cuando bajo la zona en que se colocará un terraplén, existe una capa saturada de suelo de mala calidad y de espesor relativamente pequeño (no más de 3 o 4 m) y debajo de esa capa hay materiales de mucha mejor calidad, puede pensarse en remover totalmente el suelo malo. La Figura 6 esquematiza una instalación de tal tipo.

Figura 6: Remoción de material blando y colocación de una capa permeable



La excavación para la remoción podrá recubrirse con una capa de 50 cm o un metro de material de filtro, disponiendo la correspondiente tubería perforada de captación y un sistema de desfogue. Posteriormente la excavación para la remoción podrá recubrirse con una capa de 50 cm o un metro de material de filtro, disponiendo la correspondiente tubería perforada de captación un sistema de desfogue. Posteriormente, la excavación se rellenara con material de buenas características, debidamente compactado.

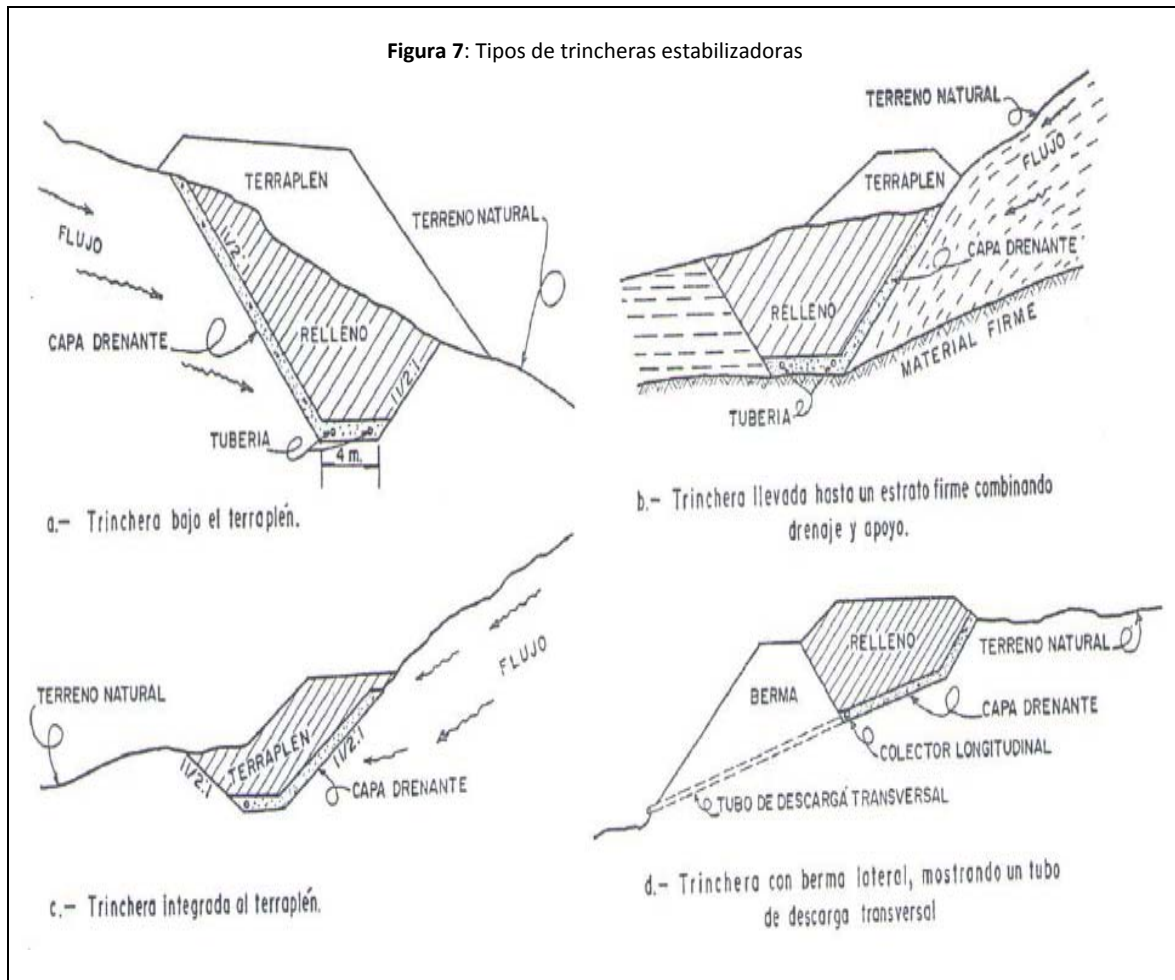
FUENTE: (Rico Alfonso, 2005).

La capa drenante colocada evita que el relleno compactado sufra en el futuro los efectos adversos del agua. Adicionalmente, el sistema permite que el terraplén se apoye a fin de cuentas en terreno firme, por lo que la solución debe verse como mixta, entre mejoramiento de terreno de cimentación y subdrenaje.

1.6.6 Trincheras estabilizadoras

Cuando en una ladera natural existe flujo de agua y está formada por grandes espesores de materiales cuya estabilidad se ve amenazada por él y sobre tal ladera ha de construirse un terraplén, la remoción de todos los materiales malos y su substitución por otros mejores resulta ya difícil y, desde luego, antieconómica. En la práctica esto se logra drenando las aguas de una zona que abarque aquella por la que podría desarrollarse un círculo de deslizamiento del conjunto formado por el terraplén y su terreno de cimentación. La Figura 7 muestra en croquis algunas posibilidades de trincheras estabilizadora adaptadas a diferentes circunstancias concretas de casos específicos.

Figura 7: Tipos de trincheras estabilizadoras



FUENTE: (Rico Alfonso, 2005).

Una trinchera estabilizadora es una excavación dotada en su talud arriba de una capa drenante, con espesor comprendido entre 0.50 m y 1.00 m de material de filtro y un sistema de recolección y eliminación de agua en su fondo, el cual suele consistir de una capa de material de filtro del mismo espesor arriba citado, dentro de la cual hay una tubería perforada (de 15 o 20 cm de diámetro usualmente, o mayor si se espera gran gasto) para conducir rápidamente el agua captada; esta última debe conectarse a una tubería de desfogue que lleve el agua a donde sea inofensiva. Este desfogue puede ser, por cierto, un grave problema si la excavación es profunda y la topografía no es favorable (Rico Alfonso, 2005).

El fondo de la trinchera deberá tener el ancho suficiente para permitir la operación eficiente de equipo de construcción, lo cual se logra con unos 4m. En realidad, una trinchera estabilizadora suele mejorar la estabilidad de un terraplén o de su terreno de cimentación de varias maneras.



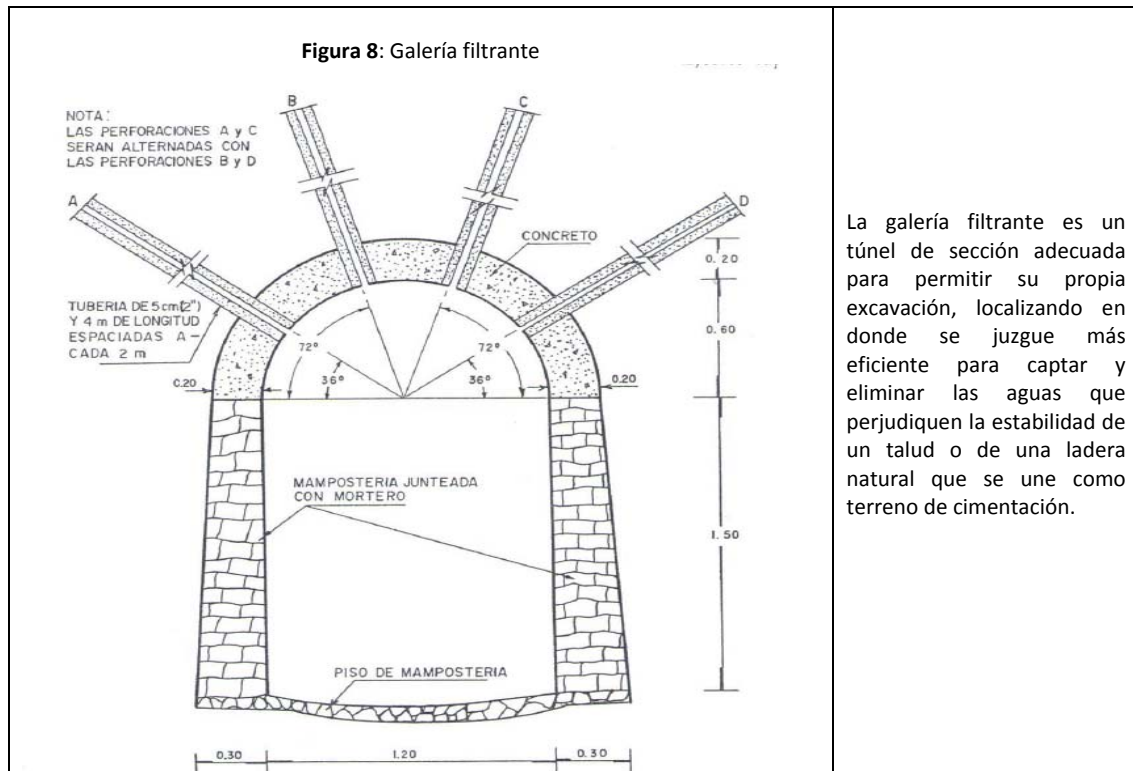
1. Realizando la función drenante que ha quedado descrita.
2. Realizando un proceso de substitución de material, en el cual, se apoya el conjunto terraplén – trinchera en un suelo más firme (parte b de la Figura 7) o se modifican las condiciones de estabilidad de tal modo que cualquier posible superficie de deslizamiento resulta tan larga y tan profunda que hace irrealizable la falla (por ejemplo, parte a de la Figura 7).

El subdrenaje proporciona mejora desde luego las características mecánicas del suelo ladera abajo, al cortar físicamente al flujo y también la mejora ladera arriba, abatiendo las presiones en el agua en una importante zona de influencia. Además, el mejoramiento de las característica mecánicas del suelo que se substituye en el relleno crea una restricción mecánica a la falla, que puede ser muy importante en muchos casos (Rico Alfonso, 2005).

1.6.7 Galerías filtrantes

Cuando el agua subterránea se encuentra a una profundidad tal que sea imposible pensar en llegar a ella por métodos de excavación a cielo abierto y prevalezcan condiciones topográficas que hagan difícil el empleo de drenes transversales, se ha recurrido en ocasiones a la construcción de galerías filtrantes (Figura 8). La técnica de estas obras es muy ampliamente conocida en el campo de las presas de tierra, pero es mayor cada día el uso que de ellas se hace en problemas relacionados con el subdrenaje de vías terrestres, sobre todo en corrección de problemas en zonas inestables.

Por razones de costo suele resultar más ventajoso el revestimiento convencional de concreto, de mampostería y bóveda de concreto, dejando huecos, para propiciar la función drenante, pero cuidando de no perjudicar estructuralmente. Una vez definida la forma de la superficie de falla dentro del subsuelo, la galería puede desarrollarse por la zona más baja, para coleccionar las aguas en la parte de más difícil drenaje. El desagüe de la galería filtrante puede ser muy sencillo cuando la boca de la galería puede ser drenada por gravedad (Rico Alfonso, 2005).



FUENTE: (Rico Alfonso, 2005).

1.7 Problema de Subdrenaje:

En realidad todos los problemas de subdrenaje son especiales, en el sentido de que son diferentes y de que sus soluciones deben tomar en cuenta sus peculiaridades.

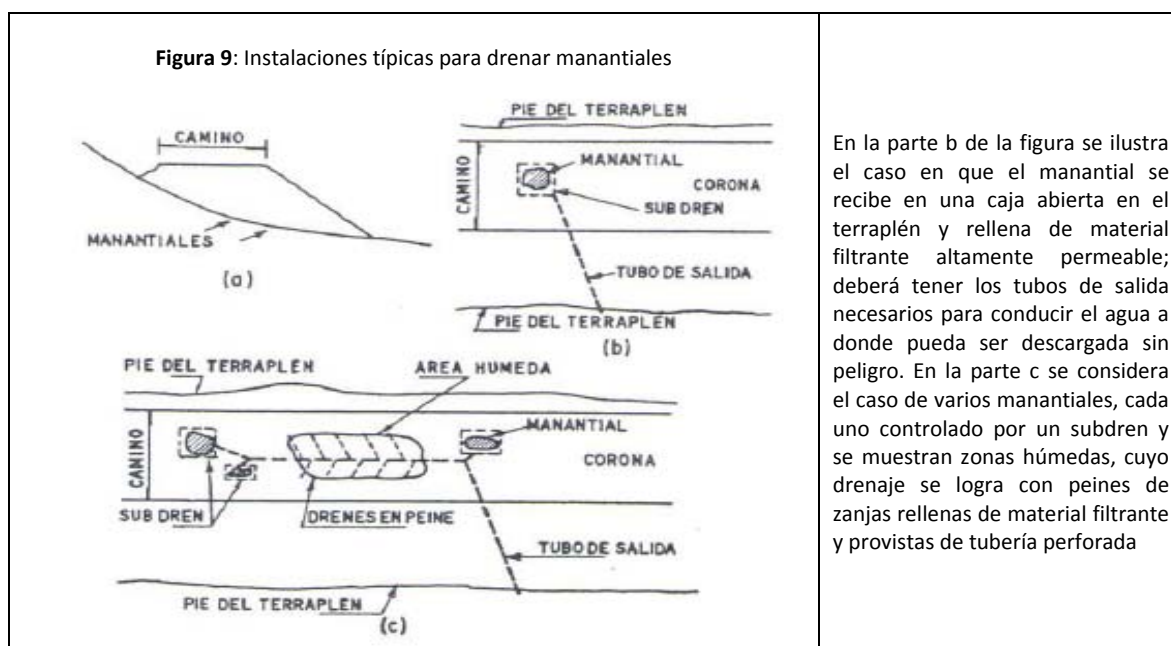
El primer caso que se mencionará es el que se refiere a la función drenante que pudieran tener las capas de material arenoso friccionante que han de colocarse sobre el terreno natural cuando se construyan terraplenas sobre turbas, zonas de pantano, suelos arcillosos muy blandos, etc.

Pueden proporcionar un medio de salida al agua en grandes extensiones, acelerando así procesos de consolidación en forma tanto más perceptible, cuanto menor sea el espesor de los depósitos blandos en comparación área cubierta. Dentro de este tipo de capas drenantes podrían considerarse incluidas también las capas colectoras que se colocan sobre la superficie del terreno en instalaciones de drenes verticales de arena que se coloquen para acelerar procesos de consolidación.

Otro problema especial de interés es el que plantean los manantiales o afloramientos de agua que puedan aparecer dentro del área cubierta por la vía

terrestre. La captación y eliminación de sus aguas es indispensable y puede lograrse con capas drenantes localizadas, pequeñas trincheras estabilizadoras o drenes de zanja convenientemente orientados. El problema suele estar en estos casos en la necesidad de eliminar gastos relativamente altos a través de instalaciones que deberán ser, por razones de costo, modestas en sus dimensiones. Una alta permeabilidad en los materiales de filtro es entonces indispensable, debiendo cuidarse sobre todo del contenido de finos por debajo de la malla No. 40, que debe ser tan reducido sea posible o nulo. Si no puede garantizarse este requisito en las obras que se hagan, deberá recurrirse al uso de filtros graduados, con varias capas. A este respecto, los ingenieros no deberán concebir muchas ilusiones sobre la capacidad drenante de mantos o secciones de conducción construidas con materiales friccionantes supuestamente muy permeables (Rico Alfonso, 2005).

Comoquiera que un manantial puede dar un gasto continuo de cierta importancia, susceptible de causar daños muy importantes, si no se drena con rapidez, se comprende la importancia de la alta permeabilidad de los filtros usados. La Figura 9 presenta un croquis de varias instalaciones típicas, para drenar manantiales aislados.



FUENTE: (Rico Alfonso, 2005).

En ocasiones se ha preferido cortar la ascensión del agua a los terraplenes, construyendo en la base de éstos una altura suficiente para eliminar el agua; sobre éste habrá una sección con granulometría de transición, sobre la que podrá



construirse un terraplén convencional. Esta solución puede ser económica en grandes extensiones, a condición de que el terraplén tenga la altura suficiente para alojarla.

Un tercer problema que vale la pena mencionar al considerar el subdrenaje, es el que plantean las grietas que se abren en zonas de laderas naturales y taludes inestables, que sufren movimientos. El agua, al penetrar por estas grietas y rellenarlas, produce empujes hidrostáticos que pueden afectar muy desfavorablemente la estabilidad general de toda la zona, por lo que su relleno y sellado es una precaución indispensable. Este puede hacerse con arcilla o materiales impermeables, como suelo – asfalto y la operación puede requerir, en casos extremos de gravedad, la apertura de cajas en la parte superior de la grieta, las que se rellenaran por completo con los materiales de sellado. Como el simple relleno de las grietas no ofrece remedio al problema de estabilidad que esté en desarrollo, en tanto este no se corrija habrá que contar con que se seguirán abriendo y habrá que sellarlas periódicamente (Rico Alfonso, 2005).

2. ELEMENTOS DE DRENAJE SUBTERRANEO

Se definen a continuación una serie de criterios básicos relativos a los elementos de drenaje subterráneo de más frecuente utilización en obras de carretera. Algunos de ellos son específicos en este tipo de trabajos, mientras que otros son de uso más general; en este último caso se han reflejado los principales aspectos de aplicación dentro del ámbito de este documento.

2.1. Zanjas Drenantes.

Consisten en zanjas profundas que actúan al mismo tiempo como drenes superficiales y como sistemas de abatimiento del nivel freático. Para que se produzca, las zanjas deben profundizarse por debajo del nivel freático. Se produce entonces un afloramiento de agua subterránea en las paredes de la zanja. Las pendientes de los taludes deben ser bajas para con ello eliminar la posibilidad de erosión por afloramiento del agua subterránea.

Cuando las zanjas drenantes pretendan el rebajamiento del nivel freático, el agua fluirá a las zanjas a través de sus paredes laterales, se filtrará por el material de relleno hasta el fondo y escurrirá por este, o por la tubería drenante. También podrá acceder por su parte superior, si el sistema de drenaje subterráneo estuviera concebido para funcionar de esta manera (Wikivia: La Enciclopedia de la Carretera). En caso de que no estuviera bien aislada superficialmente podría penetrar agua de escorrentía, lo que deberá evitarse en todo caso.

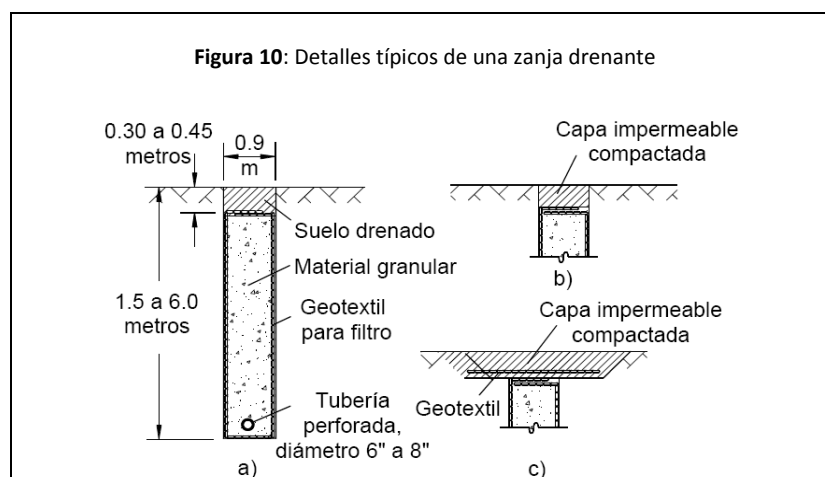
En ocasiones, previa justificación expresa del proyecto, podrán omitirse las tuberías drenantes, en cuyo caso la parte inferior de la zanja quedaría completamente rellena de material drenante, constituyendo un dren denominado ciego o francés, en el que el material que ocupa el centro de la zanja es perceptivamente árido grueso.

2.1.1 Ubicación

El trazado y las características geométricas de las zanjas drenantes lo definirá el tipo de proyecto, que podrán ubicarse bajo cunetas revestidas siempre que se adopten medidas para que no se produzcan filtraciones bajo las mismas.

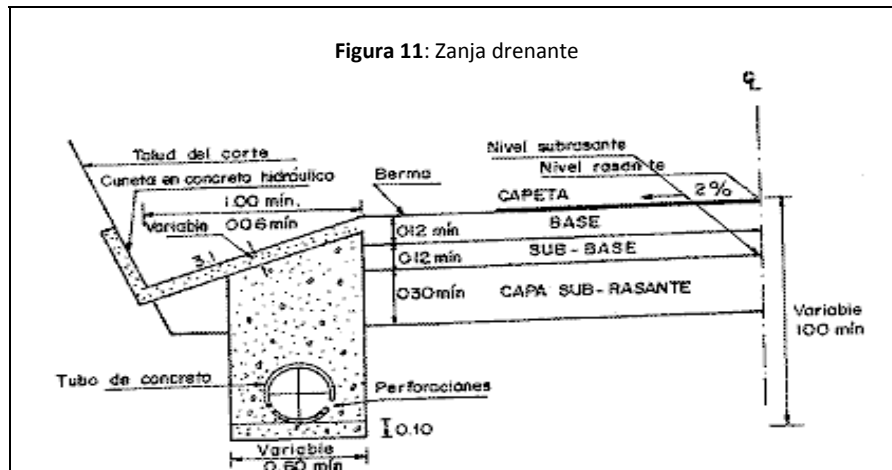
Por otra parte, cuando se implanta subdrenes dentro de una vía expuesta a deslizamientos, las zanjas son más efectivos cuando la profundidad del deslizamiento es menor a los 3 metros, en los cuales los drenes penetran completamente a través de la masa deslizada dentro del material estable. *En los deslizamientos profundos (más de 6 m de espesor), generalmente los subdrenes de zanja no son efectivos y se puede requerir otros sistemas de drenaje, como son los drenes horizontales o las galerías de drenaje.*

Mientras que, es muy difícil y complejo en la mayoría de los casos, utilizar subdrenes de zanja para el control del agua subterránea en formaciones rocosas y generalmente, se prefiere el uso de subdrenes de penetración. En las masas de roca, el flujo de agua generalmente está determinado por las juntas y por lo tanto, cualquier sistema de subdrenaje debe estar destinado a interceptarlas y por ende un sistema de subdrenaje puede generar cambios importantes y peligrosos en el sistema interno de drenaje de un macizo de roca. De acuerdo a lo indicado anteriormente, en la siguiente figura se detalla la geometría de una zanja drenante (Figura 10).



FUENTE: (Suárez, Control de aguas superficiales y subterráneas, 2006).

En general para terrenos montañosos y/u ondulados, la zanja tiene profundidad variable, depende de las características del suelo (capilaridad), nivel al que puede encontrarse suelo impermeable al que es preferible llegar, niveles de descarga, etc.; la profundidad mínima debe ser 1.0 m. el ancho de la zanja es variable con un mínimo de 0.60m. La pendiente debe ser 0.15% y máximo 0.5%, en la Figura 11 se detalla la geometría de una zanja.



FUENTE: (Suárez, Control de aguas superficiales y subterráneas, 2006).

2.1.2. Prescripciones específicas sobre la zanja drenante

En proyectos de zanjas drenantes, de acuerdo a criterios e indicaciones de normas extranjeras, deben observarse los siguientes aspectos:

- Si el terreno natural y el relleno de la zanja no cumplieran condiciones de filtro, se dispondrá un elemento separador que cumpla dichas condiciones, con el fin de evitar las migraciones de finos que podrían producir erosión interna en el terreno y colmatación en el relleno de la zanja. La colocación de filtros minerales conduce a soluciones muy elaboradas, por lo que en general será preferible el empleo de geotextiles como elementos de separación y filtro.
- Si el fondo de la zanja no estuviera situado en terreno impermeable, se deberá considerar la conveniencia de impermeabilizarlo. Su pendiente longitudinal mínima se determinará en función del material que lo conforme, si bien en todo caso habrá de ser superior a 0.5%.
- Cuando se lleve a cabo la impermeabilización artificial del fondo, se recomienda disponer una solera de hormigón con sección transversal en forma de «V» o artesa con pendientes iguales o superiores al cinco por ciento (5%). La impermeabilización del fondo también se puede conseguir mediante una capa de espesor suficiente de material tolerable, cuyo cernido por el tamiz 0,080 sea mayor que el treinta y cinco por ciento ($\# 0,080 \text{ mm} >$

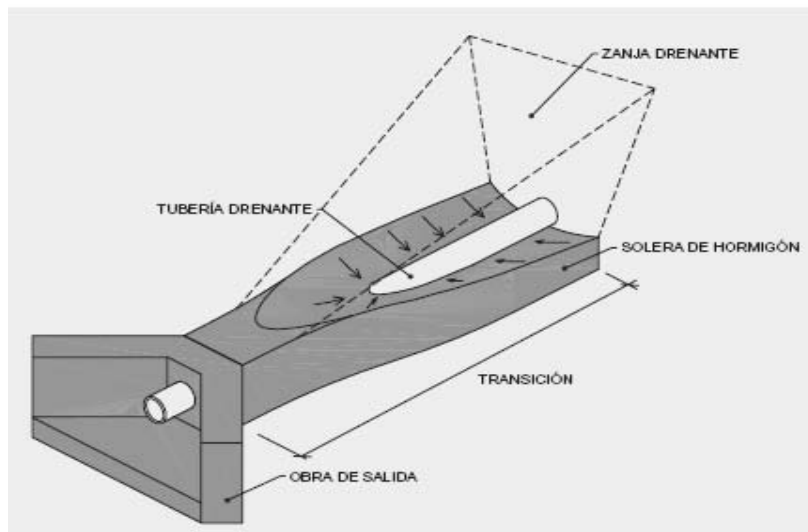


35%) y cuyo contenido de yeso, sea menor del dos por ciento (2%), o mediante la colocación de lámina impermeable, previo rasanteo y compactación del fondo de la zanja.

- Salvo justificación expresa en contra del proyecto, las zanjas se proyectarán con tubería drenante en el fondo, la cual resulta muy conveniente para canalizar las aguas captadas y posibilitar los trabajos de limpieza y conservación.
- Cuando en la sección transversal de la carretera se dispongan suelos estabilizados in situ próximos a la ubicación de una zanja drenante, deberán prescribirse las precauciones necesarias para evitar la contaminación de esta por lechada.
- El proyecto deberá estudiar la estabilidad local de la zanja y global de las obras, antes, durante y después de su construcción.

2.1.3 Desagüe de la zanja drenante

Las zanjas drenantes no deberán recibir más caudales que los captados por ellas mismas en los tramos situados entre pozos de registro. Una vez en el pozo de registro, las aguas se evacuarán al cauce natural, al sistema de drenaje superficial cuando estuviera previsto, o a colectores. En los casos excepcionales, convenientemente justificados en el proyecto, en los que una zanja drenante hubiera de desaguar directamente al exterior sin haberlo hecho previamente a un colector, deberá garantizarse que el vertido se realice a un punto con salida a la red de drenaje superficial o preferiblemente a un cauce. En la terminación de la zanja drenante se proyectará una transición geométrica en la que la parte superior se acerque a la inferior que deberá estar impermeabilizada, hasta quedar la sección reducida al propio tubo embebido preferiblemente en hormigón. Asimismo se proyectará una solera y embocadura en la sección de vertido, adecuada a los trabajos de limpieza y conservación previstos.

Figura 12: Desagüe directo de una zanja drenante

FUENTE: (Wikivia: La Enciclopedia de la Carretera).

2.2. Pantallas Drenantes.

Las pantallas drenantes, son zanjas bastante más profundas que anchas (su anchura no suele superar los veinticinco centímetros (25 cm)), que se disponen normalmente en el borde de capas de firme o explanada, en cuyo interior se dispone un filtro geotextil, un alma drenante y generalmente, un dispositivo colector en la parte inferior.

En general se distinguen dos tipos de pantallas, dependiendo de cuál sea el alma drenante proyectada:

- In situ, en las que suele ser material granular.
- Prefabricadas, en las que el alma drenante se elabora en un proceso industrial.

Aunque las pantallas drenantes requieren una ocupación de espacio en planta comparativamente menor que otras soluciones que procuran objetivos similares, presentan condicionantes de limpieza y conservación más estrictos. En el proyecto se deberá justificar de manera expresa la adecuación de esta solución a la problemática planteada, así como las características y ubicación de las pantallas drenantes, contemplando de modo expreso sus necesidades de limpieza y conservación, y prescribiendo, salvo justificación en contra, que su parte superior sea impermeable.



Las pantallas drenantes pueden disponerse en contacto con las capas de firme o muy próximas a ellas. En este caso debe prestarse especial atención a sus condiciones de impermeabilización. El diámetro interior mínimo del dispositivo colector deberá ser de cien milímetros (100 mm). La construcción de las pantallas drenantes requiere maquinaria específica, en ocasiones con un tren completo de ejecución de las distintas operaciones. El proyecto deberá estudiar la estabilidad local de la zanja para el alojamiento de la pantalla y global de las obras, antes, durante y después de la ejecución de las mismas (Wikivia: La Enciclopedia de la Carretera).

2.3. Filtros y Materiales drenantes.

El filtro evita una excesiva migración de partículas de suelo y simultáneamente permite el paso del agua, lo anterior implica que el geotextil (los filtros utilizados más frecuentemente son los rellenos localizados de material drenante y los geotextiles) debe tener una abertura aparente máxima adecuada para retener el suelo, cumpliendo simultáneamente con un valor mínimo admisible de permeabilidad, que permita el paso del flujo de una manera eficiente. Para llegar a la selección del geotextil no solo hay que tomar en cuenta lo anterior, sino además, la resistencia a la colmatación, supervivencia y durabilidad (Wikivia: La Enciclopedia de la Carretera).

2.4. Tubería Drenante.

La tubería drenante es una tubería perforada, ranurada, etc., que normalmente estará rodeada de un relleno de material drenante o un geotextil, y que colocada convenientemente permite la captación de aguas freáticas o de infiltración.

El diámetro interior mínimo de los tubos aceptado en el Ecuador será de ciento diez milímetros (110mm), salvo justificación en contra del proyecto efectuada, teniendo en cuenta las necesidades de limpieza y conservación del sistema. Cuando la sección no fuera circular, esta deberá permitir la inscripción de un círculo de dicho diámetro. Además cuando estas tuberías se instalen en zanjas drenantes se tomará en cuenta lo especificado en el apartado 2.1.

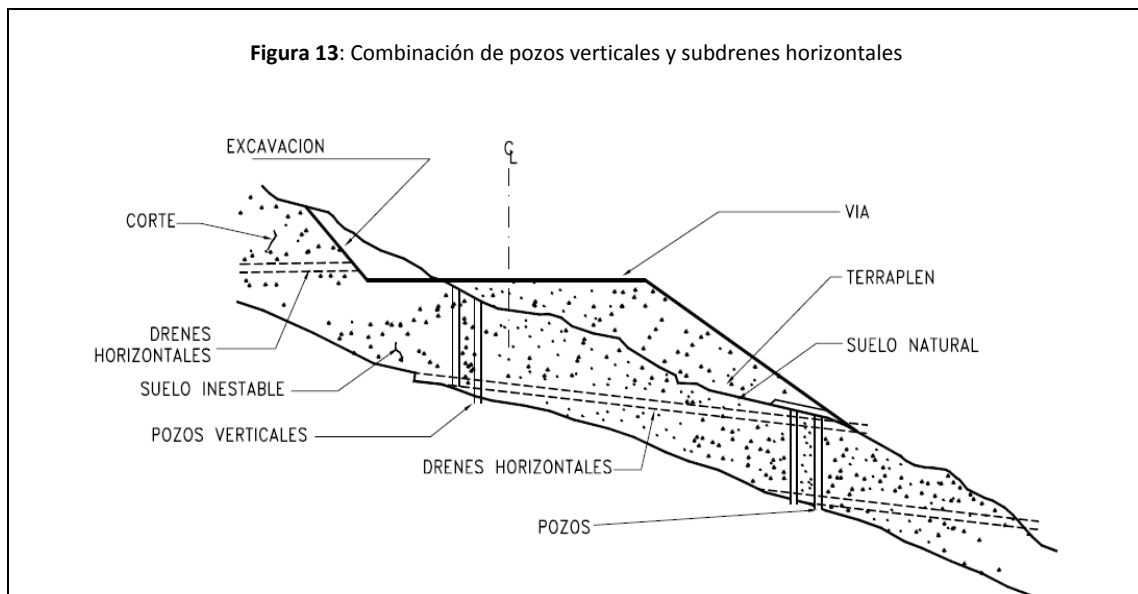
En la mayoría de los subdrenes con material de diámetro inferior a 1½ de pulgada, es necesario el uso de la tubería colectora para filtros. Cuando se utilizan materiales gruesos, no siempre se coloca tubería colectora, debido a que se supone que el material es excelente conductor y no se requiere un elemento adicional para la recolección y la conducción del agua. Algunos autores recomiendan colocar tubería en todos los casos (Wikivia: La Enciclopedia de la Carretera).

2.5. Colectores.

Los colectores son tuberías enterradas conectadas a arquetas o pozos de registro, de los que recogen las aguas provenientes de los elementos de drenaje. No son elementos específicos del drenaje subterráneo de las carreteras, ya que aunque pueden conducir caudales provenientes del mismo, suelen recibir otros provenientes del drenaje superficial que normalmente serán muy superiores.

En ningún caso se proyectarán colectores perforados, ranurados, con juntas abiertas, etc., para captar directamente aguas del terreno.

Cuando las posibles filtraciones desde el colector, pudieran afectar a materiales susceptibles al agua (suelos tolerables con un contenido de yesos, mayor del dos por ciento (2%), suelos marginales o inadecuados, o rocas que no puedan considerarse estables frente al agua), el proyecto establecerá prescripciones complementarias para garantizar su estanqueidad de manera especial, tales como sellado de juntas, encamisado de tubos, etc. El pozo es perforado mediante un equipo estándar para la construcción de pilas. En ocasiones se pueden requerir entibados para prevenir el derrumbe de las paredes o la colocación de una pared metálica o tubo vertical (Wikivia: La Enciclopedia de la Carretera).



FUENTE: (Suárez, Control de aguas superficiales y subterráneas, 2006).

2.6. Pozos de Registro.

El pozo de registro estará constituido por una solera que garantice su impermeabilidad. Cuando las posibles filtraciones desde los pozos puedan afectar

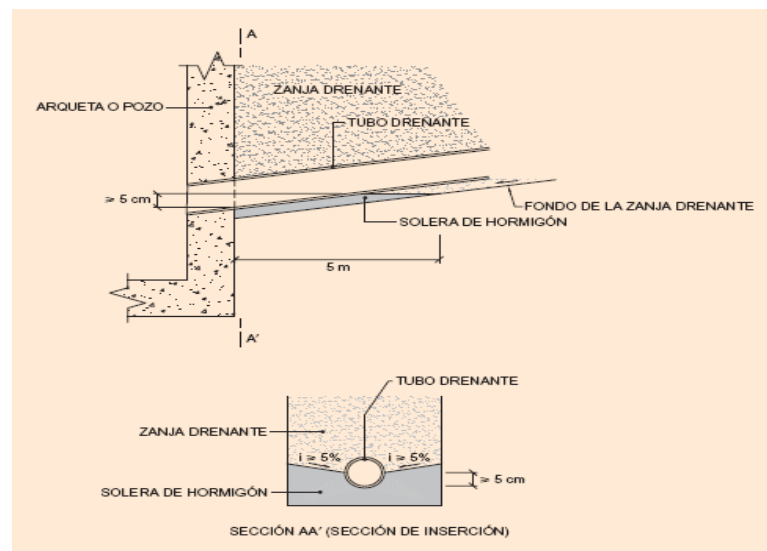
a materiales susceptibles al agua (suelos tolerables con un contenido de yesos mayor del dos por ciento (2%), suelos marginales o inadecuados, o rocas que no pueden considerarse estables frente al agua), la condición de impermeabilidad deberá extenderse a paredes y juntas.

Los detalles necesarios para dar pendientes a la solera, construir conexiones hidráulicas, garantizar la visitabilidad, etc., se proyectarán en general mediante elementos específicos de hormigón (hormigones de forma).

Las zanjas drenantes normalmente desaguarán su caudal a través de la tubería drenante alojada en su fondo, que se prolongará hasta el paramento interior de pozos de registro.

Para evitar acumulaciones de agua en el contacto entre la zanja y el pozo, se proyectará en el fondo de la zanja, al menos en los cinco metros (5 m) más próximos al pozo, una solera de hormigón en la que la tubería drenante se encuentre embebida al menos cinco centímetros (5 cm) al llegar a la sección de inserción (Wikivia: La Enciclopedia de la Carretera).

Figura 14: Detalle de la Zona de Inserción



Las dimensiones mínimas interiores de los pozos de registro, serán de ochenta centímetros por cuarenta centímetros (80 cm x 40 cm) para profundidades menores a un metro y medio (1,5 m). Para profundidades superiores, estos elementos serán visitables, con dimensión mínima interior de un metro (1 m) y dimensión mínima de tapa o rejilla de sesenta centímetros (60 cm). La distancia entre arquetas o pozos de registro no será superior a cincuenta metros (50 m), salvo justificación expresa en contra del proyecto, efectuada teniendo en cuenta las necesidades de limpieza y conservación del sistema.

FUENTE: (Wikivia: La Enciclopedia de la Carretera).

a. Mantos Drenantes.

Son capas drenantes formadas por bloques, material granular o elementos drenantes prefabricados (generalmente geo-compuestos), que se disponen entre un relleno y el terreno natural sobre el que éste se cimenta.



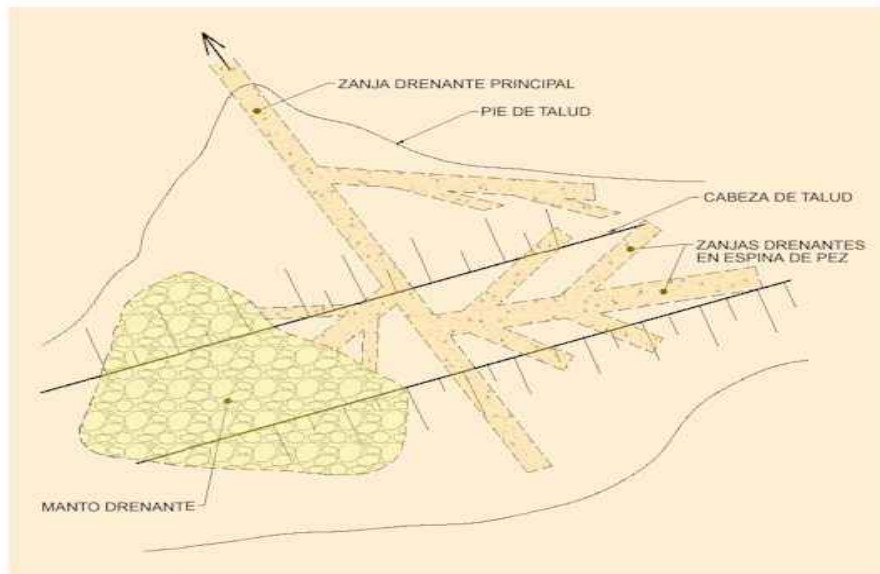
Deben recoger y conducir al sistema general de drenaje de las obras, surgencias de agua procedentes del terreno natural y aportes provenientes del propio relleno en su caso. Asimismo tienen por función la interrupción de los procesos de ascensión capilar, al estar constituidos por materiales con huecos de mayor tamaño que los que permiten dicha elevación. El área del manto depende de la zona a drenar.

Salvo cuando estuviera constituido exclusivamente por geocompuestos, en cuyo caso el proyecto podrá justificar valores menores, el manto drenante tendrá un espesor mínimo de treinta centímetros (30 cm), debiendo encontrarse la línea de saturación al menos a diez centímetros (10 cm) bajo su cota superior. Asimismo y salvo especificación en contra del proyecto, deberán disponerse filtros granulares o geotextiles para la protección del manto. En general el manto drenante deberá estar provisto de tuberías drenantes, con desagüe a colectores. Normalmente, los mantos drenantes que quedan bajo las obras, no se podrán someter a trabajos de conservación sin que éstas se vean afectadas, por lo que resulta de especial importancia que su espesor sea el adecuado, que no se produzca su colmatación, y que el funcionamiento de tuberías drenantes y colectores sea correcto (Wikivia: La Enciclopedia de la Carretera).

2.8. Drenes en Espina de Pez.

Para disminuir la infiltración de agua en las áreas del talud se acostumbra construir canales colectores en espina de pescado, las cuales conducen las aguas colectadas, por la vía más directa hacia afuera de las vías vulnerables del talud, entregándolas generalmente a canales en gradería (Figura 15). Estos canales deben impermeabilizarse adecuadamente para evitar la re-infiltración de las aguas (Wikivia: La Enciclopedia de la Carretera).

Figura 15: Combinación de un manto drenante con drenes en espina de pez

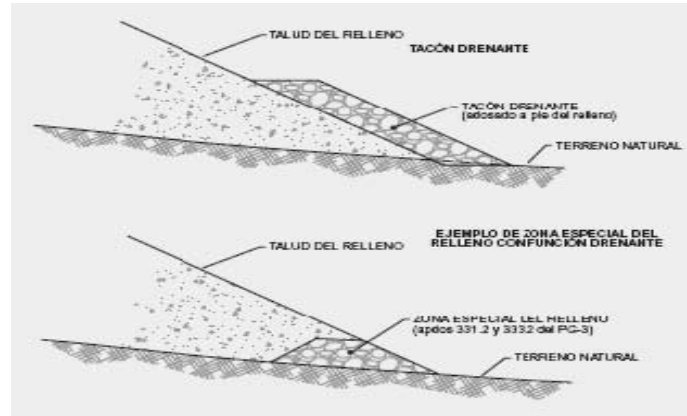


FUENTE: (Carreteros: Recomendaciones para el proyecto y construcción del drenaje subterráneo en obras de carretera, 2003).

2.9. Tacones Drenantes.

En rellenos cuyos espaldones pudieran plantear problemas de estabilidad, puede adosarse al pie un tacón generalmente de piedra, con el doble propósito de actuar como elemento resistente (proporcionándole contención lateral), y de constituir un elemento de drenaje para recoger el agua procedente del terreno de cimentación, del manto drenante si existiera, e incluso del propio relleno en su caso. Para la construcción de este elemento deberá proyectarse una capa de filtro (Wikivia: La Enciclopedia de la Carretera).

Figura 16: Tacón drenante y ejemplo de relleno con zona especial de drenante

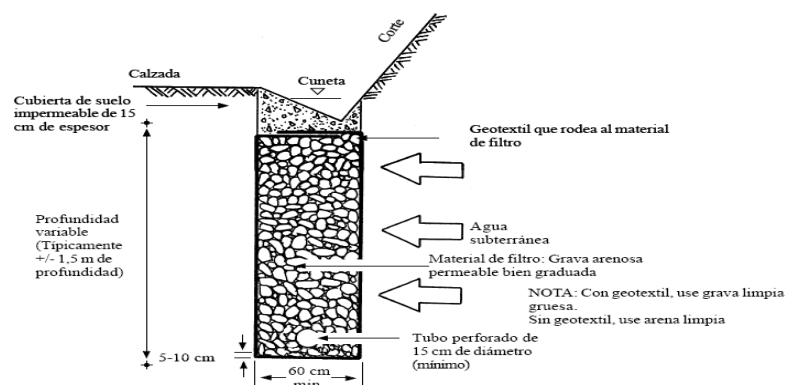


FUENTE: (Carreteros: Recomendaciones para el proyecto y construcción del drenaje subterráneo en obras de carretera, 2003).

2.10. Drenes de Intercepción.

Son zanjas drenantes provistas por lo general de tubería drenante en su parte inferior, que tienen por objeto la captación de aguas subterráneas, o el rebajamiento del nivel freático, y que se disponen transversalmente al flujo a captar. Dentro de un diseño típico de subdrenaje se usa una zanja de intercepción de entre uno y dos metros de profundidad, rellena con roca permeable (Figura 17) (Wikivia: La Enciclopedia de la Carretera).

Figura 17: Dren típico de Intercepción



FUENTE: (Gordon, 2004).

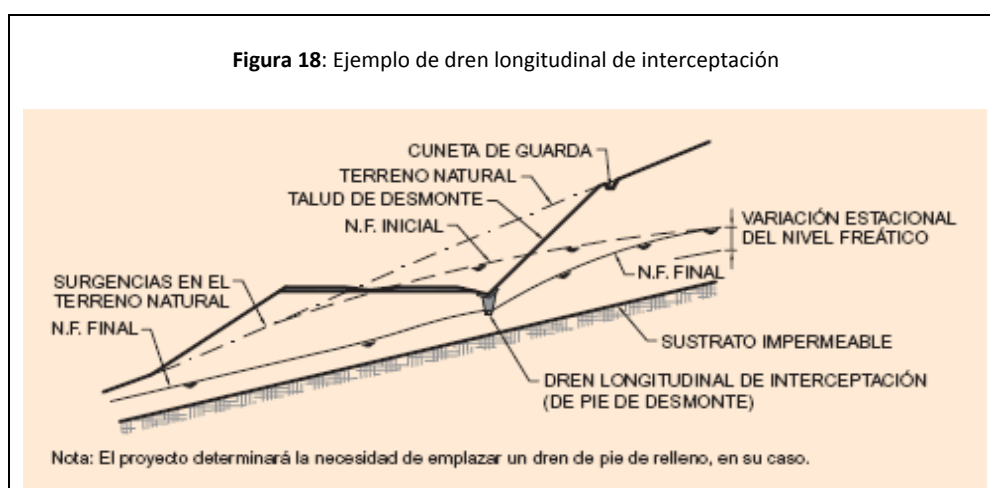
Pueden situarse en cimientos de rellenos o al pie de los mismos, al pie o en coronación de los desmontes, en bermas intermedias, etc.

2.10.1. En cimiento de relleno.

Al proyectar estos drenes, debe tenerse en cuenta que la construcción del relleno puede alterar la distribución de las zonas de afloramiento de las aguas en el terreno natural bajo el mismo, por la eliminación de zonas permeables superficiales, obstrucción de capas permeables profundas, etc.

2.10.2. Drenes Longitudinales de Interceptación.

Son zanjas drenantes que se disponen longitudinalmente a la carretera o elemento a proteger, aguas arriba de los mismos, con el fin de interceptar flujos de agua hacia éstos. Su profundidad deberá determinarse en el proyecto, en función de las condiciones hidrogeológicas existentes (Figura 18).



FUENTE: (Wikivia: La Enciclopedia de la Carretera).

2.11. Contrafuertes Drenantes.

Los contrafuertes drenantes son un sistema mixto de drenaje y refuerzo de aplicación en taludes de desmonte o espaldones de rellenos, que consta de zanjas drenantes orientadas según líneas de máxima pendiente de los mismos, que además actúan como contrafuertes.

Entre dichas zanjas y a diferentes alturas, pueden proyectarse, transversalmente a las primeras, otras de menor o igual profundidad (contrafuertes secundarios) que desagüen a las anteriores, contribuyendo además al refuerzo del paramento en cuestión. Este tipo de obras, en el presente proyecto debido a la no presencia de rellenos o taludes pronunciados, no se aplicaran como una medida de prevención



dentro de la vía, sin embargo, para un correcto análisis de estas obras es importante considerar ciertos aspectos relativos referentes a la función de refuerzo como a la función drenante (Wikivia: La Enciclopedia de la Carretera).

2.12. Drenes Californianos.

Los drenes californianos son perforaciones de pequeño diámetro y gran longitud (en relación con su diámetro) efectuadas en el interior del terreno natural o de rellenos, dentro de las cuáles se colocan generalmente tubos, que en la mayoría de los casos, serán ranurados o perforados. El objetivo principal de un tratamiento mediante drenes californianos es el de reducir las presiones intersticiales de una zona determinada, agotar una bolsa de agua o rebajar el nivel freático (Wikivia: La Enciclopedia de la Carretera).

2.12.1. Ubicación

La ubicación de los drenes californianos se determinará en función de la naturaleza de los terrenos atravesados, para lo que deberán tenerse en cuenta sus condiciones hidrogeológicas. Buena parte del éxito de este tratamiento depende del acierto en su disposición, por lo que el conocimiento de la estructura geológica en la que se perforen resulta de vital importancia.

La posición y longitud del dren se definirá de forma que se atraviesen las posibles superficies de inestabilidad, discontinuidades, zonas diaclasadas, planos de fractura, mantos o capas permeables o bolsas de agua, en suma, superficies o volúmenes que contengan el agua a drenar, prolongándose en general un mínimo de dos a tres metros (2 a 3 m) por el interior de dichas formaciones.

2.13.2. Perforación

La inclinación de la perforación, descendente hacia el talud, será como mínimo del tres por ciento (3%). La perforación de los drenes californianos simultáneamente a la excavación de los desmontes, sobre todo en paramentos de altura superior al rango de maniobra de la maquinaria habitual para este tipo de trabajos, puede simplificar su ejecución y mejorar las condiciones de drenaje durante la propia excavación. Cuando sea necesario contener las paredes por atravesar tramos de falla, terrenos inestables, etc., se deberá emplear entubación provisional para estabilizar las paredes del taladro hasta la instalación del tubo definitivo.

2.12.3. Tubos

En general, los drenes californianos se proyectarán con tubos en su interior, metálicos o de materiales plásticos, perforados o ranurados, con diámetro interior mínimo de cinco centímetros (5 cm). Las ranuras u orificios deberán disponerse a lo largo de aquellas zonas del tubo que, tras su ubicación en el interior del terreno,



supongan captación de aguas, si bien normalmente podrán admitirse longitudes mayores de estas zonas con orificios o ranuras. En general los dos o tres metros (2 ó 3 m) del tubo que queden más próximos a la boca del taladro no deben presentar orificios ni ranuras. El proyecto prescribirá el sellado del espacio anular exterior al tubo en la boca del taladro, con arcilla u otro material impermeable, de forma que se garantice que el agua salga por el interior del tubo sin dañar las paredes de la perforación. Asimismo, podrán proyectarse drenes californianos sin tubo interior, principalmente en roca sana, donde no resulten esperables movimientos que supongan una obstrucción de la perforación, ni existan materiales que puedan taponarla.

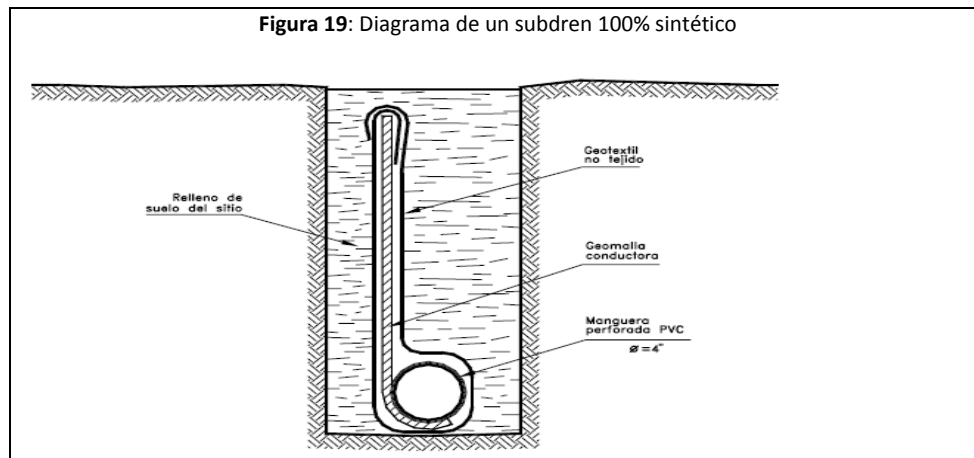
2.12.4. Aguas Captadas

Los caudales y el tiempo durante el cual los drenes californianos aporten agua, dependerán de los volúmenes y condiciones de recarga de las zonas drenadas, así como de la permeabilidad de los materiales en cuestión. Cuando se dispongan como drenaje de materiales de baja permeabilidad, el alivio de presiones puede implicar un periodo de tiempo prolongado, normalmente de varios meses, siendo el caudal evacuado escaso.

2.13. Subdrenes 100% sintéticos.

Debido a la dificultad de obtener materiales naturales para los subdrenes y con el desarrollo de las mallas sintéticas, se está haciendo popular el uso de los subdrenes 100% sintéticos. Estos subdrenes constan de tres elementos básicos:

1. **Geomalla.** Se trata de una red sintética construida en tal forma que se forman unos canales que facilitan el flujo de agua.
2. **Geotextil.** La geomalla se envuelve en un geotextil, el cual actúa como filtro impidiendo el paso de partículas de suelo hacia la geomalla y permitiendo a su vez el flujo de agua.
3. **Tubo colector perforado.** En el extremo inferior de la geomalla y envuelto por el geotextil se coloca una manguera perforada PVC especial para subdrenes, la cual recoge y conduce el agua colectada por la geomalla (Suárez, Control de aguas superficiales y subterráneas, 2006).



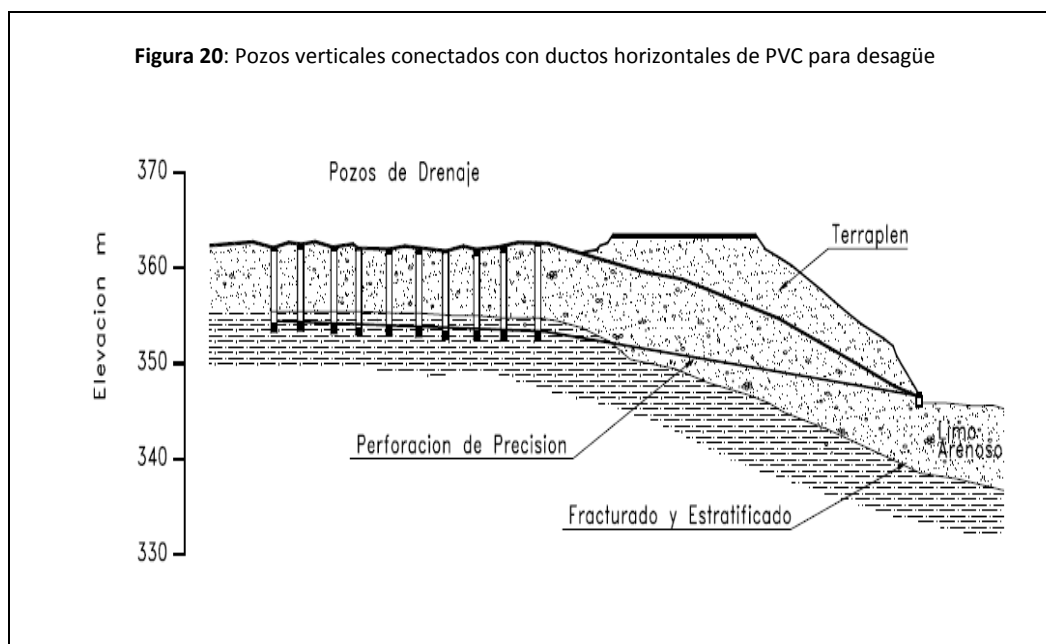
FUENTE: (Suárez, Control de aguas superficiales y subterráneas, 2006).

2.14. Pozos.

Los pozos verticales de drenaje son perforaciones verticales abiertas que tratan de aliviar las presiones de poros, cuando los acuíferos están confinados por materiales impermeables como puede ocurrir en las intercalaciones de lutitas y areniscas.

Los pozos verticales tienen generalmente un diámetro externo de 400 a 600 milímetros, con un tubo perforado de 100 a 200 milímetros de diámetro en el interior de la perforación, aunque en ciertas ocasiones se emplean diámetros de hasta dos metros. El espacio anular entre la perforación y el tubo se llena con material filtro. Su sistema de drenaje puede ser por bombeo, interconectando los pozos por drenes de penetración o por medio de una galería de drenaje o empleando un sistema de sifón.

El espaciamiento de los pozos depende de la estructura de las formaciones. Si aparecen juntas verticales es posible que los pozos no intercepten las presiones de agua, como si ocurre cuando el drenaje natural de la formación es horizontal. Debe tenerse en cuenta que es más efectivo incrementar el número de pozos que aumentar su diámetro. Los espaciamientos más comunes varían entre 3 y 15 metros. La profundidad depende del espesor de la zona inestable y la estabilidad requerida. Se conoce de drenes de hasta 50 metros de profundidad (Wikivia: La Enciclopedia de la Carretera).



FUENTE: (Suárez, Control de aguas superficiales y subterráneas, 2006).

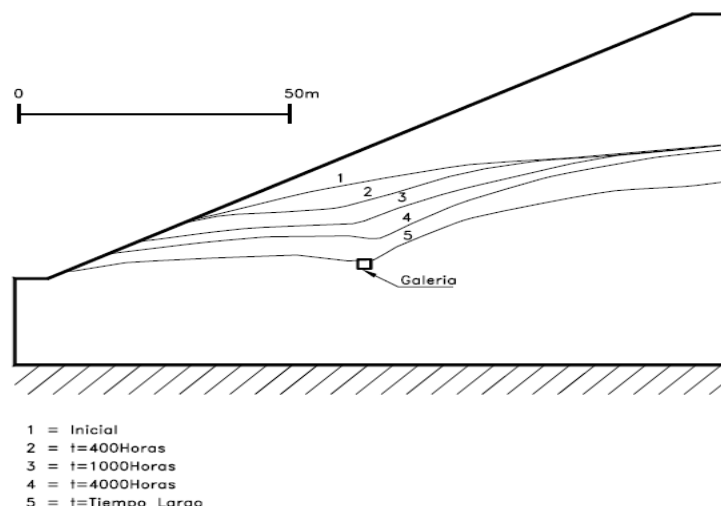
En general, dentro del proyecto objeto de estudio y debido a las condiciones del medio, no se emplearan pozos verticales, sin embargo vale la pena recalcar que dentro de su diseño es de gran importancia considerar aspectos como el revestimiento y el desagüe de los pozos, pues son fundamentales para una correcta operación y funcionamiento de los mismos.

2.15. Galerías Drenantes.

La galería de drenaje es un túnel cuyo objetivo específico es el de disminuir las presiones de poros y controlar las corrientes profundas de agua subterránea en un talud (Figura 21). Las galerías de drenaje deben tener una sección adecuada para facilitar su construcción y se colocan generalmente, por debajo de la posible zona de falla y en la parte superior del acuífero que se desea controlar.

El uso de galerías de drenaje para mejorar las condiciones de estabilidad de taludes, para el caso de presiones muy altas de poros es común para la estabilización de deslizamientos. Las galerías de drenaje son empleadas especialmente, en los grandes proyectos hidroeléctricos (Wikivia: La Enciclopedia de la Carretera).

Figura 21: Evolución de la línea de nivel freático al construir una galería de drenaje



FUENTE: (Suárez, Control de aguas superficiales y subterráneas, 2006).

Para fijar su ubicación se requiere un estudio geotécnico detallado. Cuando la permeabilidad de los materiales en sentido vertical, es mayor debido a la orientación de las discontinuidades, el agua fluye fácilmente hacia la galería pero cuando la orientación de los estratos es horizontal el agua puede pasar por sobre la galería sin fluir hacia ella.

En estos casos se requiere construir pozos verticales o subdrenes inclinados desde la galería para interceptar las zonas de flujo, entre más alto el pozo vertical, su efecto es mayor. Generalmente, se recomiendan diámetros de 1/20 de la altura del talud. En general, es recomendable disponer una solera hormigonada con ligera pendiente transversal y un canal para la evacuación de las aguas con pendiente longitudinal suficiente.

2.16. Trabajos Geotécnicos Específicos.

La ejecución de ciertos trabajos típicamente geotécnicos puede dar lugar, como objetivo principal de los mismos o como complemento de otros (estabilización, refuerzo, contención, etc.), a una mejora de las condiciones de drenaje de las obras, que incluso sólo se pueda obtener por medio de estas técnicas. Entre estos trabajos pueden citarse:

- Pantallas verticales de impermeabilización de bentonita-cemento, hormigón u otros materiales, que aíslan una zona de los flujos de agua subterránea.



- Técnicas de mejora del terreno, que habitualmente procuran el aumento de la capacidad de soporte, la consolidación de los suelos, la corrección de asentamientos y otros aspectos, basándose o llevando aparejada en buena parte de los casos, una mejora de las condiciones de drenaje de los terrenos, como las columnas de grava, los drenes verticales prefabricados o de arena, etc.
- Técnicas de rebajamiento de niveles freáticos, tales como achiques, lanzas de drenaje con vacío interior, que normalmente se aplicarán con carácter temporal, pero que en casos singulares podrán ser permanentes.

Otras técnicas de mejora del terreno que en su aplicación suponen un cambio de los flujos de agua o de las condiciones de permeabilidad, como la electroósmosis, la congelación artificial de suelos y los tratamientos de desagregación del suelo u otros tipos de inyecciones.

Este tipo de trabajos, que no son el objeto de este documento, requieren una definición completa en el proyecto, adaptada a la singularidad de cada caso. (Wikivia: La Enciclopedia de la Carretera).

2.17. Otros Elementos o Sistemas de Drenaje Subterráneo.

En ocasiones, puede resultar conveniente la disposición de otros elementos o sistemas de drenaje diferentes de los indicados en los apartados 2.1 a 2.16. El proyecto deberá justificar la conveniencia y necesidad de su aplicación, efectuar su dimensionamiento y definir cuantos aspectos sean necesarios para permitir la construcción y conservación de dichos elementos o sistemas. Para ello deberá contar con la aprobación de la Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP). En todo caso el proyecto deberá analizar los siguientes aspectos (Wikivia: La Enciclopedia de la Carretera).

- Justificación expresa de la necesidad y adecuación del elemento o sistema propuesto a la problemática planteada.
- Cálculos hidráulicos, mecánicos y cuantos otros pudieran ser necesarios, para garantizar el correcto funcionamiento del elemento o sistema.
- Situación, trazado y puntos de conexión, entronque, desagüe y cambio de dirección en su caso.
- Características de permeabilidad o estanqueidad en su caso, tanto de los elementos como de sus puntos de conexión, entronque, desagüe y cambio de dirección.
- Estabilidad y durabilidad de los materiales, elementos o sistemas de drenaje.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

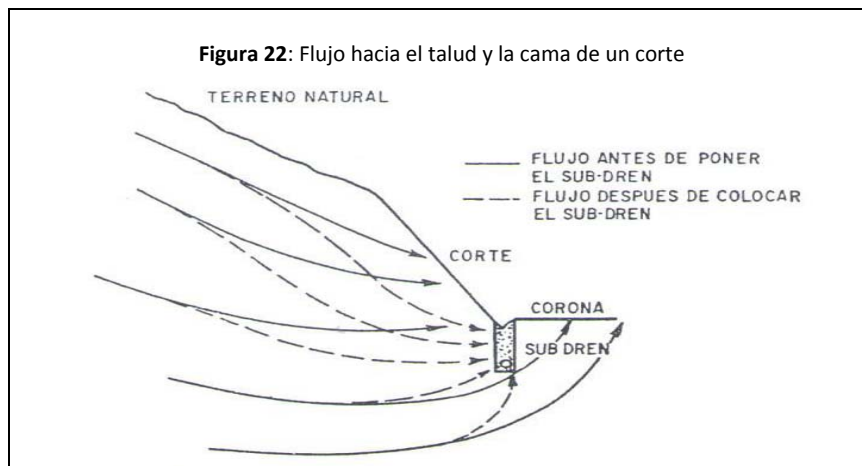
- Propiedades mecánicas y características de los materiales, elementos o sistemas en cuestión. Cuando se trate de sistemas constituidos por unión de elementos individuales, deberán analizarse las características de los elementos aislados y del conjunto, una vez dispuesto en obra.
- Criterios de recepción y almacenamiento de materiales, elementos y sistemas.
- Necesidad de interposición de elementos de separación y filtro, y definición de estos en su caso.
- Procedimientos de puesta en obra y definición de fases constructivas en su caso.
- Donde fuera de aplicación, estabilidad de las obras, tanto de tipo local (de los propios sistemas contruidos), como global (formando parte de otros elementos u obras de mayores dimensiones, tales como taludes en desmonte, rellenos, etc.), antes, durante y después de la ejecución de los trabajos en cuestión.
- Descripción de las principales actividades de conservación.
- Necesidad, tipo y frecuencia de limpieza, mantenimiento y reparaciones.
- Necesidad, tipo y frecuencia de la auscultación, cuando fuera de aplicación

3. SUBDRENAJE LONGITUDINAL

3.1. Consideraciones Especiales

En laderas inclinadas o en terrenos ondulados y montañosos es común que el agua subterránea fluya según la inclinación de la superficie, guardando el nivel freático una configuración similar a la del terreno, si bien usualmente menos accidentada. Cuando en tales casos haya de hacerse una excavación profunda para alojar una vía terrestre, como es el caso de los cortes, se producirá un flujo hacia la excavación que tenderá a saturar los taludes y la cama del corte (ver Figura 22), por ende las principales funciones de los subdrenes longitudinales son las siguientes (Rico Alfonso, 2005).

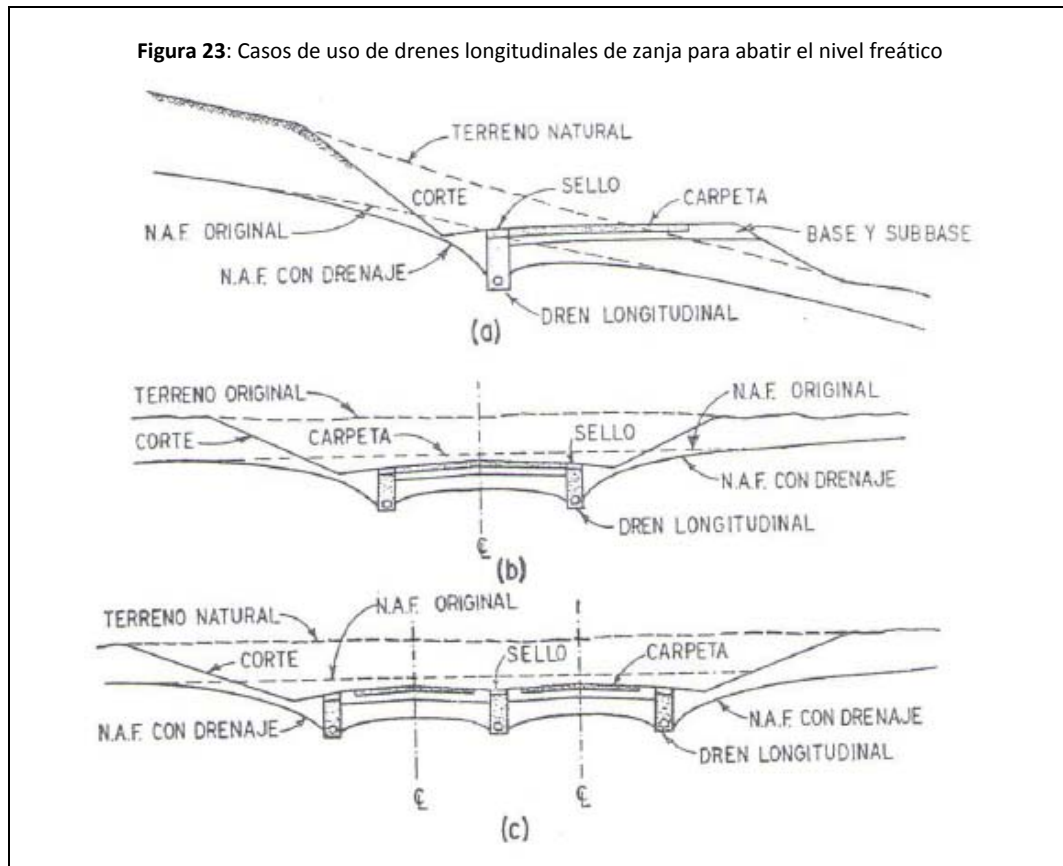
- Abatimiento de un nivel freático.
- Eliminación de aguas de infiltración.
- Derivación de las fuentes de agua situadas debajo de la subrasante.



FUENTE: (Rico Alfonso, 2005).

Este flujo puede ser interceptado por un dren longitudinal de zanja, tal como se puede observar en la figura anterior, en la que se esquematizan las direcciones del flujo antes y después de colocar tal instalación. El efecto del subdren de zanja es en este caso interceptar y eliminar el flujo hacia la cama del corte, en menor escala, disminuir la zona eventualmente saturada en el talud. La mayor parte de los drenes longitudinales que se colocan en carreteras y vías para ferrocarriles tienen tal finalidad, por lo que resulta ser en este caso estructuras cuya principal función es la protección de pavimentos, interceptando un flujo de agua.

Otra utilización muy común de los drenes longitudinales se presenta a continuación (ver Figura 23).

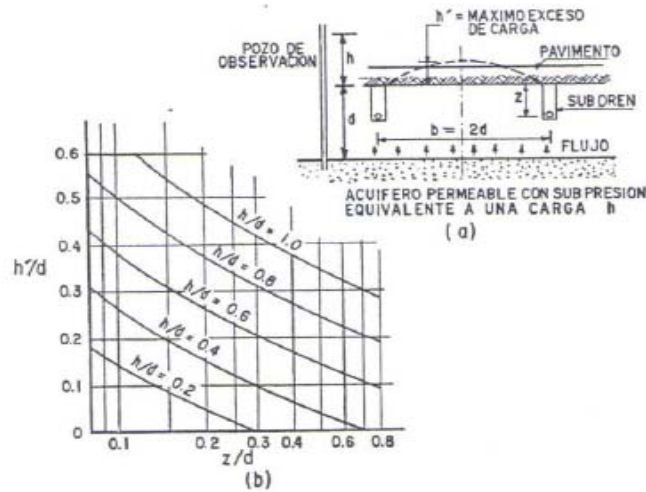


FUENTE: (Rico Alfonso, 2005).

En la Ilustración anterior se puede ver en ellas tres condiciones en que gracias a tales instalaciones se logra dejar un pavimento por encima de un nivel freático que, de otra manera, lo anegaría. Aquí más que interceptar el flujo, la misión del dren es abatir el nivel freático protegiendo así al pavimento. Esta es una necesidad muy frecuente en terrenos planos, con un nivel freático muy próximo a la superficie.

En la Figura 24 se proporciona una relación entre la profundidad de las zanjas y la carga hidrostática que puede generar el agua en la zona comprendida entre dos zanjas paralelas, bajo la vía terrestre. El Esquema se ha calculado a partir de redes de flujo y constituye una solución teórica.

Figura 24: Grafica que relaciona la profundidad del subdren y la carga hidrostática que se puede generar entre dos subdrenes



FUENTE: (Rico Alfonso, 2005).

Cuando la subpresión sea alta, llevan a subdrenes muy próximos o muy profundos. En tales casos suele resultar óptima la combinación de subdrenes longitudinales con capas permeables integradas al pavimento de la vía terrestre, pues estas últimas contribuyen mucho a disipar las presiones que pueden desarrollarse en el agua.

3.2. Elementos Filtrantes.

Todas las obras conectadas con la construcción de vías terrestres, han de hacerse de o sobre suelos o rocas que usualmente contienen agua. Las formaciones rocosas sanas suelen poder drenarse simplemente permitiendo que el agua salga libremente a zonas abiertas, tales como pozos de drenaje o túneles; estos materiales tienen la suficiente cohesión para permitir el paso del agua a su través sin que se produzcan erosiones nocivas. Pero los suelos o las rocas muy intemperizadas pueden ser fácilmente erosionados por las fuerzas que produce el agua al fluir a su través; si estos procesos se permiten sin restricción terminarán por desembocar en verdaderos problemas de erosión interna y tubificación. Así, todas las superficies a través de las que el agua salga al exterior deberán protegerse en los suelos, de manera que el agua pueda aflorar con facilidad, pero buscando también que las partículas del suelo queden en su lugar (Rico Alfonso, 2005).

Los materiales encargados de la doble misión de permitir el paso franco del agua hacia el exterior y de impedir el arrastre de las partículas del suelo protegido se llaman materiales filtro o, simplemente, filtros.



En general, los filtros deben satisfacer dos requerimientos contradictorios:

- 1) Los espacios entre las partículas del filtro en contacto con el suelo por proteger deben ser suficientemente pequeños como para que los finos de aquel no penetren en él.
- 2) Los espacios entre las partículas del filtro deben ser lo suficientemente grandes como para que el conjunto tenga la permeabilidad necesaria para que el agua pueda moverse libremente a su través y fluir rápidamente hacia el exterior, sin generar presiones de poro indeseables (Rico Alfonso, 2005).

Además, vale la pena señalar que un filtro puede ser exclusivamente de material granular o también se puede emplear geotextiles como una capa de transición antes de llegar al suelo subyacente.

3.2.1. Empleo de Agregados Naturales.

Estos materiales naturales cuando son de buena calidad son prácticamente indestructibles y eternos, en comparación a la vida útil de la obra; cuando se colocan convenientemente, tienen magnifico comportamiento tanto como filtros, como en lo que se refiere a la resistencia y a la compresibilidad. Finalmente, son abundantes en la naturaleza, de modo que su obtención y su manipulación suelen ser comparativamente más baratas. Su utilización suele estar combinada con la de tubos manufacturados, perforados o no, los que normalmente proporcionan la canalización y eliminación de las aguas.

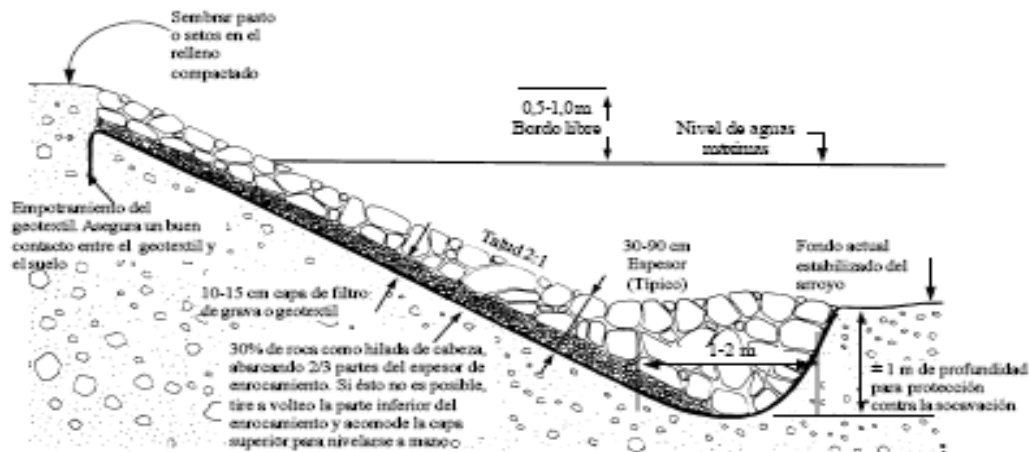
Para cumplir su papel protector de filtro en forma conveniente, los materiales granulares naturales deben cumplir algunos requerimientos básicos que se han ido imponiendo por un efecto combinado de base teórica y, muchas veces, experimental.

Muchos de los requerimientos que se imponen a los materiales de filtro son de naturaleza granulométrica y se refieren a su graduación. Otros muy importantes, tienen que ver con el cuidado en la manipulación y colocación, para evitar contaminaciones y segregaciones. Puede haber también requerimientos de compactación, para reducir la posibilidad de que se presenten cambios en la graduación granulométrica por invasión de finos procedentes del suelo por proteger (Rico Alfonso, 2005).

De manera tradicional se ha usado arena gruesa o grava bien graduada con drenaje libre como material de filtro. Una capa de arena o de grava tiene comúnmente entre 15 y 30 cm de espesor. En algunas aplicaciones entresuelo

fino y fragmentos grandes de roca, se podrán necesitar dos capas de filtro (Gordon, 2004).

Figura 25: Aplicación de una grava o geotextil como filtro



a. Detalle del pie de roca y de la capa de filtro



b. Detalles de la capa de enrocamiento de protección colocado en el fondo del cauce del arroyo.

FUENTE: (Gordon, 2004).

3.2.2. Empleo de Geotextiles.

Los geotextiles tejidos o no tejidos punzonados con aguja se usan generalmente para lograr un filtro entre la roca y el suelo, con lo cual se evita la socavación y el movimiento del suelo. Son relativamente fáciles de instalar bajo la mayoría de las condiciones, halando la tela hasta que quede estirada sobre el área del suelo que se va a proteger antes de proceder a colocar el enrocamiento (ver Ilustración 26). Es necesario que el geotextil tenga un tamaño aparente de abertura de 0.25 y

0.5mm. A falta de mayor información se usa un geotextil no tejido con aguja con peso de 200 gr/m² para muchas aplicaciones de filtración y separación de suelos.

Entre otras aplicaciones comunes de geotextiles o de materiales geosintéticos para caminos, se incluye el refuerzo de la subrasante a fin de reducir el espesor necesario de la capa de agregado colocada sobre suelos muy débiles; la separación del agregado de los suelos blandos de la subrasante; el refuerzo de estructuras terreas como pueden ser muros de retención y rellenos reforzados; y la recolección de sedimentos mediante barreras contra azolves.

En la actualidad los geotextiles son de uso común para proporcionar zonas de filtro entre materiales de diferentes tamaños y granulometrías debido a que resultan económicos, son fáciles de instalar y se comportan bien dentro de una gran variedad de suelos.

Figura 26: Geotextil como respaldo de un contrafuerte de un talud



FUENTE: (Gordon, 2004).

3.2.2.1. Función de los Geotextiles.

El uso de los geotextiles tejidos y no tejidos en los diferentes campos de aplicación puede definirse mediante las funciones que va a desempeñar. A continuación se describen las distintas funciones y aplicaciones que pueden desempeñar los geotextiles, así como las exigencias mecánicas e hidráulicas necesarias para su desarrollo (Monroy, 2010).

a) Función de Separación.

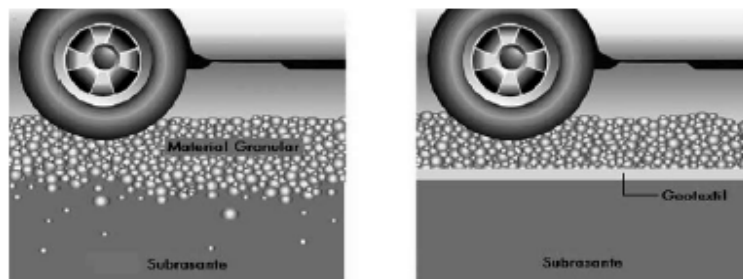
Consiste en la separación de dos capas de suelo de diferentes propiedades geotécnicas (granulometría, densidad, capacidad, etc.) evitando permanentemente

la mezcla de material. De acuerdo con esta función, se presentan las siguientes aplicaciones (Monroy, 2010).

Entre la subrasante y la base de piedra en caminos y pistas de aterrizaje pavimentados.

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

Figura 27: Función de separación con geotextil, evita pérdida de agregados



FUENTE: (PAVCO, 2005).

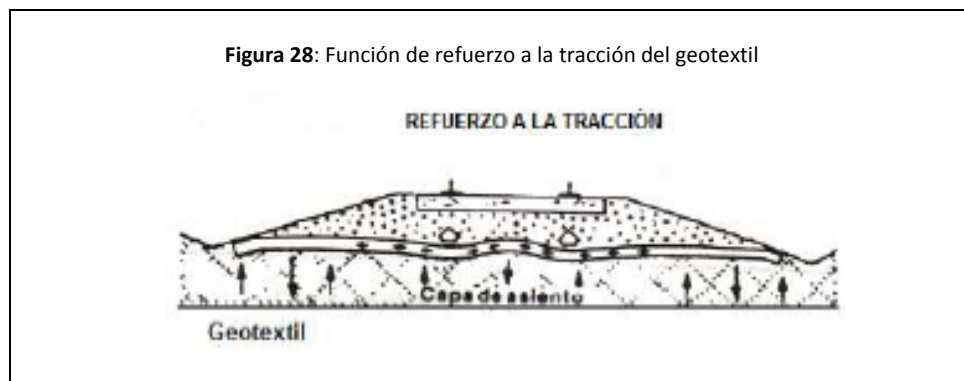
b) Función de Refuerzo.

En esta función se aprovecha el comportamiento a tracción del geotextil para trabajar como complemento de las propiedades mecánicas del suelo, con el fin de controlar los esfuerzos transmitidos tanto en la fase de construcción como en el servicio de las estructuras, entre las principales aplicaciones están las siguientes (Monroy, 2010).

Refuerzo de suelos débiles y otros materiales.

- Para reforzar terraplenes.

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



FUENTE: (PAVCO, 2005).

c) Función de Drenaje.

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

A continuación se referencian las aplicaciones de los geotextiles cumpliendo la función de drenaje (Monroy, 2010):

- Como cubierta de drenaje debajo de un relleno de sobrecarga.
- Como un dren detrás de un muro de retención.
- Como un dren debajo de campos deportivos.
- Como un dissipador de presión de poros en rellenos de tierra.

- En reemplazo de drenes de arena.
- Para disipar el agua de filtración de las superficies de suelo o roca expuestas.

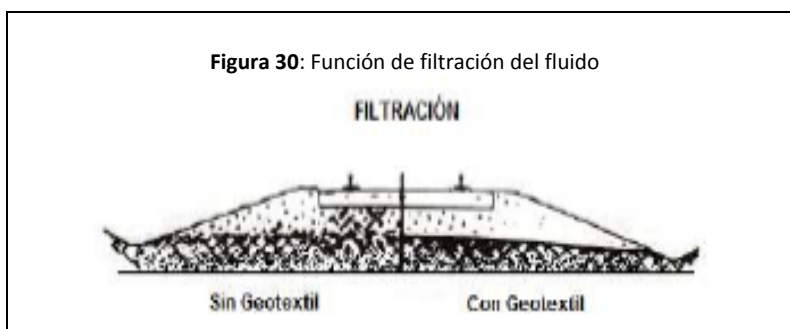


FUENTE: (PAVCO, 2005).

d) Función Filtro.

Esta función impide el paso a través del geotextil de determinadas partículas del terreno (según sea el tamaño de dichas partículas y del poro del geotextil) sin impedir el paso de fluidos o gases. En la práctica se utiliza el geotextil como filtro en muchos sistemas de drenaje. A continuación se referencian las aplicaciones de los geotextiles cumpliendo la función de filtro (Monroy, 2010).

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



FUENTE: (PAVCO, 2005).

e) Función de Impermeabilización.

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

El geotextil debe tener la resistencia y rigidez necesaria para la colocación del mismo, así como la capacidad de deformación suficiente para compensar las tensiones térmicas (Monroy, 2010).

3.2.3. Principales conceptos y conclusiones relativas al diseño de Filtros.

a) Prevención de la erosión interna y de la tubificación.

La primera regla para evitar la tubificación y la erosión interna es que las partículas del suelo no queden expuestas a espacios abiertos cuyo tamaño sea mayor que ellas mismas.

La segunda regla a tomar en cuenta es el sellado de cualquier grieta, juntas de construcción, contacto entre materiales diversos, etc., que pueda haber en los elementos estructurales de que se haga uso en el drenaje general. Además de las reglas antes indicadas, existen criterios de tipo granulométrico en base a la experiencia donde cada uno de los cuales se deben cumplir en lo posible, para con ello garantizar un correcto desempeño de los filtros, cada uno de estos criterios se citara en capítulos posteriores correspondientes al diseño de filtros.

b) Prevención de la obstrucción de perforaciones en tuberías o de fugas de partículas finas del filtro a través de ellas.

En los sistemas de subdrenaje es muy frecuente que en el interior de los filtros haya tubería perforada con huecos circulares o ranurados, con el objeto de recolectar y eliminar rápidamente las aguas. Se plantea la necesidad de que el material del filtro sea lo suficientemente grueso como para que no se fugue a través de tales perforaciones y para que no las obstruya, en base a esto se



precisan ciertos criterios de acuerdo con el U.S Cuerpo de Ingenieros o por el U.S Bureau of Reclamation, donde cada uno de estos se detallaran en capítulos posteriores.

c) Requerimientos de permeabilidad en el material filtro.

Se trata ahora de seleccionar el material del filtro de manera que se garantice suficiente capacidad de descarga como para eliminar rápida y eficazmente las aguas que se colecten, sin que se generen fuerzas de filtración o presiones perjudiciales.

d) Requerimientos de Segregación.

Un peligro siempre presente en la construcción de filtros para subdrenaje es el cambio de las características granulométricas de cualquier mezcla por segregación durante la colocación, para ello se exige, entre otros factores que, la curva granulométrica del material filtrante sea suave, sin discontinuidades que delaten escasez de algún tamaño intermedio, con el mismo objeto se recomienda que el material filtrante se coloque con cierta humedad, si bien cuidando no adoptar una que perjudique la facilidad de lograr una buena compactación.

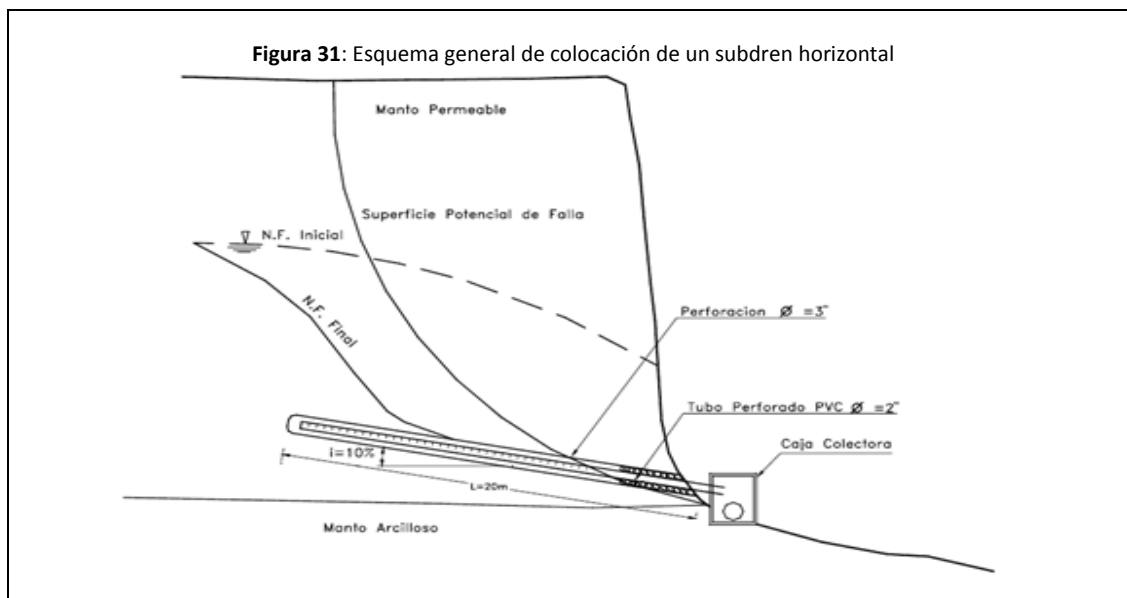
e) Disposición de las perforaciones en tuberías.

Como se ha dicho, es muy común que en los sistemas de subdrenaje haya tubería perforada, embebida dentro del material filtrante. El objetivo del tubo es evidentemente proporcionar una fácil y rápida conducción al agua y el objeto de las perforaciones es permitir el acceso del agua al interior del tubo.

4. SUBDRENAJE HORIZONTAL

4.1 Consideraciones Especiales

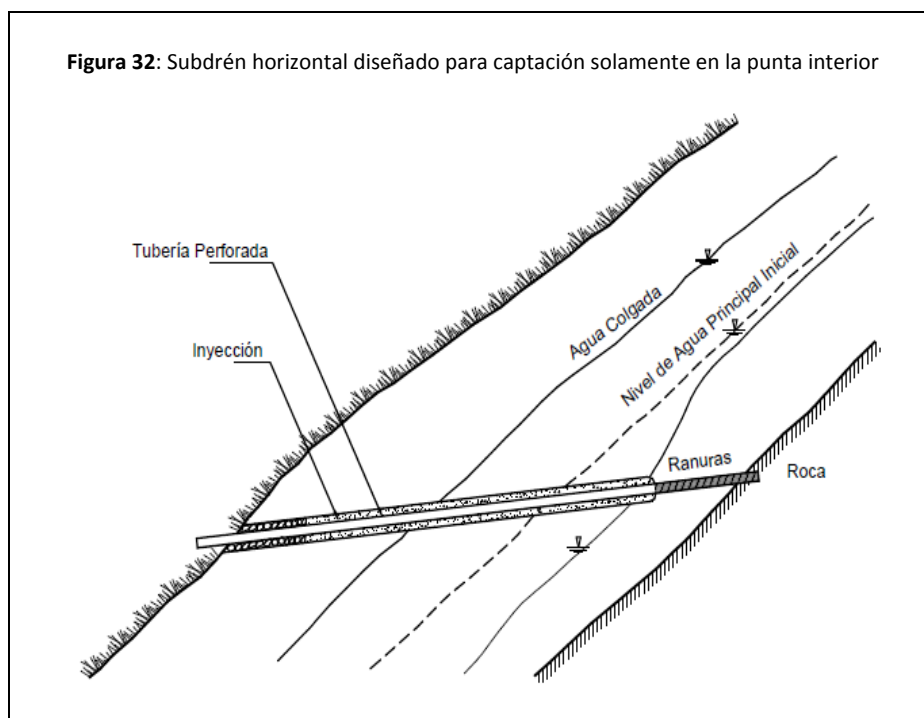
Un subdrén horizontal consiste en una tubería perforada colocada a través de una masa de suelo mediante una perforación profunda subhorizontal o ligeramente inclinada, con la cual se busca abatir el nivel freático hasta un nivel que incremente la estabilidad del talud (Figura 31) (Suárez, Obras de Drenaje y Subdrenaje, 2006).



FUENTE: (Suárez, Obras de Drenaje y Subdrenaje, 2006).

La principal ventaja de los drenes horizontales es que son rápidos y simples de instalar y se puede obtener un aumento importante del factor de seguridad del talud en muy poco tiempo.

El diámetro de las perforaciones es de aproximadamente 70 a 100 milímetros dentro de las cuales se colocan tuberías perforadas. Los tubos utilizados son metálicos, de polietileno o PVC. , generalmente en diámetros 50 ó 70 milímetros, aunque en ocasiones se emplea otro tipo de diámetro. La tubería se puede perforar con agujeros circulares o ranurar en sentido transversal. Los orificios de la tubería se hacen generalmente, en diámetros de 5 a 1.5 milímetros con una densidad de 15 a 30 agujeros por metro de tubería. En ocasiones los subdrenes se diseñan para que recolecten agua solamente en el sector cercano a la punta interior y se inyecta con un impermeabilizante, la longitud restante de tubo (Figura 32). En esta forma se impide que el agua captada se reinfiltre nuevamente en la trayectoria de salida.



FUENTE: (Suárez, Obras de Drenaje y Subdrenaje, 2006).

La longitud de los drenes depende de las necesidades de drenaje. Comúnmente sus longitudes varían de 10 a 40 metros, pero se conoce de drenes instalados de hasta 120 metros de longitud. En general, la longitud requerida puede ser determinada dibujando una sección del talud con su probable círculo de falla superpuesto sobre una sección geológica, en la cual se podrán observar los acuíferos y corrientes de agua presentes. Los drenes deben instalarse de tal manera que abata o se elimine el nivel de agua o la saturación por encima de la superficie potencial de falla (Suárez, Obras de Drenaje y Subdrenaje, 2006).

Las perforaciones se realizan a inclinaciones de 5% al 20% de pendiente de inicio, pero a medida que avanza la perforación el peso de la tubería hace que esta se defleque y poco a poco va disminuyendo ésta pendiente. Después de nivelar el equipo se le da la inclinación y dirección al dren de acuerdo a los datos del estudio geotécnico previo y se inicia la perforación.

Como usualmente este tipo de subdrenaje se realiza en suelos blandos, se requiere emplear una tubería de revestimiento para su perforación, así ocurre con frecuencia la falla de las paredes del filtro y en ocasiones se dificulta la colocación de la tubería de filtro. En los 3 a 6 metros más cercanos al borde del talud se debe emplear tubería no perforada y si es necesario se ancla en concreto 1.0 a 2.0 metros de tubería.



4.2 Observaciones Generales

Debe tenerse presente que el objetivo de los drenes es abatir el nivel de agua y las presiones de poro, no el de proveer caudales importantes de agua. En suelos o rocas de permeabilidad grande o cuando las cabezas de agua son altas (más de 10 metros) su efecto es sorprendentemente eficiente y con unos pocos drenes se logran abatimientos grandes de cabeza y extracción de caudales importantes de agua. Su efectividad es menor en suelos arcillosos especialmente, si la cabeza de presión es pequeña.

En formaciones permeables se pueden obtener caudales de más de 100 litros/minuto para drenes de 40 metros de longitud pero generalmente, en suelos arcillosos los caudales de un dren similar varían de 1 a 10 litros/minuto con abatimiento de algunos centímetros de cabeza por cada dren (Suárez, Obras de Drenaje y Subdrenaje, 2006).

Como los subdrenes horizontales en la mayoría de los casos, no tienen material de filtro que impidan la migración de finos, es común que estos se tapen periódicamente y se requiere un mantenimiento que consiste en: Limpieza de la tubería e Inyección de agua a presión para limpiar los orificios de drenaje y remover las tortas de material sedimentado alrededor de la tubería. Este proceso es llamado “desarrollo del subdrén”. Debe tenerse cuidado de no producir fallas por exceso de presión, en el proceso de desarrollo del sistema de subdrenes. Algunos autores como Holtz y Schuster (1996) recomiendan realizar mantenimiento de los drenes cada cinco a ocho años, donde existan materiales finos que se puedan sedimentar o raíces que puedan crecer dentro del dren.

4.3 Incertidumbres en el Diseño de Subdrenes Horizontales

La mayoría de las incertidumbres en el diseño, están relacionadas con el desconocimiento de detalles de estructuras geológicas que determinan el sistema de drenaje interno del agua subterránea. Los drenes horizontales son eficientes cuando los niveles freáticos se encuentran por encima del pie del talud, en suelos algo permeables.

La eficiencia de los subdrenes es muy baja en las gravas o suelos de permeabilidad muy alta en los cuales el abatimiento del nivel freático es mínimo y en los suelos arcillosos intactos, en los cuales no hay efecto directo de los subdrenes sobre las presiones internas. Igualmente, ocurre con alguna frecuencia que el dren horizontal no intercepte materiales lo suficientemente permeables para obtener el efecto deseado sobre la estabilidad del talud. En los deslizamientos profundos con superficie de falla circular es difícil abatir suficientemente los niveles freáticos para obtener efectos significativos sobre los factores de seguridad.



4.4 Diseño de Subdrenes de penetración

Para la ubicación de los drenes se recomienda hacer previamente un estudio geotécnico para determinar las características del régimen de aguas subterráneas. Es importante la ubicación de piezómetros abiertos de control que permiten medir el abatimiento del nivel de agua y le dan al Ingeniero información sobre la necesidad o no de colocar más subdrenes.

Existen algunas metodologías de diseño para determinar el espaciamiento entre drenes entre los cuales se encuentran los métodos de Choi (1977), Prellwitz (1978), Kenney (1977). Sin embargo, estas metodologías tienen poca aplicabilidad por cuanto no tienen en cuenta los parámetros geológicos y tratan el suelo como un elemento homogéneo. Aplicando el diseño de Kenney utiliza la fórmula de Kozeny para calcular el espaciamiento o separación entre subdrenes (Suárez, Obras de Drenaje y Subdrenaje, 2006).

La aplicabilidad de esta fórmula no es muy confiable en todos los casos y comúnmente se hace la ubicación con base en experiencias anteriores en el mismo material o con el monitoreo permanente de piezómetros, durante la instalación de subdrenes.

Otro procedimiento consiste en colocar una hilera de subdrenes a un espaciamiento predeterminado y colocar drenes intermedios adicionales, de acuerdo al comportamiento de los niveles freáticos en el talud. Como espaciamiento inicial generalmente, se recomienda la mitad de la longitud total de cada dren (Suárez, Obras de Drenaje y Subdrenaje, 2006).

Este tipo de subdrenes no tienen aplicación en el presente trabajo de campo, por lo que no se dará mayor énfasis al mismo.



5. DISEÑO DE SUBDRENAJE

5.1. Geotextiles.

El filtro evita una excesiva migración de partículas de suelo y simultáneamente permite el paso del agua, lo anterior implica que el geotextil debe tener una abertura aparente máxima adecuada para retener el suelo, cumpliendo simultáneamente con un valor mínimo admisible de permeabilidad, que permita el paso del flujo de una manera eficiente. Para llegar a la selección del geotextil no solo hay que tener en cuenta lo anterior, sino además la resistencia a la colmatación, supervivencia y durabilidad (Monroy, 2010).

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. Los principales problemas de las telas filtrantes corresponden a su baja resistencia a la exposición a los rayos solares, los cuales las descomponen, a las altas temperaturas y a ciertos químicos (Suárez, Control de aguas superficiales y subterráneas, 2006).

5.1.1. Tipos de geotextiles.

A continuación se presentan los tipos de geotextiles existentes (Monroy, 2010).

5.1.1.1. Geotextiles Tejidos.

Los geotextiles tejidos fueron los primeros en ser desarrollados y representan casi una cuarta parte de los geotextiles usados en el mundo. Dentro de los geotextiles se pueden especificar diferentes modalidades:

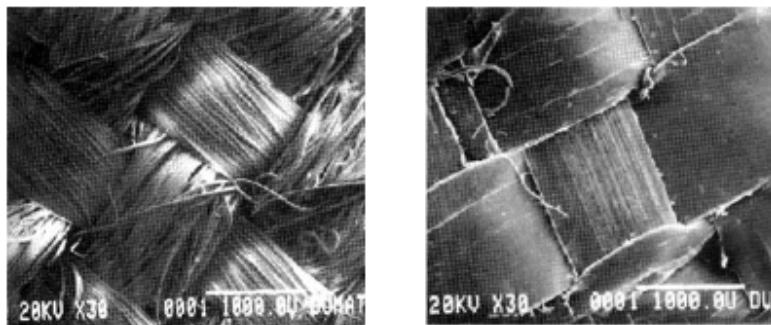
a) Geotextil Tejido Plano.

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

b) Geotextil Tejido Canasta.

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

Figura 33: Vista macroscópica de algunos tipos de geotextiles tejidos



FUENTE: (PAVCO, 2005).

5.1.1.2. Geotextiles no tejidos.

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

a) Geotextiles no tejidos ligados mecánicamente o punzonados por agujas.

Se forman a partir de un entrelazado de fibras o filamentos mezclados aleatoriamente, conformando lo que se denomina velo o napa. Este tipo de geotextiles tienen buenas características mecánicas manteniendo en parte el espesor de la napa el cual les confiere mayor estructura tridimensional, gran elongación (pueden estirarse desde un 40% hasta un 120% o más, antes de entrar en carga de rotura) lo que les proporciona muy buena adaptabilidad a las desuniformidades de los terrenos, unas excelentes propiedades para protección, (suele denominarse efecto colchón) y muy buenas funciones de filtración y separación.

b) Geotextiles no tejidos ligados termosoldados.

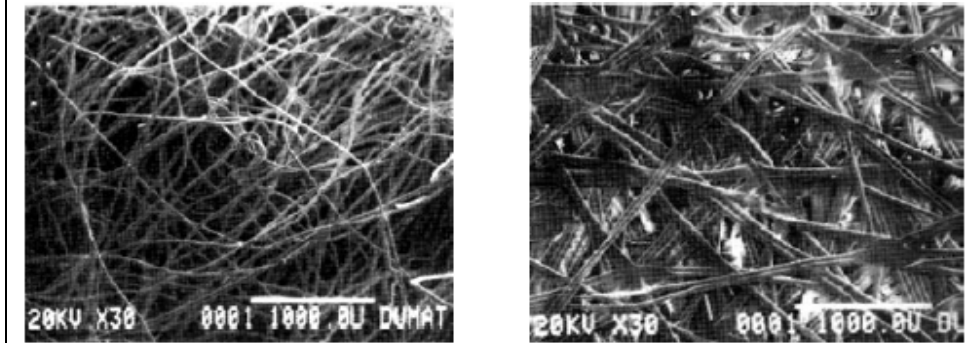
Su espesor y su elongación son sensiblemente inferiores a la de los agujados, por lo cual su transmisividad y permeabilidad son menores, tienen buenas propiedades mecánicas y poca flexibilidad (son algo rígidos).

c) Geotextiles no ligados químicamente o resinados.

La unión entre sus filamentos se consigue incorporando ligantes químicos o resinas. Este sistema no se utiliza para la fabricación de geotextiles de protección y separación, puesto que en su composición (de los de protección) deben evitarse elementos químicos distintos a los polímeros que pudiesen alterar sus

propiedades y provoquen incompatibilidades químicas con otros materiales con los que pudiese estar en contacto. Su empleo está muy poco extendido debido a su elevado costo.

Figura 34: Vista macroscópica de geotextiles no tejidos



FUENTE: (PAVCO, 2005).

5.2. Diseño de un sistema de subdrenaje.

Para lograr el buen diseño de un subdrenaje, se debe tener en cuenta cuatro aspectos fundamentales:

1. Establecer el sitio o los sitios más convenientes en donde se requieran captar los fluidos.
2. Estimar el caudal más crítico, para una longitud de diseño, el cual es la sumatoria de los caudales de aporte, que provienen del agua subterránea y del agua infiltrada. El agua de infiltración proviene de aguas de lluvia, que se infiltra directamente a través de la carpeta del pavimento a través del suelo aledaño al tramo de vía en consideración.
3. Dimensionar la sección transversal del subdrenaje capaz de conducir la suma de los caudales de aporte, con una velocidad de evacuación adecuada, y por ende establecer el número de geo-redes necesarias para conducir dicho caudal.
4. Tener un buen sistema de filtración, lo cual asegura una mayor vida útil del sistema de drenaje y por consiguiente de la estructura del pavimento.
5. Establecer el sistema de evacuación de los líquidos que capta el geodren. Es necesario que este sistema sea un tubo especial para drenaje.



5.2.1. Estimación del Caudal de Diseño.

Para diseñar subdrenes laterales en una vía, se debe considerar primero la distancia entre alcantarillas, o los sitios donde los subdrenes realizan la descarga del agua. Para establecer las distancias de los tramos de los subdrenes, se debe tener en cuenta que cada tramo conserve, en lo posible, características similares o condiciones geométricas de la vía similar (PAVCO, 2005).

Los posibles caudales de aporte, que conforman el caudal final, los cuales pueden afectar la estructura de un pavimento son:

- El caudal generado por la infiltración de agua lluvia: el agua lluvia cae directamente en la carpeta del pavimento. Una parte de esta inevitablemente se infiltra en la estructura del pavimento debido a que las carpetas de pavimento, tanto rígidos como flexibles, no son impermeables.
- El caudal generado por abatimiento del nivel de agua subterránea. En sitios donde se encuentre nivel freático a una altura tal, que afecte la estructura del pavimento, es necesario abatir este nivel de manera que no genere inconvenientes por exceso de agua.
- El caudal proveniente de escorrentía superficial.

5.2.1.1. Caudal por Infiltración.

El caudal de infiltración se calcula de la siguiente forma:

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

Dónde:

I_R : Precipitación máxima horaria de frecuencia anual, registrada en la zona del proyecto (mm).

B: Para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la vía (ancho de la vía/2). Para el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes (cm).

L: Longitud del tramo de drenaje (cm).

F_i : Factor de infiltración (Ver tabla 1).

F_R : Factor de retención de la base, refleja el hecho de que las bases, dada su permeabilidad, entregan lentamente el agua al subdren. (Ver tabla 2).



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tabla 1: Valores recomendados para Fi

TIPO DE CARPETA	Fi
Carpetas asfálticas muy bien conservadas	0.3
Carpetas asfálticas normalmente conservadas	0.4
Carpetas asfálticas pobremente conservadas	0.5
Carpetas de concreto de cemento Portland	0.67

FUENTE: (PAVCO, 2005).

Tabla 2: Valores recomendados para FR

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

FUENTE: (PAVCO, 2005).

5.2.1.2. Caudal por abatimiento del nivel freático.

El cálculo de este caudal se basa en los siguientes parámetros:

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

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

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

Dónde:

K: Coeficiente de permeabilidad del suelo adyacente (cm/seg).

i: Gradiente hidráulico.

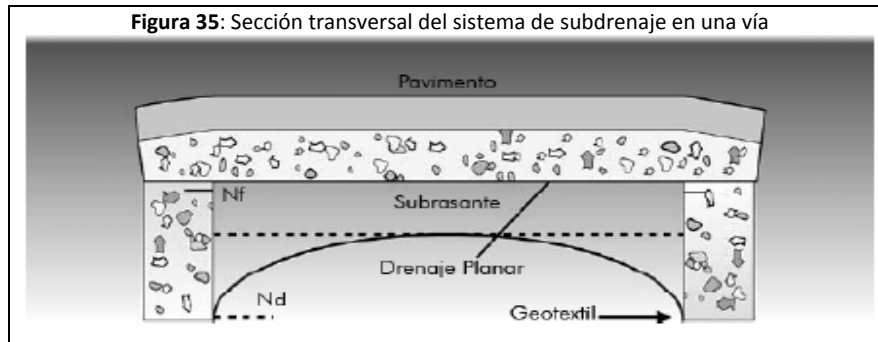
N_d : Cota inferior del subdren (cm). (Ver Figura 35).

N_f : Cota superior del nivel freático (cm). (Ver Figura 35).

A_a : Área efectiva para el caso de abatimiento del nivel freático (cm²).

B: Para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la vía. Para el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes (cm).

L: Longitud del tramo de drenaje (cm).



FUENTE: (PAVCO, 2005).

Una vez estimados los caudales de aporte al sistema se obtiene el caudal de diseño:

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

Cabe recalcar que el caudal por abatimiento del nivel freático en la mayoría de los casos se presenta a los dos lados de la sección transversal del subdren, el caudal de diseño (Q_{NF}) debe ser duplicado.

5.2.1.3. Caudal por escorrentía Superficial.

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

5.2.2. Dimensionamiento de la sección transversal.

Teniendo el caudal final Q_T , el cual es la suma de los caudales calculados, se realiza el siguiente procedimiento (Monroy, 2010):

$$Q_T = V * i * A$$

Dónde:

Q_T : Caudal total (cm³/seg).

V: Velocidad de flujo, la cual depende de la pendiente longitudinal y del tamaño del agregado usado en el subdren (cm/seg) (Ver Figura 36).

i: Gradiente hidráulico que para el caso de subdrenes es 1.



A: Área de la sección transversal del subdren, normalmente se fija el ancho y se despeja su altura (cm²).

Una vez obtenida la sección transversal del subdren, se puede calcular su perímetro. La longitud de desarrollo del geotextil corresponde al perímetro más el traslape (0.25-0.35m).

Para el caso que se requiera aumentar la eficiencia de los subdrenes es recomendable usar tubería perforada, forrada con geotextil, dentro del subdren, de esta manera se aumenta la eficiencia de drenaje, permitiendo el paso a un caudal mayor en una misma sección transversal. El diámetro de la tubería 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:

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

Dónde:

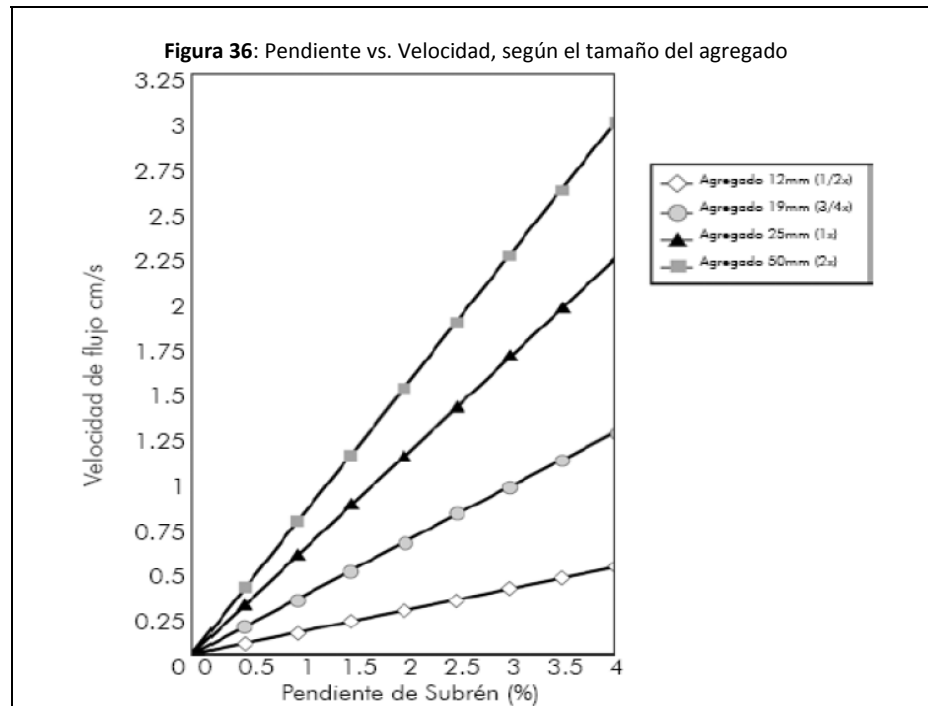
Q_T : Caudal total (cm³/seg).

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

A: Área del tubo(cm²).

R: A/P, (Área total/ Perímetro total), a tubo lleno.

S: Pendiente del subdren.



FUENTE: (PAVCO, 2005).

5.2.3. Determinación del tipo de geotextiles a usar en el filtro.

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

- a. **Criterio de Retención:** Permite determinar el tamaño de las aberturas del geotextil para que sean lo suficientemente pequeñas y evitar la migración del suelo hacia el medio drenante o a donde se dirige el flujo.

De acuerdo con lo establecido en “*Geotextiles Engineering Manual*” de la *Federal Highway Administration* (FHWA) (Holtz R.; Barry C. ; Berg R., 1998) y basados en los criterios de retención, un geotextil debe cumplir con la siguiente condición:

$$\theta_{95} < D_{95} * B$$

Dónde:

θ_{95} : Tamaño de abertura aparente, dato suministrado por el fabricante. Corresponde a la abertura de los espacios libres (en milímetros). Se obtiene tamizando unas esferas de vidrio de diámetros conocidos, cuando el 5% de un tamaño determinado de esferas pasa a través del geotextil, se define θ_{95} . Ensayo ASTM D4751.



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

B : Coeficiente que depende del tipo de suelo a filtrar en contacto con el geotextil y de las condiciones de flujo, varía entre 1 y 3.

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

$$C_u \leq 2 \text{ o } \geq 8 \Leftrightarrow B = 1$$

$$2 < C_u \leq 4 \Leftrightarrow B = 0.5 * C_u$$

$$4 < C_u < 8 \Leftrightarrow B = 8/C_u$$

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

Para tejidos: $B=1$, entonces: $\theta_{75} < D_{85} * B$

Para no tejidos: $B=1.8$, entonces: $\theta_{75} < D_{85} * 1.8$

Dónde: $\theta_{75} = 0.150\text{mm}$.

b. Criterio de Permeabilidad: Es la propiedad hidráulica por medio de la cual el geotextil permite un adecuado paso de flujo perpendicular al plano del mismo, para revisar la permeabilidad del geotextil se debe tener en cuenta lo siguiente:

1. Para condiciones de flujo estable o flujo laminar y suelos no dispersivos, con porcentajes de finos no mayores al 50% y de acuerdo con el criterio que debe de cumplir los geotextiles, este valor debe ser:

$$K_g > K_s$$

Dónde:



K_g : Permeabilidad del geotextil= $36 \cdot 10^{-3}$ cm/sg.

K_s : Permeabilidad del suelo.

2. Para condiciones de flujo crítico, altos gradientes hidráulicos y buscando un correcto desempeño a largo plazo reduciendo riesgo de colmatación se recomienda usar (Holtz R.; Barry C. ; Berg R., 1998):

$$K_g > 10 \cdot K_s$$

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

- c. Criterio de colmatación:** La colmatación resulta cuando partículas finas de suelo penetran dentro del geotextil, bloqueando sus canales de poros o cuando son depositadas del lado aguas arriba del geotextil, produciendo una reducción significativa de la permeabilidad. Por lo tanto, el geotextil debe tener un porcentaje mínimo de espacios vacíos.

Los geotextiles con una mayor resistencia a la colmatación, son los geotextiles no tejidos punzonados por agujas, en los cuales el riesgo a que se taponen gran parte de sus orificios es muy bajo debido al espesor que poseen y a los altos valores de porosidad que presentan.

Los geotextiles tejidos tienen baja porosidad y el riesgo de colmatación muy alto, con la consecuencia de una pérdida súbita en la permeabilidad. Razón por la cual no se recomienda usar como filtros en sistemas de subdrenaje. Los geotextiles usados como medios filtrantes deben tener una porosidad $> 50\%$ (Holtz R.; Barry C. ; Berg R., 1998).

En aplicaciones críticas o en proyectos que involucren suelos muy finos se recomienda realizar ensayos de colmatación con los suelos del sitio; la norma que describe este ensayo es la ASTM 5101-90.

- d. Criterio de Supervivencia:** El geotextil en el proceso de instalación y a lo largo de su vida útil puede estar sometida a unos esfuerzos, en los cuales deben ser soportados por el mismo, de tal manera que no afecten drásticamente sus propiedades físicas, hidráulicas y físicas.

El geotextil debe tener unos valores mínimos de resistencia mecánica con el objeto que soporte las actividades de instalación y manipulación. Estas propiedades son: resistencia a la tensión, resistencia al punzonamiento, resistencia al estallido y resistencia al rasgado.



Tabla 3: Rango de algunas propiedades representativas de geotextiles utilizadas para filtro

Geotextil	Resistencia a la Tensión (KN/m)	Elongación Máxima (%)	Caudal de Flujo (l/m2/seg)	Peso Unitario (g/m3)
TEJIDOS				
Monofilamento	20 a 80	5 a 35	25 a 2000	150 a 300
Hilo	40 a 800	5 a 30	20 a 80	250 a 1300
Cinta	8 a 90	15 a 20	5 a 15	100 a 250
NO TEJIDOS				
Punzonado	7 a 90	50 a 80	25 a 200	150 a 2000
Fundido	3 a 25	20 a 60	25 a 150	70 a 350
Con Resina	4 a 30	30 a 50	20 a 100	130 a 800

FUENTE: (Brauns & U., 1993).

- e. Criterio de Durabilidad:** Los geotextiles por ser un material fabricado de polipropileno, no son biodegradables, son altamente resistentes al ataque químico como a los lixiviados.

No se recomienda el uso de los geotextiles como filtros en sitios donde vayan a quedar expuestos a los rayos ultravioleta por un tiempo prolongado. Donde por razones de instalación y funcionamiento los geotextiles estén expuestos al ataque de los rayos ultravioleta, estos deberán estar fabricados por compuestos, que les proporcionen una alta resistencia a la degradación UV.

Tabla 4: Propiedades mecánicas del geotextil según especificaciones AASHTO M-288-05

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

FUENTE: (PAVCO, 2005).



5.2.4. Tasa de Flujo.

En el caso en donde los geotextiles sean usados como recubrimiento de tubos que a su vez se encuentren en un medio drenante en espaldones de estructuras de contención que involucren suelos de alta permeabilidad o en general cuando se usan como medios filtrantes para grandes caudales, se debe revisar la cantidad de flujo volumétrico que puede pasar por unidad de área (tasa de flujo), en el plano normal al geotextil, frente a la gran cantidad de flujo granulométrico a evacuar por metro lineal. Para lo cual se realiza el siguiente procedimiento:

$$\psi = k/t$$

Dónde:

ψ : Permitividad (s^{-1}).

k: Permeabilidad del Geocompuesto (m/s).

t: Espesor del geotextil, frente a la cantidad de flujo granulométrico a evacuar por metro lineal.

1. Teniendo el caudal que se requiere pasar por el filtro, el cual es el caudal calculado por metro lineal de subdren, se calcula la permitividad requerida del geotextil, haciendo uso de la ecuación de Darcy.

$$Q = K * l * A$$

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

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

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

Dónde:

k/t= Permitividad requerida del geotextil, $\psi_{requerida}$

Q: Caudal a evacuar calculado por metro lineal (teniendo el caudal final y la longitud del tramo en consideración (Q/L)).

Δh = Cabeza Hidráulica, que es igual a la altura del subdrenaje.

A= Área por unidad de Longitud.

H= Altura del subdren.

L= Longitud del tramo de drenaje en consideración.



- Calcular la permitividad disponible, la cual se obtiene de la permitividad entregada por el fabricante (Norma ASTM D4491), dividida por unos factores de seguridad (ver tabla 5).

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

- Calcular el factor de seguridad final.

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

Tabla 5: Factores de seguridad de geotextiles de drenaje

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

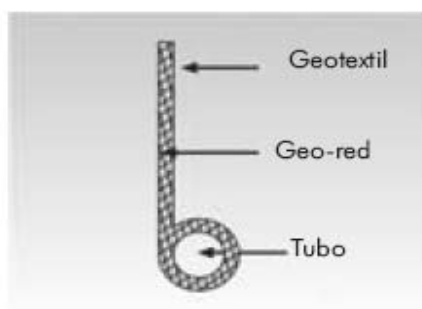
FUENTE: (PAVCO, 2005).

La tasa de flujo también se puede revisar, teniendo el caudal a evacuar por metro cuadrado y el caudal capaz de dejar el geotextil por metro cuadrado.

5.2.5. Diseño del número de geo-redes necesarias.

Las geo-redes son el medio poroso encargado de conducir los fluidos que pasan a través del filtro. Entonces se debe revisar el número de geo-redes necesarias y capaces de conducir el flujo en su plano. En la mayoría de los casos una sola geo-red es suficiente.

Figura 37: Diagrama de un geodren con tubo



FUENTE: (PAVCO, 2005).

Se debería revisar la cantidad de flujo volumétrico que puede pasar por unidad de área (transmisividad) en el plano de la geo-red (transmisividad $q = k \cdot t$, donde k y t son la permeabilidad y el espesor de la geo-red), frente a la cantidad de flujo volumétrico a evacuar por metro cuadrado. Para lo cual se realiza el siguiente procedimiento:

1. Teniendo el caudal que se requiere captar, se calcula la transmisividad requerida de la geo-red, haciendo uso de la ecuación de Darcy.

$$Q = K \cdot i \cdot A$$

$$Q = K \cdot i \cdot (W \cdot t)$$

$$Q = (K \cdot t) \cdot i \cdot W$$

$$K \cdot t = q = Q / (i \cdot W)$$

$$q_{\text{requerida}} = Q / (i \cdot W)$$

Dónde:

q : Transmisividad requerida.

Q : Caudal total estimado.

i : Gradiente hidráulico.

W : Ancho de la geo-red. (Longitud del sistema de drenaje).



2. Evalúe la transmisividad disponible, la cual se obtiene con base en el dato suministrado por el fabricante (Norma ASTM D4716), dividida por unos factores de seguridad correspondientes a la tabla 5.

$$q_{\text{disponible}} = q_{\text{fabricante}} / (FS_{\text{IN}} * FS_{\text{CR}} * FS_{\text{CC}} * FS_{\text{BC}})$$

3. Calcule el factor de seguridad final:

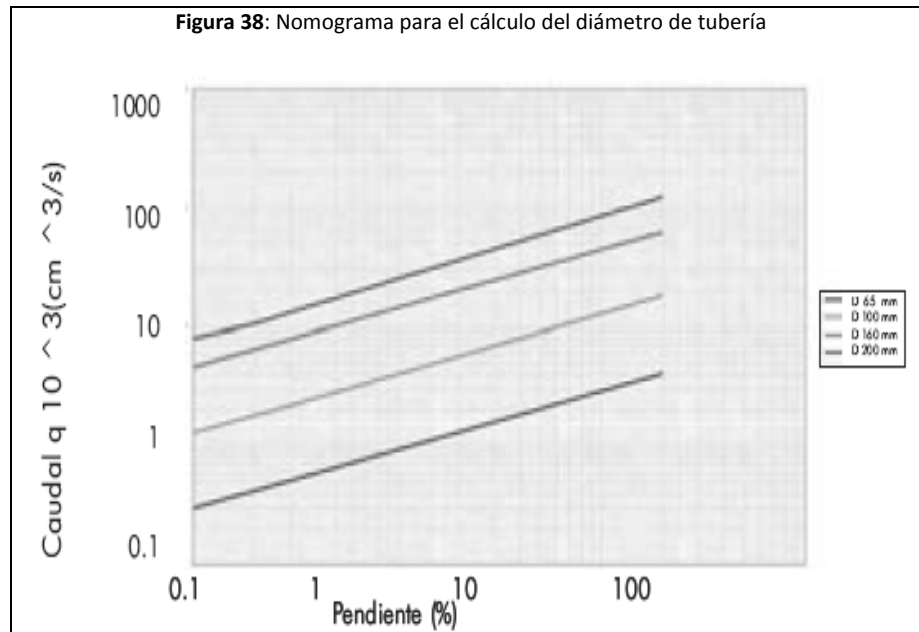
$$FS = q_{\text{disponible}} / q_{\text{requerida}}$$

Donde, FS debe ser mayor 1, de no ser así se debe aumentar el número de geo-redes. Al aumentar el número de geo-redes, $q_{\text{disponible}}$ se multiplica por el número de geo-redes que se tenga.

5.2.6. Establecer el sistema de evacuación de los líquidos que capta el geodren.

Una vez los fluidos son captados se deben evacuar. Para establecer el tipo y el diámetro de la tubería se deben revisar dos aspectos:

1. Que el tubo tenga la capacidad de absorber o recibir el caudal de diseño por cada metro lineal.
2. Que el tubo tenga la capacidad de conducir la totalidad del caudal de diseño.
3. Para estimar el caudal máximo que puede transportar el tubo se estableció un nomograma con base en la ecuación de PrandtlColebrook, Figura 38. En donde conociendo la pendiente y el caudal de diseño se puede establecer el diámetro de la tubería a usar (PAVCO, 2005):



5.2.7. Diseño de filtros.

El criterio que debe primar en el diseño del filtro es el proteger que el agua que fluye hacia el exterior lo haga libremente, a la vez que impida la fuga de las partículas finas del suelo. Para que esto tenga lugar, según Terzaghi y Casagrande, deben cumplirse las siguientes condiciones:

a) Prevención de la erosión interna y de la turificación.

$$\frac{D_{15} \text{ del filtro}}{D_{85} \text{ del suelo}} < 4 \text{ o } 5 < \frac{D_{15} \text{ del filtro}}{D_{15} \text{ del suelo}}$$

Al cumplir la primera desigualdad se dirá que no hay arrastre de las partículas finas del suelo hacia los huecos del material filtrante.

La segunda desigualdad garantiza la permeabilidad del filtro suficientemente para que no se desarrollen en los esfuerzos importantes de filtración o presiones de paso indeseables.

Estudios posteriores sugirieron normas adicionales para prevenir el arrastre de finos y proteger el filtro, como la sugerida por el U.S. Army Corps of Engineers:

$$\frac{D_{50} \text{ del filtro}}{D_{50} \text{ del suelo}} \leq 25$$



b) Prevención de la obstrucción de perforaciones en tuberías o de fugas de partículas finas del filtro a través de ellas.

Para que se cumpla este requerimiento el U.S Corps of Engineers da los siguientes criterios:

$$\frac{D_{85} \text{ del filtro}}{\text{Ancho de la ranura}} > 1.2$$

Para perforaciones circulares:

$$\frac{D_{85} \text{ del filtro}}{\text{Diámetro del agujero}} > 1$$

c) Requerimientos de permeabilidad en el material del filtro.

En general debe buscarse que los filtros sean por lo menos 20 o 25 veces más permeables que el suelo por proteger. Este requerimiento en cuanto a coeficiente de permeabilidad deberá complementarse dotando al filtro de una descarga suficientemente libre hidráulicamente hablando, pues es relativamente común que instalaciones de filtros muy costosas y eficientes queden parcialmente anuladas por salidas defectuosas, en las que se ponen obstáculos al agua. Este problema merece particular atención en capas drenantes bajo pavimentos o en capas rompedoras de capilaridad, en estos casos los problemas de salida pueden ser graves.

d) Requerimientos de Segregación.

Se proporciona la siguiente regla:

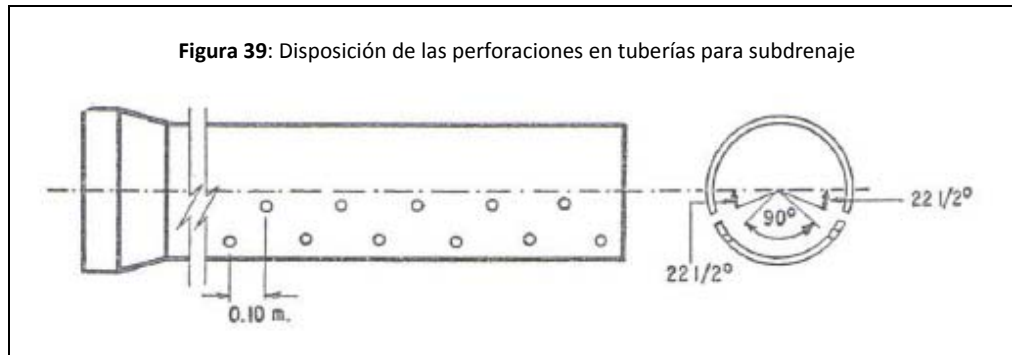
$$\frac{D_{60} \text{ del filtro}}{D_{10} \text{ del filtro}} \leq 20$$

Adicionalmente se exige que la curva granulométrica del material filtrante sea suave, sin discontinuidades que delaten escasez de algún tamaño intermedio. Con el mismo objeto se recomienda que el material filtrante se coloque con cierta humedad, si bien cuidando no adoptar una que perjudique la facilidad de lograr una buena compactación.

e) Disposición de las perforaciones en tuberías.

No conviene perforar la parte superior del tubo, pues ello favorecería la entrada de partículas finas del material filtro, tampoco conviene colocar perforaciones en la parte más baja del tubo, pues se propiciaría la salida del agua captada, cuando su velocidad disminuya o cuando se tenga un gasto bajo.

En la mayor parte de las instalaciones de subdrenaje se utiliza tubería de 10 a 20 cm de diámetro, frecuentemente el tubo es de concreto, pero pudieran usarse otros materiales, si así lo sugiriera una conveniencia económica. Las perforaciones, sujetas a las reglas que han quedado establecidas, suelen tener diámetros del orden de 5 a 10mm. (Ver Figura 39).



FUENTE: (Rico Alfonso, 2005).

En las Especificaciones Generales de Construcción MOP 001 F, establece dos clases para el material de filtro, que se presenta a continuación:

Tabla 6: Especificaciones generales de construcción

CLASE 1			
TAMIZ		PORCENTAJE PASA	
		TIPO A	TIPO B
2"	50.4 mm	—	100
1 1/2 "	38.1 mm	—	95-100
3/4"	19.0 mm	100	50-100
1/2"	12.7 mm	95-100	—
3/8"	9.5 mm	70-100	15-55
No. 4	4.75 mm	0-55	0-25
No. 8	2.36 mm	0-10	0-5
No. 200	0.075 mm	0-3	0-3
CLASE 2			
1"	25.4 mm	100	
3/4"	19.0 mm	90-100	
3/8"	9.5 mm	40-100	
No. 4	4.75 mm	25-40	
No. 8	2.36 mm	18-33	
No. 30	0.60 mm	5-15	
No. 50	0.30 mm	0-7	



No. 200	0.075 mm	0-3
---------	----------	-----

5.2.8. Diseño de subdrenes de zanja.

El diseño de subdrenes de zanja tiene por objeto determinar los siguientes elementos:

- Profundidad y ancho de la zanja.
- Espaciamiento entre zanjas.
- Localización en planta de los subdrenes.
- Material filtrante y especificaciones.
- Calculo de caudales colectados.
- Sistemas de recolección y entrega.

Para el diseño de los subdrenes de zanja se pueden combinar procedimientos empíricos y analíticos, los cuales basados en modelos matemáticos y en función de la experiencia del constructor pueden establecer el tipo más adecuado de subdren en función de las condiciones del medio. No se detalla a profundidad este tipo de diseño, pues en el tramo de vía objeto de estudio no se ve la necesidad de colocarlos.

5.2.9. Empleo de Geomembranas.

Las geomembranas son telas impermeables elaboradas con geosintéticos cuya principal función es la de impedir o prevenir el paso de fluidos. Las primeras geomembranas fueron hechas de arcilla, pero posteriormente se observaron ciertos problemas con ese material, ya que al disminuir su humedad o al existir movimientos sísmicos, la arcilla se fracturaba y perdía la contención. Debido a esto, fue necesario recurrir a materiales sintéticos, como el hule butilo y PVC. Posteriormente se introdujo el polietileno de alta y baja densidad como principal materia prima para las geomembranas.

El uso de geomembranas de polietileno presenta diversas ventajas, como una eficiente retención de varios compuestos químicos, enorme resistencia a la luz ultravioleta, entre otras. Además las geomembranas de polietileno de baja y alta densidad son capaces de resistir agentes químicos y residuos peligrosos, evitando que el suelo o manto freático se contaminen. Este tipo de geomembranas tienen una aplicación generalizada en agricultura, construcción y minería como elemento de contención de líquidos. Además pueden ser usadas como revestimiento en pilas de lixiviación, depósitos, canales, embalses, estanques de almacenamiento, entre otros.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

También se han utilizado geomembranas de PVC, polipropileno y de asfalto. El método constructivo, generalmente consiste en excavar zanjas con retroexcavadora, colocar la geomembrana y rellenar nuevamente con el material excavado. El espesor de la tela varía de 30 a 100 “mils”. Un “mil” equivale a una milésima de pulgada. Por lo general, si se utiliza tela de 30 “mils” ésta se coloca doble. Si se emplea tela de mayor espesor, puede colocarse en una capa sencilla.

Se debe tener cuidado de que no se rompa la geomembrana durante la colocación y que los traslapes sean completamente impermeables. Es común que se presenten fugas de agua en las pantallas de geomembrana y que la mayoría de esas pantallas no sean 100% impermeables.



6. APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE SUBDRENAJE A LA VIA LA TRANCA – EL TAMBO VIEJO

Por medio de la formulación dada en el Capítulo 5, se realizó el correspondiente Diseño del Subdrenaje vial de la Vía La Tranca – El Tambo Viejo.

6.1 Granulometría

Inicialmente se obtuvo los valores necesarios para el diseño a partir de la Granulometría. Cabe recalcar que dicha granulometría fue proporcionada por el Ingeniero Tutor Cristian Coello, para lo cual se proporcionó dos muestras tomadas en el sector, para con ello posteriormente realizar el análisis respectivo.

En el Anexo 1 (pág. 78) se presenta un análisis detallado de cada muestra granulométrica.

MUESTRA A, abscisa: 0+000.00 - 1+715.00

Tabla 7: Resultados obtenidos a partir de la Muestra A

Tamaño de las partículas que corresponde al 85% del suelo que pasa al ser tamizado.	D85=	10.47	mm
Tamaño de las partículas que corresponde al 60% del suelo que pasa al ser tamizado.	D60=	4.39	mm
Tamaño de las partículas que corresponde al 50% del suelo que pasa al ser tamizado.	D50=	1.90	mm
Tamaño de las partículas que corresponde al 15% del suelo que pasa al ser tamizado.	D15=	0.22	mm
Tamaño de las partículas que corresponde al 10% del suelo que pasa al ser tamizado.	D10=	0.08	mm
Permeabilidad del Suelo:	K=	0.00085	cm/sg
Coeficiente de uniformidad:	Cu=	58.37	

MUESTRA B, abscisa: 1+715.00 - 3+590.00

Tabla 8: Resultados obtenidos a partir de la Muestra B

Tamaño de las partículas que corresponde al 85% del suelo que pasa al ser tamizado.	D85=	16.06	mm
Tamaño de las partículas que corresponde al 60% del suelo que pasa al ser tamizado.	D60=	4.81	mm
Tamaño de las partículas que corresponde al 50% del suelo que pasa al ser tamizado.	D50=	2.06	mm
Tamaño de las partículas que corresponde al 15% del suelo que pasa al ser tamizado.	D15=	0.25	mm
Tamaño de las partículas que corresponde al 10% del suelo que pasa al ser tamizado.	D10=	0.17	mm
Permeabilidad del Suelo:	K=	0.0085	cm/sg
Coeficiente de uniformidad:	Cu=	28.77	



6.2 Precipitación de diseño

Para la obtención de este valor, tomamos los datos proporcionados por el INAHMI para la Estación ubicada en Cañar y basada en la Función Gumbel, para con esto determinar la precipitación de diseño para un periodo de retorno de 25 años. En el Anexo 2, se detalla el cálculo respectivo para la obtención de la Precipitación de Diseño.

Tabla 9: Tabla de Obtención de la Precipitación de diseño

T(X)	F(X)	X
5	0.8	28.2
10	0.9	32.6
20	0.95	36.8
25	0.96	38.2
50	0.98	42.3
100	0.99	46.4
Precipitación de diseño:	Pmax 25 años=	38.2
		mm

6.3 Diseño del Subdrenaje Vial

Luego de obtenidos los resultados, como se indicó en los puntos 6.1 y 6.2, se procede en primer lugar a realizar una visita de campo, en el Anexo 5 se detalla el resumen fotográfico de la misma, posteriormente en el plano topográfico se detallan los tramos por los que irá el sistema de subdrenaje (Ver Tabla 10).



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tabla 10: Tabla de Resumen para la colocación del subdren

ABSCISA	LONGITUD	PENDIENTE	UBICACIÓN DEL SUBDREN.	N°
0+480.00	0+095.00	-13.64%	Un solo lado de la vía.	1
0+575.00				
0+575.00	0+110.00	11.33%	Un solo lado de la vía.	2
0+685.00				
0+685.00	0+135.00	4.63%	Un solo lado de la vía.	3
0+820.00				
0+820.00	0+040.60	1.41%	Un solo lado de la vía.	4
0+860.60				
0+860.60	0+079.40	12.17%	Un solo lado de la vía.	5
0+940.00				
1+715.00	0+105.00	-8.38%	Dos lados de la vía.	6
1+820.00				
1+820.00	0+100.00	-2.95%	Dos lados de la vía.	7
1+920.00				
1+920.00	0+190.00	-2.83%	Dos lados de la vía.	8
2+110.00				
2+470.00	0+100.00	-5.79%	Dos lados de la vía.	9
2+570.00				
2+570.00	0+242.00	-5.79%	Dos lados de la vía.	10
2+812.00				
2+812.00	0+068.00	-2.15%	Dos lados de la vía.	11
2+880.00				
2+880.00	0+102.00	-9.67%	Dos lados de la vía.	12
2+982.00				
2+982.00	0+098.00	-9.67%	Dos lados de la vía.	13
3+080.00				
3+080.00	0+095.00	-5.21%	Dos lados de la vía.	14
3+175.00				
3+368.00	0+222.00	-10.39%	Dos lados de la vía.	15
3+590.00				

Una vez analizados y establecidos cada uno de los tramos donde se colocara el sistema de subdrenaje, se procede a realizar el respectivo diseño. En el Anexo 3 se detalla inicialmente todos los resultados necesarios correspondientes a cada uno de los tramos establecidos, y en el Anexo 6 se detalla el plano con el subdrenaje vial para la Vía La Tranca – El Tambo Viejo. De acuerdo con la normativa del MTOP (normativa utilizada en el Ecuador), por razones económicas y en busca de una mejor trabajabilidad, los 15 tramos antes indicados se resumen en los 3 tramos (ver tablas 11, 12 y 13).

Tabla 11: Tabla de Resumen para el Tramo 1



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tramo 1			
Sección transversal del subdren.			
Ancho de la sección transversal:	a=	60	cm
Profundidad del subdren:	H=	120	cm
Características del geotextil.			
Tamaño de la abertura	Ø95=	28.90	mm
Permeabilidad del Geotextil:	Kg=	0.0085	cm/sg
Tipo de Geotextil:	No Tejido		
Longitud de Desarrollo del geotextil:	Lt=	390	
Porosidad del geotextil:	51%		
Características del material filtro.			
	D85F=	63	mm
	D60F=	50	mm
	D50F=	37.5	mm
	D15F=	4.75	mm
	D10F=	3	mm
Diámetro de la Tubería:	Ør=	110	mm
Abscisas			
INICIO	FIN	LONGITUD (m)	
0+480.00	0+575.00	95	
0+575.00	0+685.00	110	
0+685.00	0+820.00	135	
0+820.00	0+860.60	40.6	
0+860.60	0+940.00	79.4	
Longitud Total=		460	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tabla 12: Tabla de Resumen para el Tramo 2

Tramo 2			
Sección transversal del subdren.			
Ancho de la sección transversal:	a=	60	cm
Profundidad del subdren:	H=	160	cm
Características del geotextil.			
Tamaño de la abertura	Ø95=	18.8	mm
Permeabilidad del Geotextil:	Kg=	0.0085	cm/sg
Tipo de Geotextil:	No Tejido		
Longitud de Desarrollo del geotextil:	Lt=	470	cm
Porosidad del geotextil:		51%	
Características del material filtro.			
	D85F=	50	mm
	D60F=	37.5	mm
	D50F=	37.5	mm
	D15F=	12.5	mm
	D10F=	2	mm
Diámetro de la Tubería:	Ør=	110	mm
Abscisas			
INICIO	FIN	LONGITUD (m)	
1+715.00	1+820.00	105	
1+820.00	1+920.00	100	
1+920.00	2+110.00	190	
2+470.00	2+570.00	100	
2+570.00	2+812.00	242	
2+812.00	2+880.00	68	
2+880.00	2+982.00	102	
2+982.00	3+080.00	98	
Longitud Total=		1005	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tabla 13: Tabla de Resumen para el Tramo 3

Tramo 3			
Sección transversal del subdren.			
Ancho de la sección transversal:	a=	60	cm
Profundidad del subdren:	H=	160	cm
Características del geotextil.			
Tamaño de la abertura	$\emptyset 95=$	18.8	mm
Permeabilidad del Geotextil:	Kg=	0.0085	cm/sg
Tipo de Geotextil:	No Tejido		
Longitud de Desarrollo del geotextil:	Lt=	390	cm
Porosidad del geotextil:	0.51		
Características del material filtro.			
	D85F=	50	mm
	D60F=	37.5	mm
	D50F=	37.5	mm
	D15F=	12.5	mm
	D10F=	2	mm
Diámetro de la Tubería:	$\emptyset r=$	160	mm
Abscisas			
INICIO	FIN	LONGITUD (m)	
3+080.00	3+175.00	95	
3+368.00	3+590.00	222	
Longitud Total=		317	

Es importante hacer notar que el tamaño determinado para el material filtro, no se asumió al azar, estos valores fueron corroborados por la normativa fijada por el MOP (Especificaciones Generales para la Construcción MOP 001F, ver tabla 6).

A continuación se presenta las secciones transversales del subdrenaje vial, diseñadas para cada uno de los tramos anteriores mencionados.

Figura 40: Sección transversal de 0.6 x 1.2 con Φ 110mm.

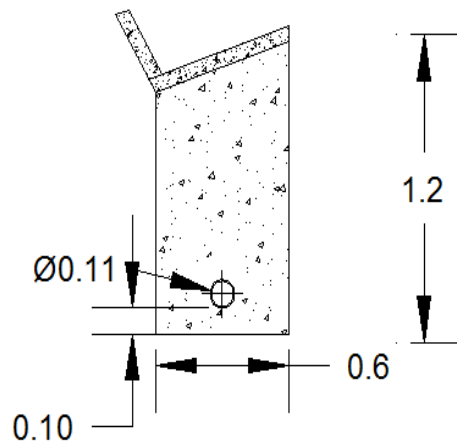


Figura 41: Sección transversal de 0.6 x 1.6 con Φ 110mm.

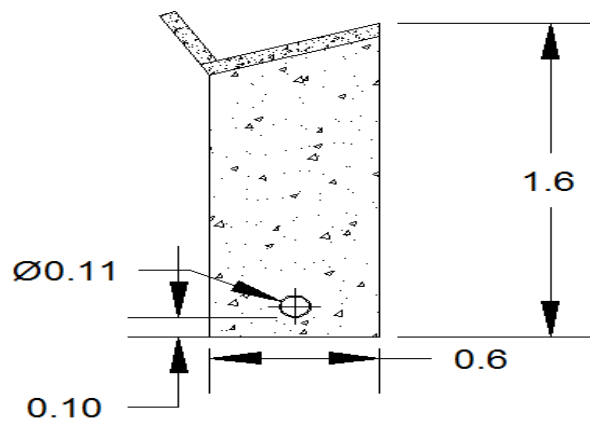
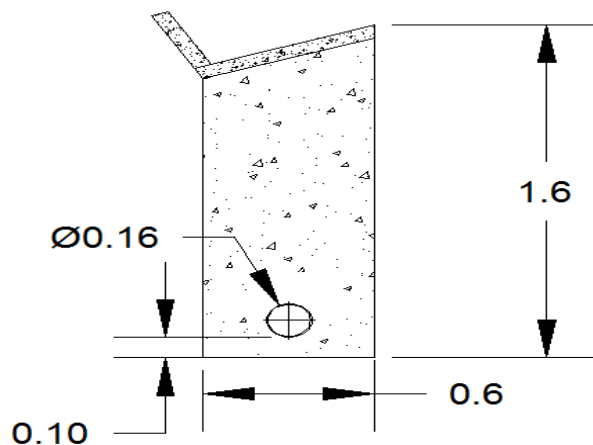


Figura 42: Sección transversal de 0.6 x 1.6 con Φ 160mm.



Todos los cálculos del diseño se encuentran contenidos en el Anexo 7.

6.4 Cantidades de Obra

A continuación se detalla las Cantidades de Obra obtenidas para el Subdrén a utilizar en el Diseño. En el Anexo 4 se detalla el Análisis de Precios Unitarios.

Tabla 14: Tabla de Cantidades de Obra

CANTIDADES DE OBRA.					
Subdrenaje					
Material	Ancho (m)	Longitud (m)	Altura (m)	Area (m ²)	Volumen (m ³)
Tubería perforada PVC de 110mm		1465			
Tubería perforada PVC de 160mm		317			
Geotextil para subdren (sección 60x120).	3.9	460		1794	
Geotextil para subdren (sección 60x160).	4.7	1322		6213.4	
Material filtrante (sección 60x120).	0.6	460	1.2		331.2
Material filtrante (sección 60x160).	0.6	1322	1.6		1269.12

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



- La instalación de subdrenes es de gran importancia para la preservación de una vía, pues permite interceptar el agua subterránea, agua de infiltración e incluso la conducción de aguas de escorrentía superficial.
- Luego de una adecuada inspección y análisis de la zona de estudio, se vió la necesidad de colocar subdrenaje longitudinal a lo largo de ciertos tramos de la vía, cabe recalcar que en determinados sectores se encuentra estrictamente necesario colocar subdrenes a los dos lados de la carretera, debido a que se trata de una zona casi plana lo cual permite el acceso de agua por los dos lados de la vía.
- Con la ejecución de este proyecto se puede concluir además que, zonas de menor pendiente requieren de un sistema de subdrenaje con una sección mucho más grande, debido al incremento del caudal aportante por áreas drenantes (encausamientos).
- La existencia de una estación pluviométrica en la ciudad de Cañar facilitó la ejecución de este trabajo, pues permite establecer a través de una serie de datos históricos, la precipitación máxima 24 horas, de una forma más precisa y por ende semejante a las condiciones actuales del sector.
- Para la ejecución de este tipo de trabajos, es recomendable tener un análisis granulométrico más detallado, pues de este factor depende el tipo de material filtro a colocar, y por supuesto la efectividad del sistema de subdrenaje colocado en la zona.
- Como se puede observar en el anexo 5, la vía presenta poco mantenimiento, es decir, las cunetas se encuentran tapadas, alcantarillas en mal estado, ausencia de alcantarillas, no existen cunetas de coronación, etc., lo cual dificulta el drenaje en la vía y por consiguiente causa el deterioro de la misma; en tal caso es recomendable mejorar cada una de las condiciones antes indicadas y con ello tratar de optimizar el funcionamiento de esta carretera.
- Para optimizar el funcionamiento del sistema de subdrenaje, se recomienda la colocación de obras de drenaje superficial tales como, cunetas de coronación, drenes en espina de pescado, etc., y con ello reducir el caudal aportante al subdrenaje.
- Con la elaboración del presente trabajo es conveniente indicar o hacer notar la importancia que tiene un sistema de subdrenaje dentro de las carreteras, si bien es cierto, en un principio todos coinciden en que un subdrenaje es conveniente y beneficioso, sin embargo este tiene un costo y muchas de las



veces es bastante elevado, razón por la cual se lo omite con mucha frecuencia, cabe recalcar la importancia que este sistema tiene por tanto independientemente del costo se lo debe colocar si las condiciones del medio así lo requieren.

- Debido a las condiciones topográficas del sector, no se vio la necesidad de colocar geomembranas pues no se necesita impermeabilizar ciertos sectores para el encausamiento del agua superficial.
- Es importante hacer notar que para los tramos donde se requiera considerar un caudal de escorrentía superficial, este será mínimo pues en su mayor parte dicho caudal será captado por obras de drenaje superficial, además, para el diseño de este sistema de subdrenaje se considera un nivel freático sobre la subrasante, lo cual en caso de existir caudal de escorrentía superficial por efecto de saturación este será evacuado directamente hacia las cunetas.
- Una recomendación muy importante, es que en el caso de existir subdrenes en la vía los mismos deben mantenerse siempre operando en buenas condiciones, debido a que la vida del pavimento y en general de toda vida depende de ello.
- Para el diseñador, solo en ciertas circunstancias resulta obvio la colocación del subdrén pero en realidad en la etapa de construcción de la vía es en dónde se puede determinar con mayor precisión.
- Por lo general una falla de los subdrenes o en la operación de los mismos se manifiesta por una saturación y consiguiente reblandecimiento del terreno seguida por un afloramiento del agua.
- Hoy en día los subdrenes contruidos están conformados por una zanja rodeada de una tela tipo geotextil, rellena con suelo permeable y dentro del mismo se coloca una tubería filtrante de plástico, hormigón simple o asbesto cemento.
- Muchas de las veces, uno de los problemas que suelen presentar los subdrenes luego de colocados y de un cierto tiempo de puesto en servicio, es que no se saben dónde se encuentran y cuáles son sus trazados, por lo que su única referencia son las obras en dónde descargan, por lo que se recomienda establecer sistemas de referencia adecuados que permitan en cualquier momento, replantear la posición exacta de estas obras.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Las raíces son uno de los principales enemigos de los subdrenes, pues suele crecer en su interior, en ocasiones atravesar hacia los tubos y también la colmatación del material permeable. La obstrucción que provoca las raíces puede removerse en caso de que esta se detectada a tiempo pero en cuanto se constata la colmatación sólo queda reemplazar completamente la obra, por lo que implica una pérdida económica total de la misma. Para verificar en realidad el origen de la falla se debe proceder a excavar en algunas secciones del subdrén.
- En función del caudal y la pendiente de la vía, se estableció un diámetro mínimo de tubería de 90mm, sin embargo, debido a que en el mercado el diámetro comercial es de 110mm, se asumió este valor para los tramos correspondientes.

Abscisas		
INICIO	FIN	LONGITUD (m)
1+715.00	1+820.00	105
1+820.00	1+920.00	100
1+920.00	2+110.00	190
2+470.00	2+570.00	100
2+570.00	2+812.00	242
2+812.00	2+880.00	68
2+880.00	2+982.00	102
2+982.00	3+080.00	98

- El diámetro máximo de tubería es de 160mm, el cual se coloca específicamente en aquellos tramos donde el flujo de agua es directo a la vía (zonas planas), donde para su diseño es necesaria la consideración a más del caudal de infiltración y el del nivel freático, un caudal de escorrentía superficial.

Abscisas		
INICIO	FIN	LONGITUD (m)
3+080.00	3+175.00	95
3+368.00	3+590.00	222

De acuerdo con las condiciones del sector, su topografía, presencia de nivel freático y demás variables el tramo de mayor longitud de subdrenaje considerado dentro de la vía es de 242m, el cual corresponde a una zona relativamente plana, donde por lo general hay encausamientos y presencia



UNIVERSIDAD DE CUENCA

de caudales bastante elevados, además de no existir zonas de desagüe cercanas.

- En el presente trabajo se establecieron dos tipos de secciones, en su mayor parte corresponden a 60cmx120cm, y en sectores determinados secciones de 60cmx160cm, con lo cual se puede observar que el subdrenaje se colocara directamente debajo de las cunetas existentes, y por otra parte la profundidad esencialmente varía debido a las condiciones topográficas y por ende al caudal existente en la zona.



8. BIBLIOGRAFIA

- Brauns, J., & U., S. (1993). *Filters in geotechnical and hydraulic engineering*. Rotterdam.
- Carreteros: Recomendaciones para el proyecto y construcción del drenaje subterráneo en obras de carretera*. (2003). Obtenido de <http://www.carreteros.org>
- Choi, E. (1977). Seepage around horizontal drains-two and three dimensional finite element analysis. *Hong Kong Engineer*, 5(9), 35-39.
- Gordon, K. y. (2004). Guía de campo para las mejores prácticas de administración de caminos rurales. En K. y. Gordon, *Ingeniería de Caminos Rurales*. México.
- Holtz R. D., S. R. (1996). Stabilization of soil slopes. *Landslides investigation and mitigation*, 439-473.
- Holtz R.; Barry C. ; Berg R. (1998). *Federal Highway Administration*. Virginia.
- Kenney, T. C. (1977). Design of horizontal drains for soils slopes. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 103, 1311-1323.
- Monroy, F. J. (2010). *Diseño de sistemas de subdrenaje con elementos filtrantes en obras viales*. Guatemala.
- PAVCO. (2005). *Funciones y Aplicaciones de Geotextiles*. Obtenido de www.pavco.com.co
- Prellwitz, R. W. (1978). Analysis of parallel drains for highway cut - slope stabilization. *Proceedings of the sixteenth Annual Engineering Geology and Soils Engineering Symposium*, 153-480.
- Rico Alfonso, D. C. (2005). El subdrenaje en las vías terrestres. En D. C. Rico Alfonso, *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas* (pág. 805). Mexico: LIMUSA.
- Suárez, J. (2006). Control de aguas superficiales y subterráneas. En J. Suárez, *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes*. México.
- Suárez, J. (2006). Obras de Drenaje y Subdrenaje. En J. Suárez, *Deslizamientos: Técnicas de Remediación*. México.
- Wikivia: *La Enciclopedia de la Carretera*. (s.f.). Obtenido de <http://www.wikivia.org>

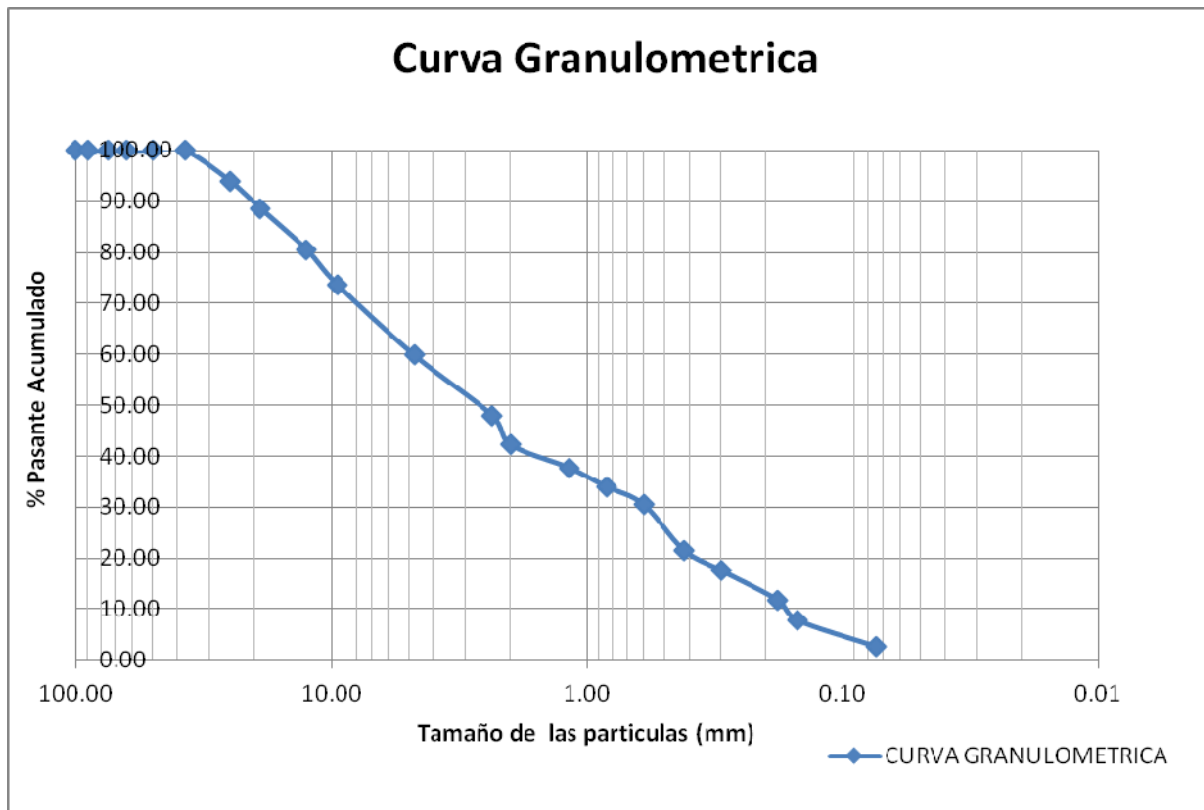


ANEXO 1: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MUESTRA A Y MUESTRA B.

Análisis Granulométrico de la Muestra A

MUESTRA A, abscisa: 0+000.00 - 1+715.00

TAMIZ		Peso Retenido Parcial	Peso Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado
ASTM (pulg)	mm					
4	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3 1/2	90.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3	75.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2	63.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2	37.50	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1	25.00	99.80	99.80	5.93	5.93	94.07
3/4	19.00	90.50	190.30	5.38	11.31	88.69
1/2	12.50	137.10	327.40	8.15	19.46	80.54
3/8	9.50	115.00	442.40	6.84	26.30	73.70
N°4	4.75	233.50	675.90	13.88	40.17	59.83
Pasa el N°4						
N°8	2.36	198.23	874.13	11.78	51.96	48.04
N°10	2.00	98.00	972.13	5.82	57.78	42.22
N°16	1.18	76.28	1048.41	4.53	62.32	37.68
N°20	0.84	62.85	1111.26	3.74	66.05	33.95
N°30	0.60	58.91	1170.17	3.50	69.55	30.45
N°40	0.42	148.99	1319.16	8.86	78.41	21.59
N°50	0.30	68.34	1388	4.06	82.47	17.53
N°80	0.18	98.00	1486	5.82	88.29	11.71
N°100	0.15	67.23	1553	4.00	92.29	7.71
N°200	0.074	87.00	1640	5.17	97.46	2.54
Pasa el N°200		42.70	1682.43	2.54	100.00	0.00
Total		1682.43		100.00		



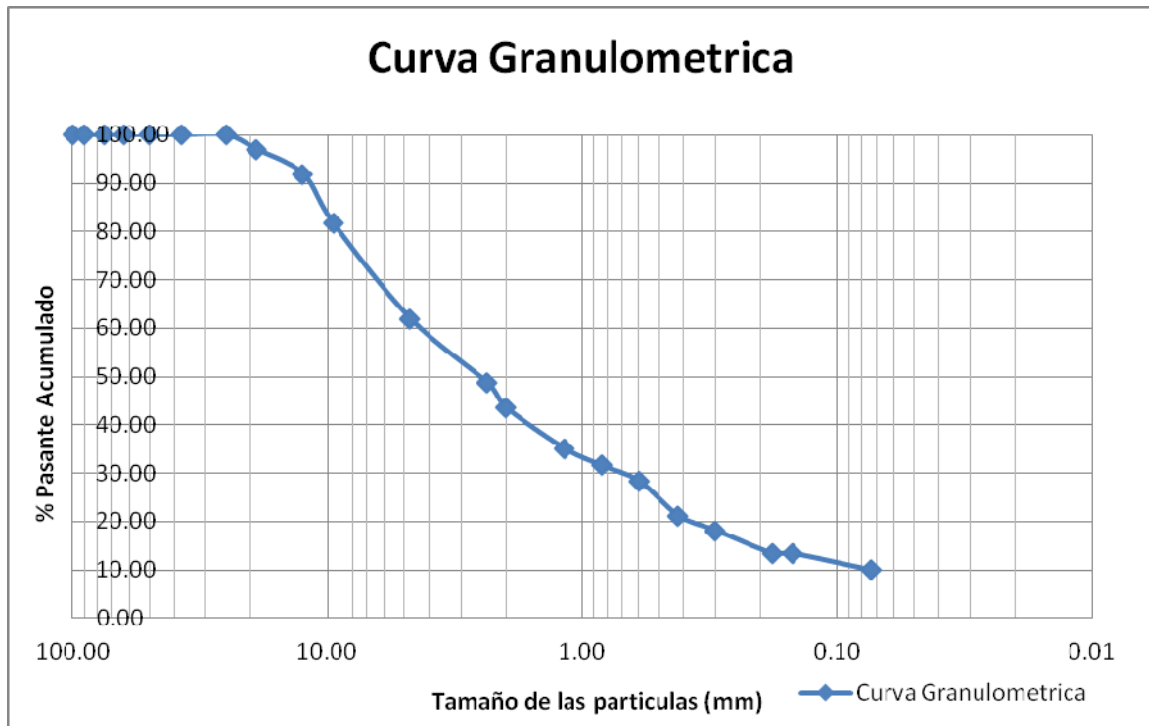


UNIVERSIDAD DE CUENCA

Análisis Granulométrico de la Muestra B

MUESTRA B, abscisa: 1+715.00 - 3+590.00

TAMIZ		Peso Retenido Parcial	Peso Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado
ASTM (pulg)	mm					
4	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3 1/2	90.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3	75.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2	63.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2	37.50	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4	19.00	16.00	16.00	3.00	3.00	97.00
1/2	12.50	27.00	43.00	5.05	8.05	91.95
3/8	9.50	54.80	97.80	10.26	18.31	81.69
N°4	4.75	105.20	203.00	19.69	38.00	62.00
Pasa el N°4						
N°8	2.36	71.28	274.28	13.34	51.35	48.65
N°10	2.00	27.00	301.28	5.05	56.40	43.60
N°16	1.18	45.30	346.58	8.48	64.88	35.12
N°20	0.84	19.00	365.58	3.56	68.44	31.56
N°30	0.60	17.25	382.83	3.23	71.67	28.33
N°40	0.42	38.48	421.31	7.20	78.87	21.13
N°50	0.30	16.14	437	3.02	81.89	18.11
N°80	0.18	25.30	463	4.74	86.63	13.37
N°100	0.15	0.00	462.8	0.00	86.63	13.37
N°200	0.074	18.32	481.1	3.43	90.06	9.94
Pasa el N°200		53.12	534.2	9.94	100.00	0.00
Total		534.19		100.00		





ANEXO 2: PRECIPITACIÓN DE DISEÑO.

En la siguiente tabla se presentan una serie de datos históricos proporcionados por una estación pluviométrica existente en la ciudad de Cañar, a través de estos valores se estableció la precipitación de diseño.

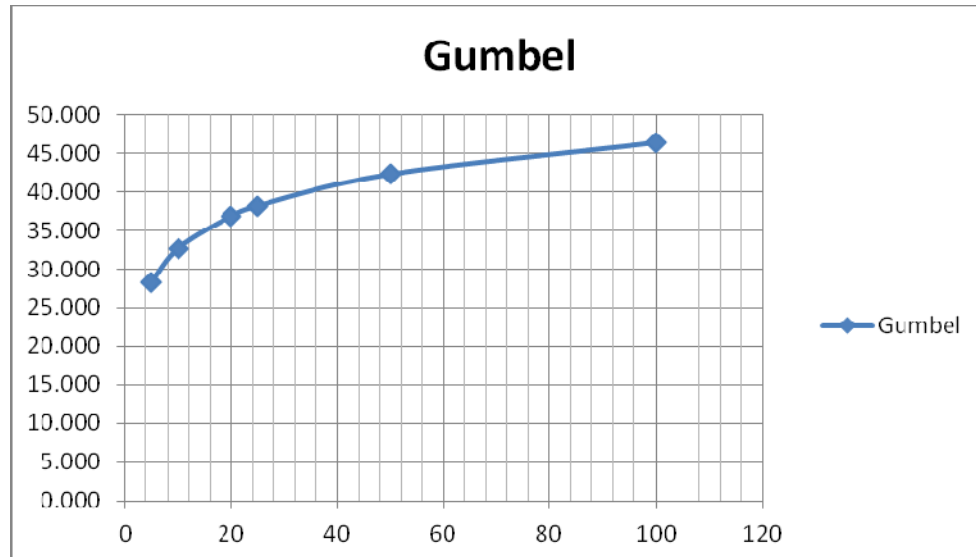
AÑO / ESTACION	Cañar
1964	22,2
1966	46,4
1967	13,6
1968	27,1
1969	32,6
1970	25,7
1971	21,5
1972	28,4
1973	34,9
1974	20,6
1975	22,5
1976	15,3
1978	25,5
1979	23,9
1980	22
1981	17
1982	17,5
1983	21
1984	23,5
1985	16,4
1986	21,2
1987	29
1988	15,6
1989	15,8
1990	21,5
1991	28,8
1992	20,6
1993	24,9
1994	17,9
1995	27,1
1996	31,2



UNIVERSIDAD DE CUENCA

1997	44,2
1998	30,3
1999	26,4
2000	18,1
2001	19,2
2002	16,8
2003	14,7
2004	33,1
2005	31,1
2006	25
2007	18,6
2008	36,2

Media Aritmética:	X media=	23	Correcto
Desviación Estándar:	S=	7.5	
Parámetro de escala:	α=	5.8	
Parámetro de Ubicación:	u=	19.4	





ANEXO 3: ANÁLISIS TRAMO A TRAMO DE LA ESTRUCTURA DE SUBDRENAJE.

RESUMEN DE RESULTADOS.			
Tramo 1			
Abscisa:		0+480.00 - 0+575.00	
Sección transversal del subdren.			
Ancho de la sección transversal:	a=	60	cm
Profundidad del subdren:	H=	50	cm
Características del geotextil.			
Tamaño de la abertura	Ø95=	28.9	mm
Permeabilidad del Geotextil:	Kg=	0.0085	cm/sg
Tipo de Geotextil:	No Tejido		
Longitud de Desarrollo del geotextil:	Lt=	250	
Porosidad del geotextil:	51%		
Características del material filtro.			
	D85F=	25	mm
	D60F=	19	mm
	D50F=	12.7	mm
	D15F=	9.5	mm
	D10F=	4.75	mm
Diámetro de la Tubería:	Ør=	110	mm
Tramo 2			
Abscisa:		0+575.00-0+685.00	
Sección transversal del subdren.			
Ancho de la sección transversal:	a=	60	cm
Profundidad del subdren:	H=	65	cm
Características del geotextil.			
Tamaño de la abertura	Ø95=	28.9	mm
Permeabilidad del Geotextil:	Kg=	0.0085	cm/sg
Tipo de Geotextil:	No Tejido		
Longitud de Desarrollo del geotextil:	Lt=	280	cm
Porosidad del geotextil:	51%		
Características del material filtro.			
	D85F=	25	mm
	D60F=	19	mm
	D50F=	12.7	mm
	D15F=	9.5	mm
	D10F=	4.75	mm
Diámetro de la Tubería:	Ør=	110	mm



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tramo 3			
Abscisa:		0+685.00-0+820.00	
Sección transversal del subdren.			
Ancho de la sección transversal:	a=	100	cm
Profundidad del subdren:	H=	160	cm
Características del geotextil.			
Tamaño de la abertura	Ø95=	28.9	mm
Permeabilidad del Geotextil:	Kg=	0.0085	cm/sg
Tipo de Geotextil:	No Tejido		
Longitud de Desarrollo del geotextil:	Lt=	550	cm
Porosidad del geotextil:	51%		
Características del material filtro.			
	D85F=	25	mm
	D60F=	19	mm
	D50F=	12.7	mm
	D15F=	9.5	mm
	D10F=	4.75	mm
Diámetro de la Tubería:	Ør=	110	mm
Tramo 4			
Abscisa:		0+820.00-0+860.60	
Sección transversal del subdren.			
Ancho de la sección transversal:	a=	100	cm
Profundidad del subdren:	H=	160	cm
Características del geotextil.			
Tamaño de la abertura	Ø95=	28.9	mm
Permeabilidad del Geotextil:	Kg=	0.0085	cm/sg
Tipo de Geotextil:	No Tejido		
Longitud de Desarrollo del geotextil:	Lt=	550	cm
Porosidad del geotextil:	0.51		
Características del material filtro.			
	D85F=	25	mm
	D60F=	19	mm
	D50F=	12.7	mm
	D15F=	9.5	mm
	D10F=	4.75	mm
Diámetro de la Tubería:	Ør=	110	mm



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tramo 5			
Abscisa:		0+860.60-0+940.00	
Sección transversal del subdren.			
Ancho de la sección transversal:	a=	60	cm
Profundidad del subdren:	H=	50	cm
Características del geotextil.			
Tamaño de la abertura	Ø95=	28.9	mm
Permeabilidad del Geotextil:	Kg=	0.0085	cm/sg
Tipo de Geotextil:	No Tejido		
Longitud de Desarrollo del geotextil:	Lt=	250	cm
Porosidad del geotextil:	0.51		
Características del material filtro.			
	D85F=	25	mm
	D60F=	19	mm
	D50F=	12.7	mm
	D15F=	9.5	mm
	D10F=	4.75	mm
Diámetro de la Tubería:	Ør=	110	mm
Tramo 6			
Abscisa:		1+715.00 - 1+820.00	
Sección transversal del subdren.			
Ancho de la sección transversal:	a=	60	cm
Profundidad del subdren:	H=	150	cm
Características del geotextil.			
Tamaño de la abertura	Ø95=	18.8	mm
Permeabilidad del Geotextil:	Kg=	0.0085	cm/sg
Tipo de Geotextil:	No Tejido		
Longitud de Desarrollo del geotextil:	Lt=	450	cm
Porosidad del geotextil:	0.51		
Características del material filtro.			
	D85F=	25	mm
	D60F=	19	mm
	D50F=	12.7	mm
	D15F=	9.5	mm
	D10F=	4.75	mm
Diámetro de la Tubería:	Ør=	110	mm



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tramo 7			
Abscisa:		1+820.00 - 1+920.00	
Sección transversal del subdren.			
Ancho de la sección transversal:	a=	60	cm
Profundidad del subdren:	H=	150	cm
Características del geotextil.			
Tamaño de la abertura	Ø95=	18.8	mm
Permeabilidad del Geotextil:	Kg=	0.0085	cm/sg
Tipo de Geotextil:	No Tejido		
Longitud de Desarrollo del geotextil:	Lt=	450	cm
Porosidad del geotextil:	0.51		
Características del material filtro.			
	D85F=	25	mm
	D60F=	19	mm
	D50F=	12.7	mm
	D15F=	9.5	mm
	D10F=	4.75	mm
Diámetro de la Tubería:	Ør=	110	mm
Tramo 8			
Abscisa:		1+920.00-2+110.00	
Sección transversal del subdren.			
Ancho de la sección transversal:	a=	100	cm
Profundidad del subdren:	H=	160	cm
Características del geotextil.			
Tamaño de la abertura	Ø95=	18.8	mm
Permeabilidad del Geotextil:	Kg=	0.0085	cm/sg
Tipo de Geotextil:	No Tejido		
Longitud de Desarrollo del geotextil:	Lt=	550	cm
Porosidad del geotextil:	0.51		
Características del material filtro.			
	D85F=	25	mm
	D60F=	19	mm
	D50F=	12.7	mm
	D15F=	9.5	mm
	D10F=	4.75	mm
Diámetro de la Tubería:	Ør=	110	mm



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tramo 9			
Abscisa:		2+470.00-2+570.00	
Sección transversal del subdren.			
Ancho de la sección transversal:	a=	60	cm
Profundidad del subdren:	H=	150	cm
Características del geotextil.			
Tamaño de la abertura	Ø95=	18.8	mm
Permeabilidad del Geotextil:	Kg=	0.0085	cm/sg
Tipo de Geotextil:	No Tejido		
Longitud de Desarrollo del geotextil:	Lt=	450	cm
Porosidad del geotextil:	0.51		
Características del material filtro.			
	D85F=	25	mm
	D60F=	19	mm
	D50F=	12.7	mm
	D15F=	9.5	mm
	D10F=	4.75	mm
Diámetro de la Tubería:	Ør=	110	mm
Tramo 10			
Abscisa:		2+570.00-2+812.00-	
Sección transversal del subdren.			
Ancho de la sección transversal:	a=	100	cm
Profundidad del subdren:	H=	150	cm
Características del geotextil.			
Tamaño de la abertura	Ø95=	18.8	mm
Permeabilidad del Geotextil:	Kg=	0.0085	cm/sg
Tipo de Geotextil:	No Tejido		
Longitud de Desarrollo del geotextil:	Lt=	530	cm
Porosidad del geotextil:	0.51		
Características del material filtro.			
	D85F=	25	mm
	D60F=	19	mm
	D50F=	12.7	mm
	D15F=	9.5	mm
	D10F=	4.75	mm
Diámetro de la Tubería:	Ør=	110	mm



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tramo 11			
Abscisa:		2+812.00-2+880.00	
Sección transversal del subdren.			
Ancho de la sección transversal:	a=	60	cm
Profundidad del subdren:	H=	150	cm
Características del geotextil.			
Tamaño de la abertura	Ø95=	18.8	mm
Permeabilidad del Geotextil:	Kg=	0.0085	cm/sg
Tipo de Geotextil:	No Tejido		
Longitud de Desarrollo del geotextil:	Lt=	450	cm
Porosidad del geotextil:	0.51		
Características del material filtro.			
	D85F=	25	mm
	D60F=	19	mm
	D50F=	12.7	mm
	D15F=	9.5	mm
	D10F=	4.75	mm
Diámetro de la Tubería:	Ør=	110	mm
Tramo 12			
Abscisa:		2+880.00-2+982.00	
Sección transversal del subdren.			
Ancho de la sección transversal:	a=	60	cm
Profundidad del subdren:	H=	120	cm
Características del geotextil.			
Tamaño de la abertura	Ø95=	18.8	mm
Permeabilidad del Geotextil:	Kg=	0.0085	cm/sg
Tipo de Geotextil:	No Tejido		
Longitud de Desarrollo del geotextil:	Lt=	390	cm
Porosidad del geotextil:	0.51		
Características del material filtro.			
	D85F=	25	mm
	D60F=	19	mm
	D50F=	12.7	mm
	D15F=	9.5	mm
	D10F=	4.75	mm
Diámetro de la Tubería:	Ør=	110	mm



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tramo 13			
Abscisa:		-2+982.00-3+080.00	
Sección transversal del subdren.			
Ancho de la sección transversal:	a=	60	cm
Profundidad del subdren:	H=	120	cm
Características del geotextil.			
Tamaño de la abertura	Ø95=	18.8	mm
Permeabilidad del Geotextil:	Kg=	0.0085	cm/sg
Tipo de Geotextil:	No Tejido		
Longitud de Desarrollo del geotextil:	Lt=	390	cm
Porosidad del geotextil:	0.51		
Características del material filtro.			
	D85F=	25	mm
	D60F=	19	mm
	D50F=	12.7	mm
	D15F=	9.5	mm
	D10F=	4.75	mm
Diámetro de la Tubería:	Ør=	110	mm
Tramo 14			
Abscisa:		3+080.00-3+175.00	
Sección transversal del subdren.			
Ancho de la sección transversal:	a=	60	cm
Profundidad del subdren:	H=	160	cm
Características del geotextil.			
Tamaño de la abertura	Ø95=	18.8	mm
Permeabilidad del Geotextil:	Kg=	0.0085	cm/sg
Tipo de Geotextil:	No Tejido		
Longitud de Desarrollo del geotextil:	Lt=	390	cm
Porosidad del geotextil:	0.51		
Características del material filtro.			
	D85F=	25	mm
	D60F=	19	mm
	D50F=	12.7	mm
	D15F=	9.5	mm
	D10F=	4.75	mm
Diámetro de la Tubería:	Ør=	160	mm



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tramo 15			
Abscisa:		3+590.00-3+368.00	
Sección transversal del subdren.			
Ancho de la sección transversal:	a=	60	cm
Profundidad del subdren:	H=	160	cm
Características del geotextil.			
Tamaño de la abertura	Ø95=	18.8	mm
Permeabilidad del Geotextil:	Kg=	0.0085	cm/sg
Tipo de Geotextil:	No Tejido		
Longitud de Desarrollo del geotextil:	Lt=	390	cm
Porosidad del geotextil:	0.51		
Características del material filtro.			
	D85F=	25	mm
	D60F=	19	mm
	D50F=	12.7	mm
	D15F=	9.5	mm
	D10F=	4.75	mm
Diámetro de la Tubería:	Ør=	160	mm



ANEXO 4: PRECIOS UNITARIOS.

DESCRIPCION	UNIDAD	PRECIO UNITARIO
OBRA BASICA		
Remoción de alcantarillas de tubo d=1.2m	m	27.45
Remoción de alcantarillas de tubo d=1m	m	27.45
Remoción de alcantarillas de tubo d=1.5m	m	36.6
Remoción de Hormigón.	m3	20.87
DRENAJE		
Limpieza de alcantarillas.	m3	9.38
Excavación y relleno para estructuras.	m3	4.84
Excavación para cunetas y encausamientos (cunetas laterales)	m3	9
Excavación para cunetas y encausamientos (encausamientos)	m3	3.84
Excavación para cunetas y encausamientos (subdrenes).	m3	4
Excavación para cunetas y encausamientos (cunetas de coronación)	m3	12.08
Material de préstamo importado.	m3	3.92
Transporte de material de préstamo importado.	m3-Km	0.3
Hormigón ciclópeo.	m3	122.18
Acero de refuerzo en barras $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$	Kg	2.18
Revestimiento de hormigón simple $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$.	m3	125.16
Tubería de acero corrugado d=1200mm, e=2mm.	m	303.74
Tubería de acero corrugado d=1500mm, e=2.5mm.	m	399.62
Material Filtrante.	m3	15.99
Geotextil para subdren NT 1600	m2	1.7
Tubería para subdrenes d=110mm PVC perforada.	m	4.28
Tubería para subdrenes d=150mm PVC perforada.	m	6.78
Tubería para subdrenes d=160mm PVC perforada.	m	13.52
SEÑALIZACION.		
Señal al lado de la carretera preventiva (0.75m*0.75m): 0.56m2.	U	135.1
Señal al lado de la carretera informativa (0.6m*1.8m): A=1.08m2.	U	147.83
Señal al lado de la carretera informativa (1.20m*1.80m): A=2.16m2.	U	280.31
Señal al lado de la carretera informativa (0.60m*2.40m): A=1.44m2.	U	182.2
Señal al lado de la carretera informativa (1.20m*2.40m): A=2.88m2.	U	280.28
SEÑALIZACION AMBIENTAL		
Señal al lado de la carretera informativa (1.20m*1.80m): A=2.16m2.	U	280.31
Señal al lado de la carretera informativa (0.80m*2.20m): A=1.76m2.	U	196.23
Señal al lado de la carretera preventiva (0.60m*0.75m): A=0.45m2.	U	71.41
Señal al lado de la carretera informativa (1.80m*2.20m): A=3.96m2.	U	327.51
RUBROS AMBIENTALES		
Agua para control de polvo.	miles lts	2.92
Pozo séptico.	U	70.83
Charlas de concienciación.	U	210.16
Letrina sanitaria.	U	592.43
Charlas de adiestramiento.	U	184.69
Afiches.	U	0.57
Comunicados radiales.	U	6.37
Escombrera.	m3	1.38
Transporte de material de excavación.	m3-Km	0.3
Letreros ambientales en centros poblados (1.20m*2.40m): A=2.88m2).	U	275.2
Letreros ambientales (preservación de la naturaleza) ((1.20m*2.40m): A=2.88m2)	U	275.2
Trampa de grasas y aceites.	U	394.2

ANEXO 5: RESUMEN FOTOGRAFICO DE LA VIA LA TRANCA – EL TAMBO VIEJO.



Vía La Tranca - El Tambo Viejo
Abcisa 0+300

Observaciones:
Se observa que la vía esta rodeada de vegetación en su margen izquierdo, dando por entendido que el nivel freático es alto, casi al nivel de la vía, con esto se puede constatar el problema de humedad en la vía sobretodo en épocas de lluvia.



Vía La Tranca - El Tambo Viejo
Abcisa 0+300

Observaciones:
La humedad es visible, con solo excavar parte del terreno natural.



Vía La Tranca - El Tambo Viejo
Abcisa 0+550

Observaciones:
A pesar de que la vía estaba
totalmente seca , ambos bordes
guardaban cierta humedad.



Vía La Tranca - El Tambo Viejo
Abcisa 0+550

Observaciones:
Zonas de la vía en dónde la humedad
empieza a causar fuertes daños a la
misma.



Vía La Tranca - El Tambo Viejo
Abcisa 0+550

Observaciones:
Se puede observar la gran vegetación que rodea a la vía, además la visible humedad que afecta a la misma.



Vía La Tranca - El Tambo Viejo
Abcisa 0+550

Observaciones:
A lo largo de la vía, en sus bordes se constata grandes acumulaciones de agua.



Vía La Tranca - El Tambo Viejo
Abcisa 0+550

Observaciones:
La presencia del agua a través de la naturaleza existente en el sector.



Vía La Tranca - El Tambo Viejo
Abcisa 0+600

Observaciones:
A este punto de la vía al margen izquierdo de la misma, se puede observar una pequeña laguna, en donde se refleja el alto nivel freático que tiene el sector.



Vía La Tranca - El Tambo Viejo
Abcisa 0+700

Observaciones:

Hacia el borde derecho de la vía, se puede constatar la presencia de gran cantidad de agua, a pesar de que la vía estaba totalmente seca.



Vía La Tranca - El Tambo Viejo
Abcisa 0+800

Observaciones:

Además se pudieron divisar los canales de riego existentes en el sector.



Vía La Tranca - El Tambo Viejo
Abcisa 1+200

Observaciones:
Taludes que rodean la vía,
con la presencia de vegetación
abundante.



Vía La Tranca - El Tambo Viejo
Abcisa1+200

Observaciones:
El mal uso de los desagües y el poco
mantenimiento puede llevar a un
problema grave de inundación de la
vía.



Vía La Tranca - El Tambo Viejo
Abcisa 1+300

Observaciones:
Aquí la vía se muestra seca, pero
ambos márgenes están rodeados de
vegetación.



Vía La Tranca - El Tambo Viejo
Abcisa 1+500

Observaciones:
Sector en donde no se observa la
presencia de agua.



Vía La Tranca - El Tambo Viejo
Abcisa 2+000

Observaciones:
Planicie observada en el sector de la
vía.



Vía La Tranca - El Tambo Viejo
Abcisa 2+440

Observaciones:
Se observa el canal de riego existente
en el sector, se puede ver que el
mismo lleva una gran cantidad de
agua.
Puede ser el mismo muy perjudicial
para la vía.



Vía La Tranca - El Tambo Viejo
Abcisa 2+500

Observaciones:
El canal de riego atraviesa una gran extensión de terreno, además se encuentra muy cercano a la vía.



Vía La Tranca - El Tambo Viejo
Abcisa 2+800

Observaciones:
Desagues observados en el sector, con un mantenimiento pobre.



Vía La Tranca - El Tambo Viejo
Abcisa 3+100

Observaciones:
Se observa los canales de riego
presentes a lo largo de la vía.



Vía La Tranca - El Tambo Viejo
Abcisa 3+300

Observaciones:
Las zanjas o cunetas que bordean el
margen derecho de la vía en esta
zona.



Vía La Tranca - El Tambo Viejo
Abcisa 3+500

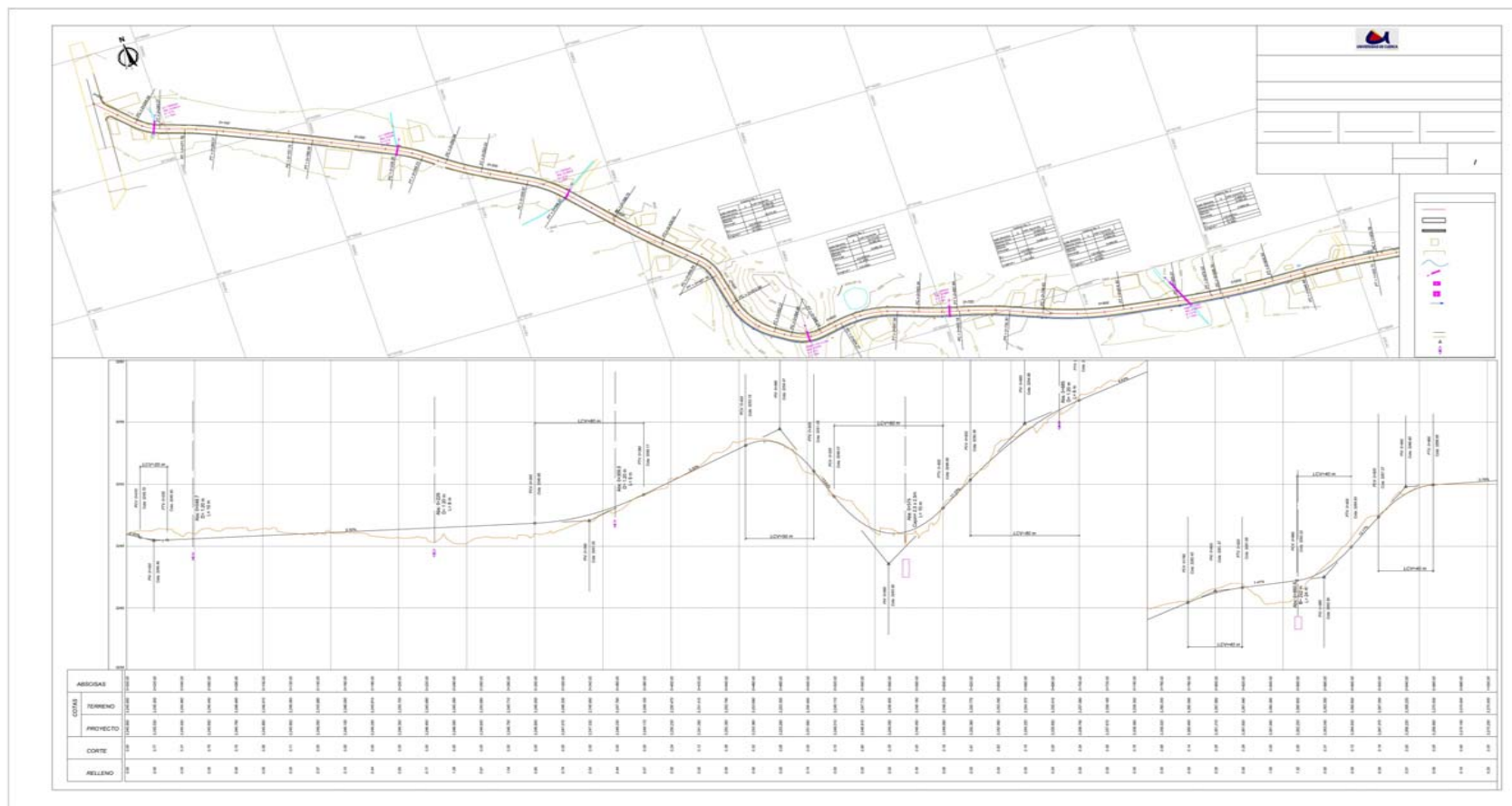
Observaciones:
Segunda laguna presente a lo largo de toda la vía, indicadora de la gran presencia de agua y del nivel freático.

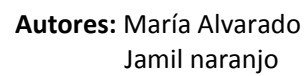


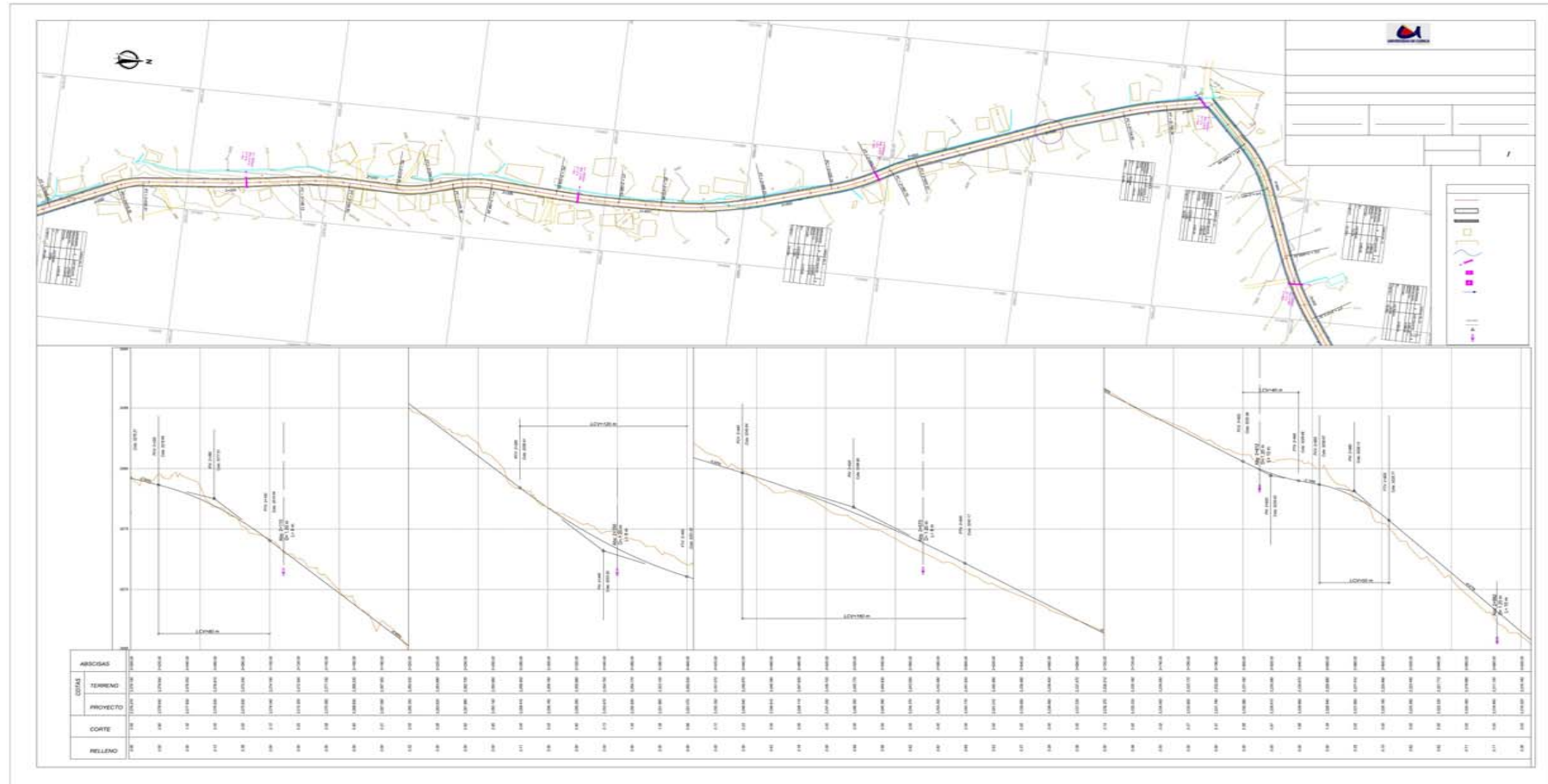
Vía La Tranca - El Tambo Viejo
Abcisa 3+600

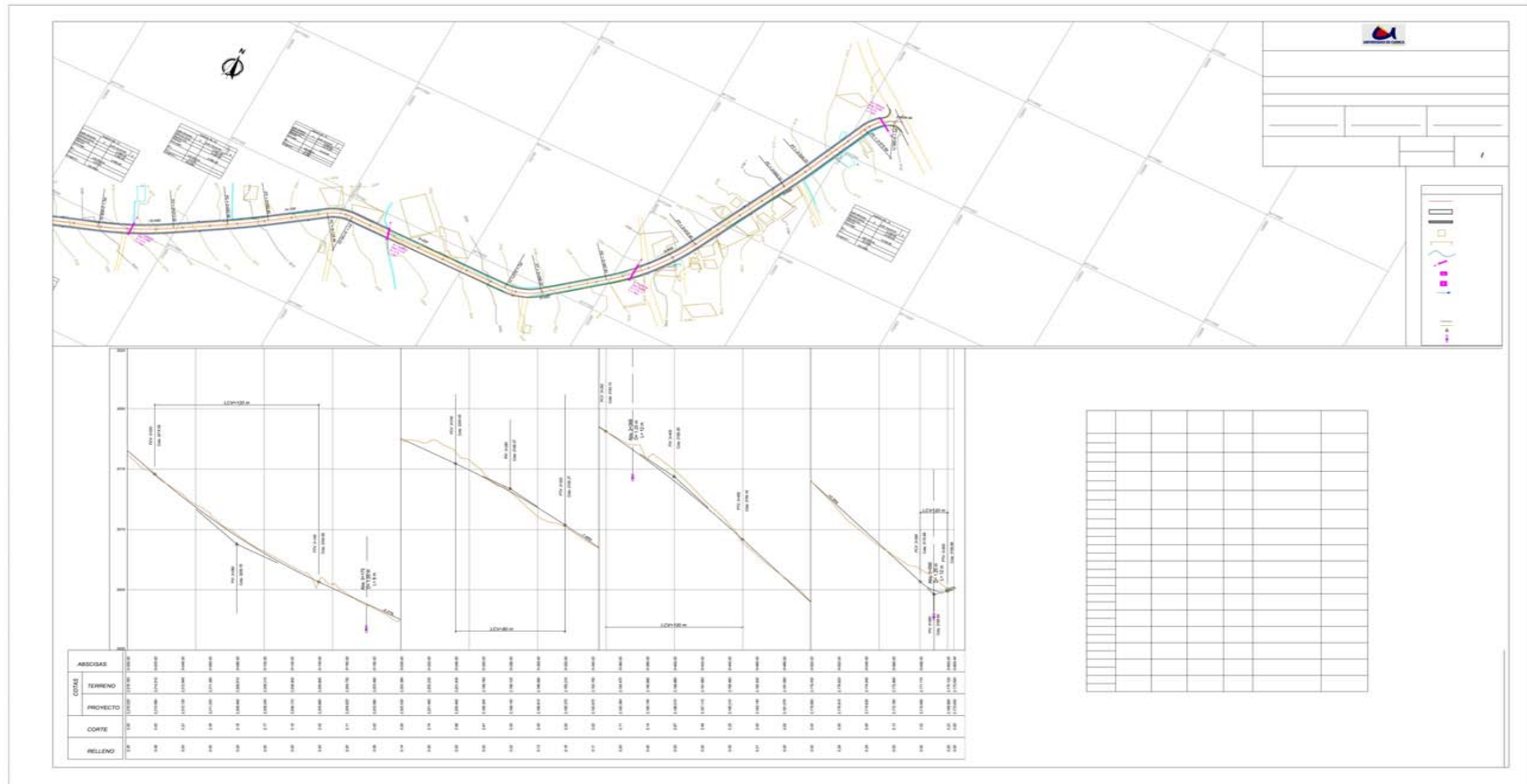
Observaciones:
Presencia de viviendas en la zona en donde el nivel freático es alto.

ANEXO 6: PLANO CON EL DISEÑO DEL SUBDRENAJE VIAL PARA LA VIA LA TRANCA – EL TAMBO VIEJO.











UNIVERSIDAD DE CUENCA

ANEXO 7: DISEÑO DEL SISTEMA DE SUBDRENAJE, HOJA ELECTRONICA.