

2-A
20je.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN

**OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS
VIAS TERRESTRES**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

EDUARDO CARREON SOLIS



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Julio, 1994.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Querido Eduardo:

Hoy quiero recordarte, hoy un día con esas tardes lluviosas en las que te recuerdo innumerables veces inspirado y hablando de tu vida, la vida de todos. Yo en cambio, quiero escribirte el día de hoy porque tu eres, fuiste la vida de todos. A lo largo de tus 22 años siempre tuviste el cuidado suficiente de vivir (¡aunque sufrieras el doble), las emociones humanas. Hoy quiero pensar en ti porque los demás me han legado algo gris, tu me legaste, me obsequiaste colores. Así mientras contemplo un cielo cargado de agua, pienso que ya termine la tesis y antes de imprimirla debo cumplir, con unas secciones denominadas dedicatorias y agradecimientos. Para estas secciones no hay reglas, no hay nada que te limite o te lleve de la mano.

De repente me encuentro con algo libre, con un camino libre en el que puedo crear algo nuevo. Bueno creo que no sería tan atrevido. No obstante no hay reglas, y me siento inspirado, en mi casa, al hablar contigo. Por lo tanto no empleare un estilo académico al momento de abrir las puertas de mi corazón, de mis recuerdos y permitir que sientas y disfrutes mis reflexiones con respecto a quienes y a que podría dedicar este trabajo.

En primer término agradezco a lo que esta alla arriba de la nubes a quien dijo yo creo el cielo, la tierra y todas las cosas, al de arriba, al que mando a su hijo a nuestro mundo. Agradezco su bondad, su sabiduría a su amor. Tengo unos ojos (o medios ojos) que pudieron leer un sin número de páginas en diferentes idiomas, antes de redactar, y aún ahora pueden leer estas líneas al tiempo que aumentan mis facultades con mis manos que pudieron mecanografiar cada una de estas cuartillas que alguien después quizás leerá, o que dos personas pudieron leer, por lo menos, mi asesor y la de los ojos tristes.

Por lo tanto, es al que esta arriba, a mi Creador, a quien dedico la tesis, poniendome en sus manos para que el disponga de mi vida como lo hizo contigo Eduardo, por que tengo que creer en algo.

Pienso en este momento en Mamá, quien agradezco su entrega. A mamá le debo la luz, le debo la alegría de contemplar este cielo gris, con una serie de piedritas que lanza y se estrella en mí y en el suelo, y que me haya enseñado, de este mismo cielo gris, haya un resplandor prometedor, de que me haya convencido de que cuando todo esta o parece perdido, es preciso reanudar tranquilo el trabajo, recomenzando desde el principio. Que me haya convencido de que es preciso contar con uno mismo y con las propias fuerzas; no esperar nada de nadie y por lo tanto no buscarse desilusiones. Que es necesario proponerse hacer solo lo que se sabe y se puede hacer y seguir el propio camino como el tuyo mamá.

Eduardo, es la madre las que nos enseñaron que es el dolor lo que acrecienta las almas, las que nos enseñaron, que existe un camino de luz mas alla de toda vida dolorosa. Por lo tanto a ella no solo mi agradecimiento, sino mi amor, admiración y respeto porque en lo pequeño siempre fuiste grande.

Eduardo un día, Pilar dijo, y aun lo recuerdo, a partir de este momento yo seré tu padre, con esa mirada tan especial y nostálgica, que te forjo la vida, de ver el cielo, cuando los cuervos, con toda su algarabía se sienten los amos, del paisaje. ¡No importa!. Ella también lleva en su equipaje de la vida y sabe que más alla de esos pájaros escandalosos, existen los risueños y las golondrinas, aun en este instante lo sabe. Me veo necesitado en este momento de darle la gracias, por darme su amor. Aunque algunas veces nos molestamos y no me lo digas, se que me amas y yo también.

Hay momentos determinantes en tu vida en los que te hicieron girar de un sentido a otro, en los que te encontrabas en un camino con intersección y forzosamente se tiene que virar ya que no puedes ir hacia adelante. Alicia Cruz, una tía a todo dar, nos ayudo a virar correctamente, con un apoyo

incondicional y un sentido inmenso de la vida y de la vida de los demás, es decir, de nosotros. Hoy quiero, Eduardo, que pienses que estos momentos, fueron la diferencia entre tu y yo a ti te hizo falta una Alicia Cruz en tu vida un "Ángel" Gracias.

Eduardo si hubiera tenido oportunidad, habría escogido un título más breve para este trabajo, tal vez "ojos tristes". Porque me enseñó que para vivir es necesario arriesgar porque si no lo haces no vives, sólo existe y hasta que conocí los ojos tristes, solo existí, gracias por vivir y enseñarme a vivir con esos ojos diferentes que ahora tenemos.

Esta tesis la dedico también a mi abuelito a mi viejito que sabía que lo iba a lograr.

Eduardo ahora quisiera que tu voz entonara un canto nuevo y llevaras mi gratitud a la casa de Estudios que nos aloja la UNAM. Desearía tanto que llegaras a las aulas y a través de los grandes ventanales llamaras la atención de los maestros y que ese canto les dijera gracias, gracias a todos a aquellos maestros que creyeron que para enseñar ingeniería era necesario tener interés académico y lográrnos, gracias por creer en los alumnos . Y como dijeras Eduardo Padilla Garfias ¡UF MANO POR FIN!

POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU

EDUARDO CARREON SOLIS

CAPITULO 1

PROBLEMAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES

1.1.- ANTECEDENTES	1
1.2.- ESTUDIO DE SUELO	3
1.2.1.- CLASIFICACION DE LOS SUELOS	3
1.2.2.- CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS	11
1.2.3.- SUELO DE LA SUBRASANTE	14
1.2.4.- RECOMENDACIONES PARA ANALISIS DE SUELOS	15
1.3.- FILTRACIONES Y MOVIMIENTO DE AGUA EN EL TERRENO	16
1.3.1.- AGUA CAPILAR	17
1.3.2.- AGUA LIBRE	18
BIBLIOGRAFIA	23

CAPITULO 2

EXPERIENCIA, SOLUCIONES Y RESULTADOS DE OBRAS DE SUBDRENAJE

2.1.- CONDICIONES GENERALES	24
2.2.- OBRAS DE SUBDRENAJE	28
2.2.1.- OBRAS DE SUBDRENAJE SUPERFICIALES	30
2.2.1.1.- ZANJAS ABIERTAS	30
2.2.1.2.- DRENES CIEJOS	30
2.2.1.3.- DRENAJE DEL PAVIMENTO	31
2.2.1.4.- DRENES DE INTERCEPCION	35
2.2.1.4.1.- DRENES DE INTERCEPCION LONGITUDINALES	40
2.2.1.4.2.- DRENES DE INTERCEPCION TRANSVERSALES	43
2.2.2.- OBRAS DE SUBDRENAJE PROFUNDAS	47

2.2.2.1.- SUBDRENES	47
2.2.2.2.- DRENES DE PENETRACION TRANSVERSAL	50
2.2.2.3.- CAPAS PERMEABLES PROFUNDAS CON REMOCION DE MATERIAL	52
2.2.2.4.- TRINCHERAS ESTABILIZADORAS	54
2.2.2.5.- GALERIAS FILTRANTES	56
2.2.2.6.- POZOS DE ALIVIO	59
2.2.3.- MATERIAL DE RELLENO "FILTRO"	61
BIBLIOGRAFIA	63

CAPITULO 3

ESTUDIOS E INFORMACION NECESARIA PARA DISEÑAR UNA OBRA DE SUBDRENAJE

3.1.- EFECTOS DEL DRENAJE	64
3.2.- TEORIA DEL DRENAJE	65
3.3.- ESCURRIMIENTOS SUBTERRANEOS Y DRENAJE	68
3.3.1.- ESCURRIMIENTO EN AREAS EXTENSAS	68
3.4.- OBRAS Y ESTRUCTURAS PARA SUBDRENAJE	71
3.4.1.- SUBDRENES DE ZANJA	71
3.4.2.- CONSTRUCCION DE UNA CAPA PERMEABLE CON REMOCION DE MATERIAL	72
3.4.3.- TRINCHERAS ESTABILIZADORAS	72
3.4.4.- DRENES TRANSVERSALES DE PENETRACION	73
3.4.5.- POZOS DE ALIVIO	73
3.5.- ESTUDIO Y CARACTERISTICAS DEL DRENAJE	74
3.5.1.- FLUJO DE AGUA EN UN SISTEMA GRANULAR	79
3.6.- ELEMENTOS DE LAS OBRAS DE SUBDRENAJE	81
3.6.1.- TUBOS PARA SUBDRENAJE	82
3.6.2.- MATERIAL FILTRANTE	86
3.6.3.- RELLENO DE PROTECCION	94
3.6.4.- DRENAJES CUBIÉRTOS EN TERRAPLENES EN CORTE	98
3.6.5.- GEOTEXTILES	100
a.- CARCATERISTICAS DE LOS GEOTEXTILES, MEDIDAS, ESPECIFICACIONES Y CONTROL	100
b.- PROPIEDADES DE LOS GEOTEXTILES DE RELEVANCIA PARA USOS GEOTECNICOS	102
c.- FUNCIONES DE LOS GEOTEXTILES	107

d.- NORMAS DE EMPLEO Y COLOCACION	112
3.7.- METODOS DE DISEÑO PARA DRENAJE	115
3.7.1.- METODO DE DISEÑO POR CAPACIDAD DE DESCARGA	115
3.7.2.- DISEÑO CON REDES DE FLUJO	118
3.7.3.- DISEÑO DE CAPAS PERMEABLES	119
3.7.4.- DISEÑO DE DRENES LONGITUDINALES DE ZANJA	122
3.7.5.- DISEÑO DE POZOS DE ALIVIO	125
3.7.6.- DISEÑO DE FILTROS PARA TRINCHERAS ESTABILIZADORAS	127
3.8.- INFLUENCIA DEL SUELO Y ASPECTOS GEOLOGICOS SOBRE EL DRENAJE	129
3.9.- SUBDRENAJE EN CAMINOS	132
3.10.- SUBDRENAJE EN VIAS TERRESTRES	134
3.11.- SUBDRENAJE EN AEROPUERTOS	138
BIBLIOGRAFIA	143

CAPITULO 4

DESARROLLO Y APLICACIONES DE LAS SOLUCIONES

4.1.- ANTECEDENTES	145
4.2.- SUBDRENAJE CONSTRUIDO CON MATERIALES NATURALES	147
4.2.1.- OBRAS DE SUBDRENAJE SUPERFICIAL	147
4.2.2.- OBRAS DE SUBDRENAJE PROFUNDO	149
4.3.- DRENAJE SUBTERRANEO PREFABRICADO	155
4.3.1.- DESCRIPCION DE DRENAJE SUBTERRANEO PREFABRICADO	157
4.3.2.- MATERIALES USADOS	159
4.3.3.- METODO DE INSTALACION	163
4.3.4.- APLICACIONES DE DRENAJE SUBTERRANEO PREFABRICADO	165
4.4.- LOS GEOTEXILES EN LAS APLICACIONES DE CONSTRUCCION DE VIAS TERRESTRES	169
4.4.1.- APLICACIONES DE DRENAJE SUBTERRANEO CON GEOTEXILES	172
4.4.1.1.- FUNCIONAMIENTO DE LOS GEOTEXILES COMO UN REFUERZO POR LOS MATERIALES GRANUALRES	173
4.4.1.2.- SISTEMAS DE SUBDRENAJE	177
BIBLIOGRAFIA	178
CONCLUSIONES	180

INTRODUCCION

Entre todos los elementos que afectan la estructura de una vía terrestre, el más importante es el agua, por su poder destructivo. El agua se presenta en una vía terrestre de diversas maneras: en forma de lluvia, en corrientes, en depósitos superficiales o subterráneos, en mantos acuíferos o en forma de hielo. En cualquiera de estas formas es perjudicial; estudios de las subrasantes han hecho resaltar que el exceso de humedad es en la mayor parte de los casos, la causa de una cimentación defectuosa y la destrucción de la superficie de un camino, el deslizamiento de una vía férrea o el encharcamiento en las pistas de un aeropuerto; debiendo ser desalojada lo más rápidamente posible; esto se logra por medio del drenaje.

En cualquiera de las formas en que se presente el agua trae como consecuencia roturas y desigualdades peligrosas en la superficie de una vía terrestre; los gastos de conservación aumentan; y al año siguiente se presenta el mismo problema.

Aun cuando se reconoce fácilmente que el agua es el origen del perjuicio, el método para contrarrestarlo no ha sido universalmente comprendido; en vez de suprimir la causa, la tendencia más frecuente es la de suprimir los síntomas, ya sea agregando grava, comprimiendo la superficie o repavimentando todo el tramo. Si se consiguiera una subrasante suficientemente firme, cualquier capa delgada de rodamiento que no se desintegre bajo las condiciones de uso y que resista el desgaste, sería suficiente.

Todas las superficies de las vías terrestres dependen de su apoyo, de la capa de tierra que se encuentra debajo. Si dicho apoyo es débil, o si no tiene uniformidad, es incapaz de desempeñar su función. Más aun, si se construyen superficies mejoradas sobre suelos que durante ciertas estaciones se encuentran sujetos a grandes cambios de volumen, no solamente faltará el apoyo sino que pueden desarrollarse ciertos esfuerzos destructores contrarios que darán como resultado levantamientos considerables de la estructura, agrietamientos excesivos, u otros efectos similares. Ningún tipo o diseño de superficie es capaz de resistir eficazmente estos esfuerzos; por lo tanto, resulta evidente que el proyecto de una vía terrestre debe comenzar con la subrasante, y que las medidas preventivas eficaces tomadas durante las etapas iniciales de la construcción, se reflejarán en una mayor economía en la conservación.

El drenaje se clasifica en drenaje superficial y subterráneo; el primero se encarga de proteger a la vía terrestre de la acción de las aguas superficiales, el drenaje subterráneo o subdrenaje, que es la forma que se le llamará en el presente estudio, y que es el que nos

ocupará; es aquella que ayuda a desalojar el agua que ha logrado infiltrarse a través de la capa superficial del terreno y que ya sea estancada o en corriente, afecta las propiedades del suelo en que está.

Las obras de subdrenaje son un capítulo importante en el presupuesto de la construcción de una vía terrestre, y uno de los de máxima atención para el ingeniero, por ser obras de gastos elevados y cuyos efectos no pueden observarse en la mayoría de los casos, más que por los técnicos.

Por esta razón, es necesario efectuar estudios muy detallados sobre intensidades de lluvia, corrientes de agua, permeabilidad del suelo, variación del nivel de aguas subterráneas. Una pequeña variación en la apreciación de estos datos, puede conducir a cifras de costo muy distintas. Es por ello que el objetivo del presente estudio busca a partir de las experiencias tenidas en problemas de subdrenaje en vías terrestres, así como los diferentes casos, soluciones y resultados al respecto obtenidas, estructurar criterios básicos para solucionar dichos problemas tanto en obras existentes donde persisten como en proyectos nuevos.

El subdrenaje presenta dos aspectos, el primero es el que trata de evitar que el agua llegue al camino por medio de obras de desvío y de protección y el segundo es el que elimina o desaloja a la que inevitablemente llega a la vía terrestre. El subdrenaje es la manera de proporcionar conductos de drenaje adecuados para controlar el escurrimiento del agua rápidamente.

El estudio del subdrenaje incluye: un conocimiento vasto de las propiedades y características de los suelos, pues la solución que se le da al problema, depende en gran parte del conocimiento que se tenga del suelo. Por lo tanto, es sumamente importante que exista un entendimiento muy claro respecto al efecto del agua en relación con los suelos. El capítulo 1 inicia con éste estudio para determinar las características del suelo, tanto en lo que afecta a su composición geológica como en lo que se refiere a la compacidad, permeabilidad, etc. En segundo lugar se estudia el nivel que puede alcanzar las aguas, pendientes de los estratos por los que circulan, velocidad del agua en las corrientes subterráneas, caudales de las mismas y vacían de los niveles así como, la forma en que afecta al suelo con un aumento en las presiones neutrales del agua en el suelo con la correspondiente disminución de la resistencia al esfuerzo cortante del mismo.

En el capítulo 2 se mencionan las diferentes obras de subdrenaje, dividiéndose en dos partes, las obras de subdrenaje superficiales (zanjas abiertas, drenes ciegos, drenaje en el pavimento y drenes interceptores) y las obras de subdrenaje subterráneo (subdrenes, drenes de penetración transversal, capas permeables profundas con remoción de material, trineheras estabilizadoras, galerías filtrantes y pozos de alivio), en las que se describen particularmente.

Posteriormente se analiza, en el capítulo 3, los efectos que produce la eliminación del agua en el suelo y los escurrimientos en el mismo, así como, una descripción de los elementos que forman parte de las obras de subdrenaje como son los tubos perforados, material filtrante ó filtros, rellenos etc. Además se analiza un poco el desarrollo de los geotextiles, mencionando las características mecánicas e hidráulicas de estos productos, para introducir los valores correspondientes en los métodos de dimensionamiento apropiados, y por otra parte, a partir de especificaciones claras, de formas de control realistas y eficientes para poder decidir cual es la más conveniente. Enseguida se analizan los diferentes métodos que existen para diseñar, a través de técnicas, cartas y redes de flujo, las diferentes estructuras del subdrenaje hasta el momento desarrolladas. Al final del capítulo se analiza la forma que beneficia y afecta el empleo de estas obras en las distintas vías terrestres.

El último capítulo se divide en tres partes; las aplicaciones del subdrenaje construido con materiales naturales como son las obras de subdrenaje superficial y profundas, que son las obras más comúnmente utilizadas en la ingeniería de las vías terrestres, por tal motivo se hace una generalización de cada una de estas aplicaciones. La segunda parte trata del drenaje subterráneo prefabricado, en el que se hace una descripción del mismo, indicando los materiales utilizados, la forma de instalarse en las aplicaciones que se desarrollarán. La tercera y última parte esta dedicada a las aplicaciones de subdrenaje con la ayuda de los geotextiles, se analizan las funciones, tanto a corto, mediano y largo plazo de estas en las obras que se mencionan.

1.- PROBLEMAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES

1.1 ANTECEDENTES

El agua del subsuelo es debida, como se sabe, al agua de lluvia que penetra en el terreno a causa de su permeabilidad, formándose corrientes subterráneas que humedecen la base de los cimientos y que perjudican la estabilidad de cualquier vía terrestre. Es importante resaltar que toda obra de ingeniería; el agua procedente de precipitaciones fluviales no sólo la que corre sobre la superficie, podría ser perjudicial al erosionar y socavar parte de su estructura, si no también aquella agua que por algún medio se infiltre y fluya dentro de la masa del suelo ya que es probable que tienda a causar problemas como: desplazamientos verticales y horizontales que influyen desfavorablemente en el buen funcionamiento de la obra y en la estabilidad de la misma, capilaridad así como inestabilidad volumétrica por cambios de humedad en algunos materiales.

Como se acaba de mencionar el agua se presenta en las vías terrestres de diversas maneras en forma de lluvia, en corrientes, en depósitos, superficiales o subterráneos, en mantos subalveos, en forma de hielo, etc. Debe ser desalojada lo más rápido posible.

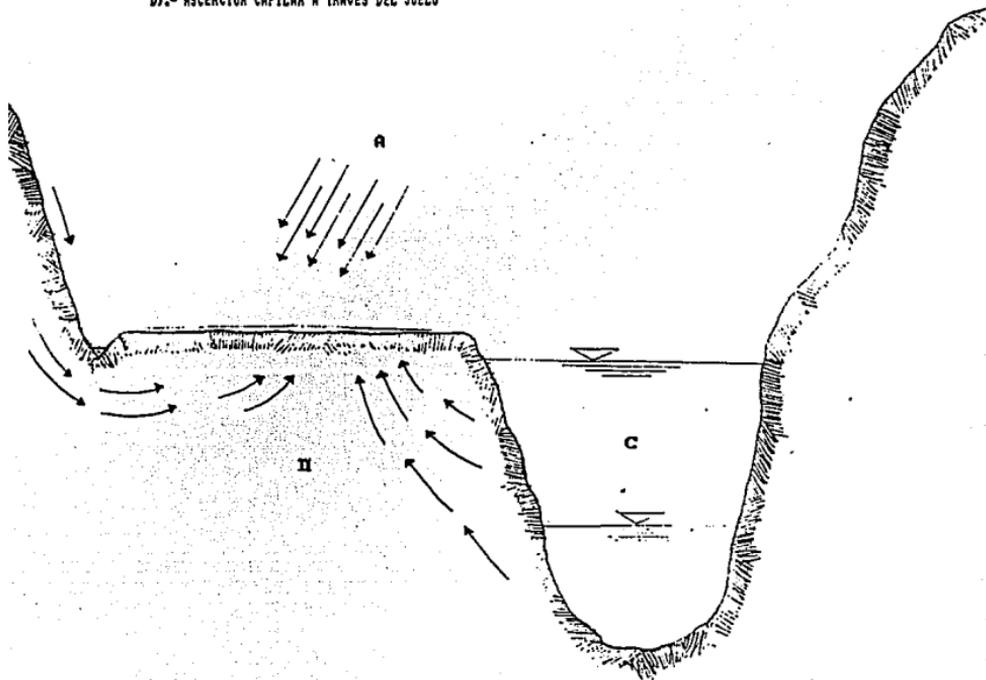
El drenaje de las vías terrestres tiene por objeto, en primer lugar reducir lo más posible la cantidad de agua que llega a las diferentes partes de la misma, y en segundo, dar salida al agua cuyo acceso resulta inevitable; es pues, punto importante para la conservación de la misma.

El drenaje en las vías terrestres presenta tres aspectos, el primero es el que trata de evitar que el agua llegue a la vía terrestre por medio de obras de desvío y de protección, el segundo es el que elimina o desaloja a la que llega y el tercero el cual nos ocupará en el presente estudio es el que trata de eliminar el agua ó evitarla hasta donde sea posible la que se infiltra, ascienda a la cimentación por fenómeno de capilaridad, fluya dentro de la masa de suelo, ya sea en las vías terrestres existentes o en nuevas en proyecto, ejecución o estudio.

El tercer aspecto mencionado en el párrafo anterior es lo que se conoce con el nombre de "subdrenaje" ó "drenaje profundo"; como se acaba de mencionar su objetivo será el de eliminar este tipo de aguas conocidas también con el nombre de agua subterránea.

En la figura 1 se presenta esquemáticamente la forma en que el agua puede llegar a la terracería de una vía terrestre; tanto una como otras se encauzan través de los estratos permeables del terreno soportadas por capas impermeables, y ascienden hasta las bases de las terracerías por aumento de nivel o por capilaridad. El primer estudio, consiste en determinar las

- A).- PRECIPITACION DIRECTA
- B).- ESCURRIMIENTO DEL AGUA DEL TERRENO ADYACENTE
- C).- CRECIENTES DE RIOS O ARROYOS
- D).- ASCENSION CAPILAR A TRAVES DEL SUELO



AS EN LAS QUE EL AGUA LLEGA A LA VIA TERRESTRE

FIGURA No. 1

características del subsuelo, tanto en lo que afecta a su composición geológica, como en lo que se refiere a la compacidad, permeabilidad, % de agua de lluvia que penetra en el suelo, etc. En segundo lugar, debemos analizar el nivel que puede alcanzar las aguas, pendientes de los estratos por donde circulan, velocidad del agua en las corrientes subterráneas, caudales de la misma y variación de los niveles en las diferentes épocas.

1.2. ESTUDIO DE SUELO

La superficie del suelo de una vía terrestre debe tener resistencia suficiente para absorber las cargas transmitidas, ya sea por un automóvil, aeronave ó ferrocarril, debiendo poseer una superficie estable y compacta, sin los inconvenientes de la mayoría de los terrenos naturales, tales como la disgregación en polvo, en tiempo seco, y la formación de otros agentes en épocas de humedad.

El conocimiento de cómo se comportan los suelos y las formas de variar sus cualidades naturales para obtener productos de resistencia y estabilidad suficientes, es imprescindible para la construcción de una terracería. Ello conduce, no solamente a costos más bajos, sino también al conocimiento exacto de la manera de comportarse los suelos bajo la acción de los agentes atmosféricos y de las cargas, y por tanto, a la posibilidad de construcción dentro de las mejores condiciones económicas.

Los suelos primordialmente de origen mineral, están formados por la desintegración de las rocas, mediante la acción del viento, agua, hielo, cambios de temperatura, acción química, crecimientos vegetales y vida animal. Además de los constituyentes rocoso o minerales, los suelos contienen materia orgánica extraída del aire y de la vegetación que en ellos ha crecido. Existen también muchas formas de vida animal microscópica que dentro del suelo que tienen influencia sobre el drenaje y el crecimiento de la vegetación. El suelo, bien sea sedimentario o transportado, está compuesto principalmente de silicatos, con cantidades variables de aluminio, hierro, calcio, magnesio y álcalis, a los que se unen pequeñas cantidades de materia orgánica.

1.2.1. - CLASIFICACION DE LOS SUELOS

Lo que se pretende con la clasificación de los suelos es agrupar a los que reúnan unas determinadas características físicas, y como resultado de ellas, ciertas propiedades constructivas determinadas. La clasificación orienta al ingeniero, por medio de ensayos sencillos, a conocer propiedades del terreno por donde la terracería se ha de construir y, por tanto, cuáles han de ser las necesidades de maquinaria a emplear, las dificultades o facilidades que en la obra se han de encontrar a causa del tipo de suelo y como consecuencia, el costo de la construcción.

Al respecto una de las primeras clasificaciones de suelos, fue la propuesta por el Department of Public Roads (Estados Unidos), en el año 1928; en ella se dividen los suelos en grupos del A-1 al A-7; esta clasificación fue modificada y completada por el mismo Departamento en los años 1931 y 1942. Se emplean ensayos, hoy en desuso, como la humedad centrifuga y en el campo. Posteriormente, el año 1945, el Highway Research Board (H.R.B) hizo una modificación muy completa, tanto en los ensayos a realizar como de los distintos grupos, para evitar las confusiones que se producían en la clasificación de Public Roads, por falta de definición y claridad de cada grupo. Esta clasificación, tiene la ventaja de que sólo se utilizan los límites de Atterberg y los análisis granulométricos; la denominación de los grupos es la misma, pero no coinciden con los del Public Roads.

En el año 1942, fue adoptada en forma provisional por el U.S. Engineers Department, una clasificación propuesta por A. Casagrande; esta clasificación ha sido después ligeramente modificada y adoptada por el Corps of Engineers of the U.S. Army; se denomina clasificación de Casagrande modificada.

La clasificación del H.R.B. está hecha solamente para su utilización en carreteras, mientras que la de Casagrande, modificada, es de uso general.

Los suelos se clasifican generalmente en tres grupos, según el tamaño de sus granos: arenas y gravas, limos y arcillas; en la tabla 1-1 se muestra la clasificación adoptada por el U.S. Bureau of Public Roads.

En su forma pura esos suelos pueden identificarse por medio de la vista y el tacto, la arena y la grava son sueltas y granulares, y el limo es finamente granulado como la harina, no pudiéndose distinguir fácilmente los gránulos por medio de la vista o el tacto; se pulveriza fácilmente cuando está seco; la arcilla es plástica si está mojada; en cambio seca, es dura, compacta y no se pulveriza fácilmente.

TABLA 1-1

Clasificación	Diámetro de Partículas (mm)	Tamiz U.S. Standard	
		Pasa por	Retenida
Grava	Mayor de 2.00		No. 10
Arena Gruesa	2.00 a 0.42	No. 10	No. 40
Arena fina	0.42 a 0.05	No. 40	No. 270
Limo	0.05 a 0.005		
Arcilla	Menor a 0.05	No pueden separarse por medio de tamiz. El tamaño se determina por la rapidez de sedimentación (en suspensión en agua)	
Tamaño coloidal	Menor a 0.01		

Aun cuando esos 3 tipos de suelo pueden presentarse en forma pura, especialmente la arena y grava, por lo regular existen combinados. El E.U. Bureau of Soils and Chemistry ha ideado un método para identificar los suelos, dándoles un nombre en términos del porcentaje de grava, arena, limo y arcilla, consistente en una gráfica de forma triangular (figura 2)

Por ejemplo un suelo contiene las siguientes fracciones de arcilla, limos y arena :

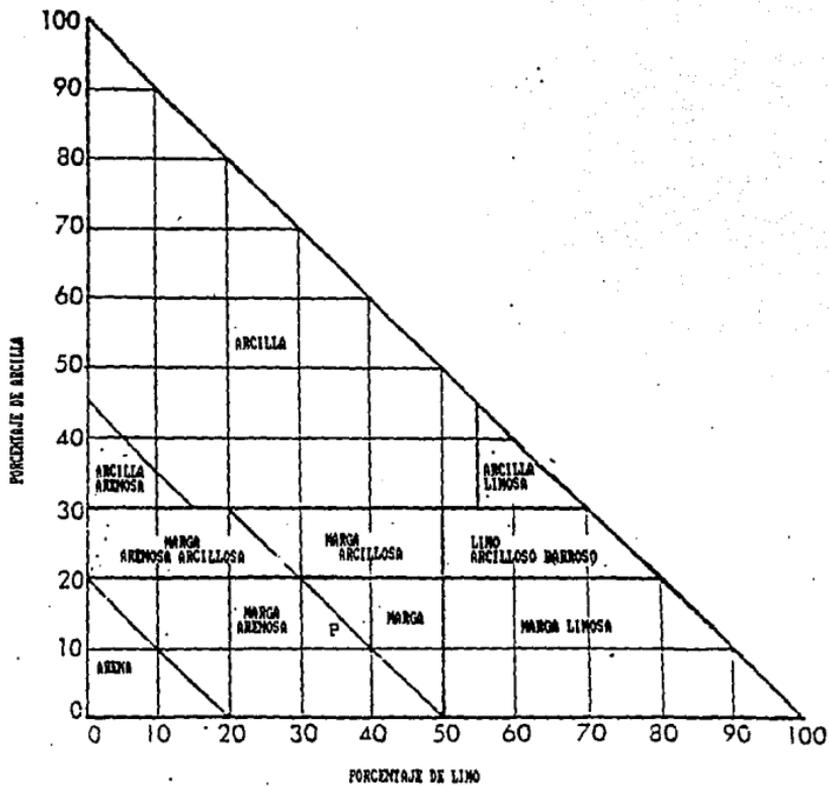
12 % de arcilla
37 % de limo
51 % de arena

De acuerdo con lo cual se ubica el punto "p" en la figura 2, encontrándose que el material se clasifica como una "marga arenosa". Convirtiendo la Gráfica a la forma tabular, los valores se dan en la tabla 1-2.

Este procedimiento tiene sus limitaciones debido a que no considera las propiedades físicas del suelo, no siendo suficiente la distribución granulométrica en relación a su textura.

Otras clasificaciones, como ya se mencionó, se pueden revisar en la referencia 3 (se analiza la propuesta por la U.S. Public Road Administration, U.S. Engineers, Civil Aeronautic Administration), ref. 4 (Clasificación Casagrande modificada) ref. 6 (SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS Versión antes S.O.P., ahora S.C.T.).

A continuación presento dos tablas que tienen datos interesantes debido a la relación que presentan y que existe entre las clasificaciones de suelo y las subrasantes, terraplenes y cimentaciones, se da en las tablas 1-3 y 1-4, tomadas de el U.S. Bureau of Public Road con las modificaciones hechas en 1945 por el Highway Research Board y el Corp Engineers of the U.S. Army, respectivamente.



CLASIFICACION DE LOS SUELOS CONFORME A SU TEXTURA

FIGURA No. 2

UNAM
E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
 OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES
 EDUARDO CARREON SOLIS

T A B L A 1-2

CLASE DE TERRENO	COMPOSICION			POROSIDAD MEDIA %	CAPACIDAD CAPILAR MEDIA % DEL PESO
	% DE ARENA	% DE FANGO	% DE ARCILLA		
ARENAS.....	80 - 100	0 - 20	0 - 20	39.5	4.9
MARGAS AREMOSAS.....	50 - 80	0 - 50	0 - 20	34.0	19.6
MARGAS.....	30 - 50	30 - 50	0 - 20	37.5	15.9
MARGAS FANGOSAS.....	0 - 50	50 - 100	0 - 20	44.5	26.8
MARGAS ARCILLO-AREMOSAS.	50 - 80	0 - 30	20 - 30	41.0	21.2
MARGAS ARCILLO-FANGOSAS.	0 - 30	50 - 80	20 - 30	47.0	30.0
MARGAS ARCILLOSAS.....	20 - 50	20 - 50	20 - 30	48.0	32.7
ARCILLAS AREMOSAS.....	50 - 70	0 - 20	30 - 50	59.0	36.5
ARCILLAS FANGOSAS.....	0 - 20	50 - 70	30 - 50	51.5	38.5
ARCILLAS.....	0 - 50	0 - 50	30 - 100	55.0	44.6

TABLA 1-3 CARACTERISTICAS DEL SUELO RELACIONADAS CON TERRAPLENES Y COMPACTACION (CORP. OF ENGINEERS)

SUELOS DE GRANULOS GRUESOS

DIVISIONES PRINCIPALES (2)	HOMBRES TÍPICOS (3)	VALOR PARA TERRAPLEN (4)	CARACTERISTICAS DE COMPACTACION (5)	STANDARD BASHO PESO SECO UNITARIO MÁXIMO KG/M ³ (6)	VALOR PARA CIMENTACIONES (7)	REQUISITO PARA CONTROL DE ESCURDILLOS Y NUBES SUBTERRANEAS (8)
GRAVAS Y SUELOS CON GRAVA	GRAVAS BIEN GRADUADAS, MEZCLAS DE ARENA-GRAVA CON POCO O NADA DE MATERIAL FINO	MUY ESTABLE, ENVOLTURA PERMEABLES DE DIQUES	BUENAS TRACTOR CON LLANTAS DE CAUCHO; RODILLO CON RUEDAS DE ACERO	2000-2100	BUENA RESISTENCIA A LA SUS-TENTACION	INTERCEPCION POSITIVA
	GRAVAS MAL GRADUADAS, MEZCLAS DE ARENA-GRAVA CON POCO O NADA DE MATERIAL FINO	BASTANTE ESTABLE, INVOLTURAS PERMEABLES DE DIQUES Y PRESAS	BUENAS TRACTOR CON LLANTAS DE CAUCHO; RODILLO CON RUEDAS DE ACERO	1810-2000	BUENA RESISTENCIA A LA SUS-TENTACION	INTERCEPCION POSITIVA
	GRAVAS LIMOSAS, MEZCLAS DE GRAVA-ARENA-LIMO	BASTANTE ESTABLE, PERO NO MUY APTA PARA EMPLEO EN VOLUNTAS; PUDIENDO USARSE PARA NUCLEOS IMPERMEABLES	BUENAS MEDIANTE CONTROL CUIDADOSO; LLANTAS DE CAUCHO; RODILLO PATA DE CABRA	1920-2100	BUENA RESISTENCIA A LA SUS-TENTACION	ZANJA AL PIE DEL TALUD O NADA
	GRAVAS ARCILLOSAS, MEZCLAS DE GRAVA-ARENA-ARCILLA	BASTANTE ESTABLE, PUDIENDO USARSE PARA NUCLEOS IMPERMEABLES	REGULARES; LLANTAS DE CAUCHO; RODILLO PATA DE CABRA	1940-2000	BUENA RESISTENCIA A LA SUS-TENTACION	NINGUNO
ARENA Y SUELOS ARENOSOS	ARENAS BIEN GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA; POCO O NADA DE MATERIAL FINO	MUY ESTABLE; SECCIONES PERMEABLES; SE NECESITA PROTECCION DE TALUDES	BUENAS TRACTOR	1700-2000	BUENA RESISTENCIA A LA SUS-TENTACION	CAPA DE PROTECCION DEL TALUD AGUAS ARIAS Y DRENAGE DEL PIE DEL TALUD O POCOS
	ARENAS MAL GRADUADAS, ARENAS CON GRAVAS; POCO O NADA DE MATERIAL FINO	BASTANTE ESTABLE; PUEDE USARSE EN SECCIONES DE DIQUE CON TALUDES MUY TENDIDOS	BUENAS TRACTOR	1600 1920	BUENA RESISTENCIA A LA SUS-TENTACION	CAPA DE PROTECCION DEL TALUD DE AGUAS ARIAS Y DRENAGE DE LA NAJE DEL PIE DEL TALUD O POCOS
	ARENAS LIMOSAS, MEZCLA DE ARENA-LIMO	BASTANTE ESTABLE; NO MUY ADECUADO PARA ENVOLTURAS PERO PUEDE USARSE PARA NUCLEOS IMPERMEABLES O DIQUES	BUENAS; MEDIANTE CONTROL CUIDADOSO; LLANTAS DE CAUCHO; RODILLO PATA DE CABRA	1700-2000	BUENA RESISTENCIA A LA SUS-TENTACION	CAPA DE PROTECCION DEL TALUD DE AGUAS ARIAS Y DRENAGE DE LA NAJE DEL TALUD O POCOS
	ARENAS ARCILLOSAS; MEZCLAS DE ARENA-ARCILLA	BASTANTE ESTABLE; USESE PARA NUCLEOS IMPERMEABLES EN ESTRUCTURAS PARA PREVENCIÓN DE INUNDACIONES	BUENAS; RODILLO PATA DE CABRA; LLANTAS DE CAUCHO	1600-2000	BUENA RESISTENCIA A LA SUS-TENTACION	NINGUNO

UNAM

E.N.E.P. ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

OBRA DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES

EDUARDO CARREON SOLIS

TABLA 1-3
 TABLA 1-3 (CONTINUACION) CARACTERÍSTICAS DEL SUELO RELACIONADAS CON TERRAPLENES
 Y CIMENTACION

SUELOS DE GRANULOS FINOS

DIVISIONES PRINCIPALES	NOMBRES TÍPICOS	VALOR PARA TERRAPLEN	CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACION	STANDAR RASNO PESO SECO UNITARIO MÁXIMO KG/M ³	VALOR PARA CIMENTACIONES	REQUISITO PARA CONTROL DE ESCURRIMIENTOS SUS TERRAPLENES
(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
LIMOS Y ARCILLAS	LIMOS INORGANICOS Y ARENAS MUY FINAS; POLVO DE BOCA; ARENAS FINAS LIMOSAS ARCILLOSAS O LIMOS ARCILLOSOS CON LIGERA PLASTICIDAD	ESTABILIDAD BAJA; PUEDE USARSE PARA TERRAPLENES MEDIANTE CONTROL ADECUADO	BUENA A POBRE ES IMVISIBLE UN CONTROL ADECUADO; RODILLO CON LLANTAS DE CAUCHO; RODILLO PATA DE CABRA.	1520-1920	MUY POBRE SUSCEPTIBILIDAD DE LA CURACION	ZANJA AL PIE DEL TALUD O CUACACION
	ARCILLAS INORGANICAS DE PLASTICIDAD BAJA A MEDIANA; ARCILLAS CON GRAVA ARCILLAS ARENOSAS; ARCILLAS LIMOSAS; ARCILLAS MAGNAS	ESTABLE PARA NUCLEOS IMPERMEABLES Y MANTOS DE PROTECCION	REGULAR A BUENA; RODILLO PATA DE CABRA; LLANTAS DE CAUCHO	1520-1920	RESISTENCIA BUENA A POBRE	NINGUNO
LL < 50	LIMOS ORGANICOS Y ARCILLAS LIMOSAS ORGANICAS DE BAJA PLASTICIDAD	NO SON APROPIADOS PARA TERRAPLENES	REGULAR A POBRE; RODILLO PATA DE CABRA	1200-1600	RESISTENCIA REGULAR A POBRE; PUEDE USARSE ASIENTAMIENTOS	NINGUNO
LIMOS Y ARCILLAS	LIMOS INORGANICOS; SUELO FINO ARENOSO O LIMOSO; MECACOS O DIATOMACEOS; LIMOS ELASTICOS	ESTABILIDAD BAJA; NUCLEO DE PRESAS MICHOS POR PROCESAMIENTO HIDRAULICO; NO APROPIADO PARA TERRAPLENES COMPACTADOS A RODILLO.	POBRE A MUY POBRE; RODILLO PATA DE CABRA	1120-1520	RESISTENCIA BAJA A LA SUSTENTACION	NINGUNO
	ARCILLAS INORGANICAS DE ELEVADA PLASTICIDAD; ARCILLAS GRASOSAS	ESTABILIDAD REGULAR EN VALORES TENEDIDOS; NUCLEO DELGADO; ENVOLTURAS DE PROTECCION Y SECCIONES DE BIQUI	MEJIANA A POBRE; RODILLO PATA DE CABRA	1200-1600	RESISTENCIA REGULAR A POBRE A LA SUSTENTACION	NINGUNO
	ARCILLAS ORGANICAS DE PLASTICIDAD MEDIANA A ELEVADA; LIMOS ORGANICOS	NO SON APROPIADOS PARA TERRAPLENES	POBRE A MUY POBRE; RODILLO PATA DE CABRA	1040-1600	RESISTENCIA MUY BAJA A LA SUSTENTACION	NINGUNO
SUELOS CONSOLIDABLES ORGANICOS	TURBAS Y OTROS SUELOS MUY ORGANICOS	NO SE EMPLEAN PARA CONSTRUCCION	NO ES BUENA PARA COMPACTACION		DEBE EXTRAERSE DE LA CIMENTACION	

NOTAS:

- 1.- LOS VALORES DE LA COLUMNAS 4 Y 7 SE USAN SOLO COMO GUIA. EL PROYECTO DEBE BASARSE EN LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA
- 2.- EN LA COLUMNA 5 EL EQUIPO QUE SE INDICA GENERALMENTE PRODUCIRIA LAS DENSIDADES BUSCADAS CON UN NUMERO ADECUADO DE PASADAS, CUANDO LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y ESPESOR DE LA CAPA SE REGULAN BIEN.
- 3.- LA COLUMNA 6 DE PESOS SICOS UNITARIOS ES PARA SUELO COMPACTADO CON EL CONTENIDO OPTIMO DE HUMEDAD PARA LA ESPECIFICACION RASNO (STANDAR PROCTOR) DE ESFUERZO DE COMPACTACION.

U N A M

E. N. E. P. ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES

EDUARDO CARRON SOLIS

TABLA 1-4

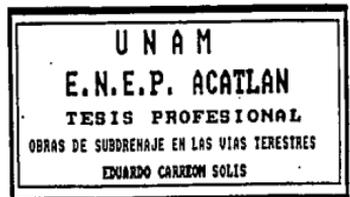
CLASIFICACION DE MATERIALES DE SUBRASANTE DE CAMINOS

SEGUN EL U.S. BUREAU OF PUBLIC WORKS LA MODIFICACION HECHA EN 1945 POR EL "HIGHWAY RESEARCH BOARD"

CLASIFICACION GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% O MENOS PASANDO POR EL TAMIZ No. 200)						MATERIAL DE ARCILLA LIMOSA (MMS 35% PASANDO POR EL TAMIZ No. 200)					
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7		
CLASIFICACION POR GRUPO	A-1-a A-1-b			A-2-4	A-2-5	A-2-6				A-2-7	A-7-5, A-7-6	
ANALISIS GRANULOMETRICO POR CIENTO PASANDO:												
No. 10	50 MAX											
No. 40	30 MAX	50 MAX	51 MAX									
No. 200	15 MAX	25 MAX	10 MAX	35 MAX	35 MAX	35 MAX	36 MIN	36 MIN	36 MIN	36 MIN		
CARACTERISTICAS DE LA FRACCION QUE PASA No.10												
LIMITE LIQUIDO			N.P.	40 MAX	41 MIN	40 MAX	41 MIN	40 MAX	41 MIN	41 MIN		
INDICE DE PLASTICIDAD	6 MAX			10 MAX	10 MAX	11 MIN	11 MIN	10 MAX	10 MAX	11 MIN		
INDICE DEL GRUPO	0		0	0			4 MAXIMO		8 MAX	12 MAX	16 MAX	20 MAX
TIPOS USUALES DE LOS PRINCIPALES MATERIALES CONSTITUYENTES	FRAGMENTO DE PIEDRA, GRAVA Y ARENA		ARENA GRANA FINA	GRAVA Y ARENA LIMOSA O ARCILLOSA			SUELOS LING-50		SUELO ARCI-LLOSO			
CLASIFICACION GENERAL COMO SUBRASANTE	EXCELENTE A BUENA						MEDIANA A POBRE					

PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACION. TENIENDO PRESENTE LOS DATOS DE PRUEBA QUE SE REQUIEREN, PROCEDASE DE IZQUIERDA A DERECHA EN LA TABLA EL GRUPO CORRECTO SE ENCONTRARA POR EL SISTEMA DE ELIMINACION. EL PRIMER GRUPO DE LA IZQUIERDA QUE CONCUERDE CON LOS DATOS DE LA PRUEBA ES LA CLASIFICACION CORRECTA.

TA. EL GRUPO A-7 ESTA SUBDIVIDIDO EN A-7-5 O A-7-6 DEPENDIENDO DEL LIMITE PLASTICO. PARA P_u(30); LA CLASIFICACION ES A-7-6; PARA P_u(20); A-7-5, N.P. DENOTA NO PLASTICO



1.2.2. - CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS

Debido a su influencia sobre la estabilidad de las estructuras, las siguientes propiedades físicas de los suelos son interesantes para el presente estudio:

A.- **Fricción interna** es la resistencia de un suelo al movimiento y varía con el tamaño, forma y rugosidad de los granos, así como con la presión que sobre ellos se aplique. Las arenas presentan un elevado valor de fricción interna, en tanto que las arcillas tienen un valor muy bajo o nulo.

B.- **Cohesión** es la resistencia que se opone a la fuerza que tiende a separar las partículas del suelo que se mantienen unidas mediante películas de humedad, con la ayuda posible de la adherencia característica de los coloides. Las arenas tienen un bajo valor de cohesión, en tanto que las arcillas tienen un valor elevado.

C.- **Compresibilidad** es el cambio de volumen que puede producirse mediante el incremento de presión. Las arenas presentan un valor bajo; en tanto que las arcillas, debido a que puede expulsar de ellas el agua capilar, tienen un valor mucho más elevado.

D.- **Elasticidad** es un carácter distinto de las arcillas y de algunos suelos que contienen materia orgánica, y se evidencian por el rebote o recuperación de la forma del suelo tan luego como se suprime la carga. Por otro lado, la plasticidad es la propiedad de los suelos húmedos arcillosos de poder ser deformados en la mano sin desintegrarse. El límite líquido (Atterberg) y el índice de plasticidad juntos constituyen la medida para la plasticidad de un suelo.

E.- **Permeabilidad** es una medida de la cantidad o volumen de escurrimiento de agua a través de un suelo. El coeficiente de permeabilidad depende en gran parte de los espacios vacíos y por lo tanto, del tamaño, forma y compactación de los granos del suelo. La permeabilidad influye en el espaciamiento y profundidad de los subdrenes, y también en la proporción de asentamiento o compactación de los suelos al ser cargados. Debido a su granulación más fina y poros más pequeños, los suelos arcillosos son menos permeables que los arenosos y, por tanto, requieren más largo tiempo para consolidarse.

F.- **Contenido de humedad** la proporción y variación del contenido de agua de un suelo, tiene gran importancia, ya que altera las propiedades de los elementos que lo constituyen y, por tanto, las del conjunto. Los principales efectos que el agua puede producir son:

1.- Cambia la resistencia al esfuerzo cortante; taludes y cimientos estables con una

determinada proporción de agua pueden, al aumentar ésta, dejar de serlo, ya que en general, al aumentar la proporción de agua, disminuye su resistencia al esfuerzo cortante; en los suelos granulares de tamaño medio y grueso, faltos de cohesión, la proporción de agua no produce alteración sensible del ángulo de fricción interna; en las arenas finas, el agua, hasta una cierta proporción, origina un incremento de resistencia al esfuerzo cortante porque aumenta la cohesión aparente.

2.- El agua actúa como solvente de las sales que el suelo contiene y, por tanto, sobre sus propiedades.

3.- El aumento de la proporción de agua en determinados suelos puede ser causa de un incremento de volumen que produzca movimientos en las terracerías o en la cimentación; este fenómeno se presenta en algunos suelos arcillosos expansivos

4.- El agua contenida en el terreno puede helarse, y al aumentar de volumen, ser causa de la desintegración del terreno o de movimientos del mismo, que originen perturbaciones en las terracerías o en la cimentación.

5.- Si la proporción de agua no es uniforme, la resistencia del cimiento será desigual y desiguales los asentamientos de la terracería.

La proporción de agua de las terracerías y cimentaciones deberá ser una constante preocupación.

G.- Capilaridad es el movimiento o absorción del agua en un suelo por medio de los conductos capilares o aberturas finísimas que se forman entre los granos del suelo. Se efectúa en todas direcciones y la gravedad tiene sólo una pequesísima influencia sobre ella. Las arenas, con sus espacios intergranulares bastante grandes, presenta muy poca capilaridad; en cambio, las arcillas poseen una capilaridad muy elevada, la cual contribuye a influenciar su cohesión, compresibilidad, elasticidad y permeabilidad.

H.-La contracción y expansibilidad de los suelos pueden ser muy perjudiciales para las estructuras que se apoyan sobre ellos, debido a los cambios de volumen, especialmente cuando estos cambios no son uniformes.

De suma importancia es el hecho de que el comportamiento de ciertos suelos en su estado natural y después de que han sido remoldeados pueden diferir considerablemente. Esto se explica por el reajuste de las partículas durante el manejo, lo que puede originar, ya sea que se afloje aumentando el volumen, o bien que resulten más compactados de lo que lo estaban en

su estado natural. Como resultado de esto, el comportamiento de un determinado suelo en su estado natural, que tenga el mismo contenido de agua que después de retrabajado, puede no coincidir como se esperaba. La arena aumenta de volumen al mojarse ligeramente, y vaciarse en un recipiente; en tanto que la misma cantidad mojada ocupa menos volumen en su estado natural. En los suelos finamente granulados, el retrabajado frecuentemente se nota como un cambio en las propiedades de cohesión y de resistencia a la sustentación del material.

1.2.3.- SUELOS DE LA SUBRASANTE

Los suelos de la subrasante o base de la vía, deben ser de tal naturaleza que combinados con un pavimento o balasto, soporte las cargas sin sufrir asentamientos ó desplazamientos. Generalmente no es práctico evitar que toda la precipitación y el agua que escurre se filtre hacia abajo por las grietas, banquetas o balasto suelto.

El empleo de suelos convenientes para la subrasante es una ayuda para el subdrenaje, así como medio de interceptar el agua capilar y evitar el daño causado por las heladas, el bombeo del lodo y la formación de bolsas de agua bajo las cargas e impacto del tránsito. Los suelos granulares con valores relativamente elevados de fricción interna y permeabilidad, son generalmente satisfactorios para usarse como capa subrasante o de subbase o base.

Las arenas con cualidades de fricción elevadas, cuando están compactadas no están sujetas al desarrollo de bolsas de agua. Una medida de la habilidad de los suelos arenosos para conservar su estabilidad como subrasantes, es el factor de plasticidad. Los índices de plasticidad inferiores a 8, en suelos arenosos indican generalmente subrasantes con muy buen poder de sustención para las cargas de tránsito actuales. Los limos, cuando no están bien compactados pueden ser inestables. Una buena densidad es difícil de obtener, lo que unido a propiedades elevadas para conservar el agua capilar, hace que los limos sean generalmente materiales impropios para subrasantes, especialmente cerca de su parte alta. Aun cuando lentamente, se forman bolsas en los suelos limosos. Los levantamientos producidos por las heladas, son frecuentes y los terraplenes los seguirán sufriendo durante largos períodos, a menos que hayan sido bien compactados y sujetos a vigilancia constante.

Los limos pueden no tener plasticidad en los materiales de grano más grueso y generalmente muestran índices de plasticidad inferiores a 10. La baja plasticidad en un suelo predominantemente limoso no da una buena indicación respecto a su estabilidad en la subrasante. Además, los limos están sujetos a erosión subterránea, dejando espacios vacíos cerca de las alcantarillas, drenes, etc., los cuales presentan alguna filtración.

Las arcillas y suelos arcillosos son los más sujetos a pérdida de resistencia conforme aumenta el contenido de humedad; su permeabilidad es relativamente baja. Cuando se usan las arcillas el tratamiento varía; pero deben incluirse medios para drenarse y deben llevar una capa o cubierta granulada de suficiente espesor, para reducir las cargas a un límite inferior a la resistencia de los suelos bajo condiciones desfavorables.

1.2.4.- RECOMENDACIONES PARA EL ANALISIS DE SUELO

Los estudios e investigaciones de los suelos varían de acuerdo con su objeto o importancia; pueden hacerse antes de iniciarse una nueva construcción, ayudando así a definir la mejor localización de los suelos más apropiados para un camino. También pueden hacerse en las vías terrestres existentes las que experimenten algunas dificultades por levantamientos, asentamientos o destrucción prematura del pavimento.

El método empleado para hacer estudios, tanto en el campo como en el laboratorio, es diferente en los distintos estados; pero las observaciones siguientes son de utilidad:

1.- Debido a que el agua subterránea es la principal causa de la inestabilidad del suelo de la subrasante, las investigaciones deben hacerse de preferencia en las condiciones debidas al agua subterránea peores.

2.- El agua subterránea puede encontrarse en forma de manantiales; como filtraciones en los taludes de los cortes; como filtraciones directamente en la superficie del camino o en las banquetas

3.- En el caso de deslizamientos del terreno u otras condiciones en las que se sospecha que la causa de los problemas se debe a la existencia de una fuente de agua lejana, el empleo de métodos indicadores que permiten a veces localizar el origen de estos males, son buenos, ya que son estables, y por lo tanto se emplean con preferencia.

4.- En ocasiones el empleo de una sencilla barrena para suelos basta generalmente para localizar el manto de agua o la capa impermeable.

5.- La roca estratificada y otras condiciones complican la localización del manto de agua; pero a pesar de las dificultades o del costo de las investigaciones debe de continuarse, sin basarse en suposiciones, especialmente si se han experimentado ya los perjuicios causados por el agua o se esperan que se presenten.

6.- Se deben realizar observaciones antes, durante y después de la construcción. Se han obtenido informaciones de primera clase para estudios del suelo, con este tipo de observaciones.

7.- Un camino es tan bueno como su cimentación, de manera que el estudio de ésta, debe estar en relación con la importancia de dicha vía terrestre.

1.3 FILTRACION Y MOVIMIENTOS DEL AGUA EN EL TERRENO

Los suelos deben ser resistentes para servir como bases y cimentaciones para el transporte y estructuras. La resistencia puede aumentarse y controlarse de varios modos: 1 - contenido de agua; 2 - aditivos químicos; 3 - granulometría apropiada de los terrenos naturales; 4 - compactación. Cualquiera que sea el tratamiento que se elija, la inclusión de agua en exceso después de la construcción debilitaría o destruiría la cimentación que se busca. Por lo tanto, es sumamente importante que exista un entendimiento muy claro respecto al efecto del agua en relación con los suelos. Los estudios de la subrasante han hecho resaltar que el exceso de humedad en la mayor parte de los casos, la causa de una cimentación defectuosa y la destrucción de la superficie del camino o el deslizamiento de una vía férrea. El agua llega a la subrasante por filtración, escurrimiento, manantiales, intercepción del manto freático, capilaridad, etc.

El poder de filtración de un terreno, está estrechamente relacionado con el tamaño de las partículas del mismo y con la porosidad o tanto por ciento de huecos que dejan entre sí dependiendo ésta a su vez de la forma de los granos y el desarrollo de la superficie de los mismos.

Cuanto mayor es el tamaño de los granos, mayor es el de los poros; pero el número de poros es mucho menor que cuando las partículas son pequeñas, por lo que la porosidad es mayor en los suelos finos que en los compuestos gruesos.

La humedad del suelo proviene de 3 orígenes: acción de la gravedad, capilaridad e higroscópica.

1.- El agua que corre por gravedad se encuentra libre para moverse por la acción de dicha fuerza, es la única que puede extraerse por medio de subdrenaje.

2.- El agua capilar se adhiere, por tensión superficial, a las partículas de suelo, llegando a dichas partículas ya sea cuando el agua libre pase a través del suelo por atracción capilar, desde un estrato mojado a otro más seco. La gravedad no tiene influencia sobre esta agua que puede moverse hacia arriba o en cualquier otra dirección, y aun cuando no pueda extraerse por medio de drenaje, sí puede controlarse haciendo bajar el nivel freático. El agua capilar sólo puede extraerse mediante calentamiento, evaporación, congelación, o por medio de grandes presiones.

3.- La humedad higroscópica es la que se condensa de la atmósfera sobre la superficie de las partículas del suelo y se combina con él; no puede extraerse en su totalidad, excepto por calor excesivo y no se congela a 78 grados centígrados bajo cero. Esta agua tiene poca o ninguna importancia.

1.3.1.- AGUA CAPILAR

Cuando los granos de un suelo son suficientemente finos, los conductos capilares son tan pequeños que la capilaridad (movimiento en cualquier dirección) es más poderosa que la gravedad. El subdrenaje no extrae el agua capilar directamente pero limita la altura a que puede subir.

La presencia de humedad capilar en la subrasante, sin la presencia adicional de agua libre, puede no ser perjudicial, mientras sólo sirva para aglutinar las partículas más bien que para lubricarlas; sin embargo, la humedad capilar en cualquier suelo es por lo general un 50% en exceso de la que se requiere para el límite plástico inferior, de modo que los suelos saturados a su límite capilar se encuentran en situación de peligro. El peligro mayor ocurre generalmente relacionado con heladas, cuando la formación de hielos causa hinchazones o levantamientos y la subsiguiente liberación de agua que produce una subrasante esponjosa e inestable.

Estas fuerzas capilares son mayores en los puntos en que la película de agua tiene mayor curvatura, originándose los movimientos desde los puntos de menor curvatura a los de mayor, hasta que se establece el equilibrio.

La acción capilar es más rápida en los suelos de grano grueso que en los de grano fino; sin embargo, la altura máxima a la que el agua capilar se eleva en los suelos de grano grueso es mucho menos que en los de grano fino. En una arena mediana (partículas de 0.3 mm de diámetro), el agua subirá como 45 cm. sobre el nivel freático (agua libre). En un limo (partículas menores de 0.05 mm) la elevación puede alcanzar como 2.7 m, y en una arcilla la altura puede ser un poco mayor.

Vemos pues, que cuando las partículas del suelo son de tamaño muy pequeño, las fuerzas capilares son muy fuertes y es muy grande la capacidad capilar. Al mismo tiempo, si el agua capilar llena la mayor parte de los poros, la permeabilidad del suelo es muy baja por no existir espacios para que pase el agua libre y a la vez que el terreno se hace plástico, se impermeabiliza.

Por el contrario, si los poros son grandes, el agua capilar es muy poca, y deja espacios libres para que se filtre el agua en el terreno.

Los suelos de la subrasante varían entre los de grano grueso hasta los de grano fino, con un porcentaje considerable entre ambos extremos. Los suelos de grano grueso responden muy bien al drenaje, así como la mayoría de los granos intermedios; sin embargo, las arcillas finamente granuladas, son menos susceptibles al drenaje.

1.3.2.- AGUA LIBRE

El agua libre entra a la subrasante o sale de ella por la acción de la gravedad. Dicha agua se filtra por los poros de los distintos suelos; por las grietas o agujeros y canales formados por insectos, lombrices, raíces de las plantas en descomposición y por la acción de las heladas. La porosidad de los suelos regula en gran medida la rapidez de escurrimiento.

Las gravas y arenas sobre suelos impermeables ofrecen excelentes canales subterráneos, siempre que exista alguna pendiente desde la parte alta de la capa impermeable y que no se intercalen estratos impermeables. Estos mismos canales subterráneos que alejan el agua del suelo sirven también para trazar la que causa perjuicios a la subrasante. Esto se observa claramente en los cortes y excavación en ladera, cuando los mantos de agua o las capas impermeables se cortan a causa de la construcción; los más frecuentes ocurren cerca de las cimas de las colinas o en los puntos de transición de corte en terraplén.

El agua libre se sigue filtrando por el terreno, hasta que llega a una capa impermeable o a una capa de agua; en ambos casos deja de actuar la gravedad, se llenan todos los poros de agua libre, el terreno se inunda y se hace completamente impermeable, no pudiéndose hacer la evacuación más que por movimientos horizontales sobre los estratos permeables. Esta agua es la que es necesario eliminar por la red subdrenaje con el objeto de que, cuando haya más precipitación en la superficie del suelo, pueda filtrarse libremente y se evacue. De otra manera, aunque el agua superficial se evacue por el drenaje de superficie, el terreno estará inundado y se hará inestable.

Estos escarmentos, aun cuando se observan más claramente durante la época de lluvias, también se nota después de estas, cuando las partes inmediatas de la superficie del camino se han secado ya. El tránsito de vehículos tiene también el efecto de "bombear" parte de esta agua por las grietas o directamente a través de la superficie del camino.

Esta agua es perjudicial, no sólo porque disminuye la resistencia y estabilidad de la subrasante, sino porque puede congelarse en la superficie constituyendo un peligro para el tránsito, ya que los conductores de vehículos llegan desprevenidos a estos tramos resbaladizos. Esta agua puede y debe ser retirada antes de que sea causa de accidentes.

Para que el efecto en los cimientos de las terracerías de las vías terrestres sea perjudicial, basta en muchos casos, con que el suelo contenga agua capilar en menor cantidad que su capacidad máxima, ya que no es necesario que contenga más que la suficiente para mantener al terreno en estado plástico.

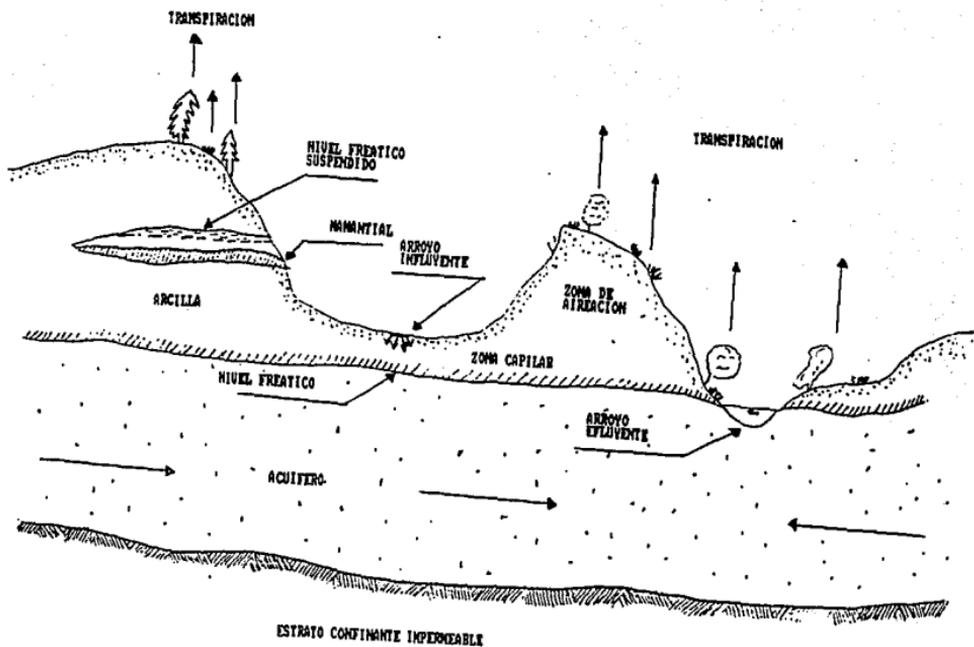
Existen otras formas de encontrar agua en el subsuelo y pueden ser de 3 maneras, una como se acaba de mencionar a través de la lluvia o nieve, meteórica; la segunda es la llamada de formación, que es la que ocupa los espacios entre sedimentos que quedaron en el fondo de océanos y lagos. Por último se tiene el agua magnética o juvenil producto de la actividad volcánica, de la magnética o de la condensación de vapores derivados de magmas profundos, este tipo de aguas se le conoce como aguas subterráneas. El agua subterránea puede almacenarse de diferentes 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.

Existen otros tipos de formaciones en que es posible encontrar agua en volúmenes muy apreciables. Las calizas, por ejemplo, son muy variables como formaciones acuíferas, pues su porosidad depende mucho de su disolución interna, pero cuando esta es importante, puede dar lugar a abundantes manantiales, ríos subterráneos, etc. Las rocas volcánicas suelen contener también manantiales; a veces su porosidad es muy grande, pero sus poros no necesariamente están intercomunicados.

Las rocas ígneas cristalinas y las rocas metamórficas suelen ser las menos abundantes en agua y la que se encuentra procederá de sus fracturas.

Las arcillas y los suelos arcillosos son capaces de almacenar enormes cantidades de agua.

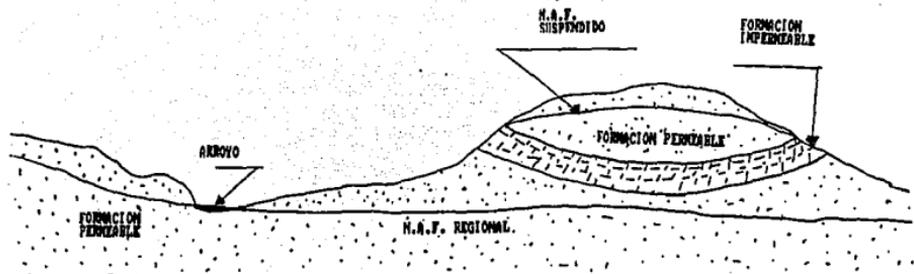
En la figura 3 se muestran las diversas formas en que se puede encontrar el agua en el subsuelo. En la referencia No. 6 se mencionan lugares con más probabilidad de encontrar grandes cantidades de agua en las laderas naturales constituidas por materiales porosos y en zonas planas de los valles, es en las cuencas subterráneas donde se encuentran las características típicas de estos suelos, este tipo de perfiles geológicos se muestra en la figura 4. Además menciona y muestra algunos casos muy típicos de los perfiles geológicos que propician la aparición de agua en laderas naturales, ver figura 5.



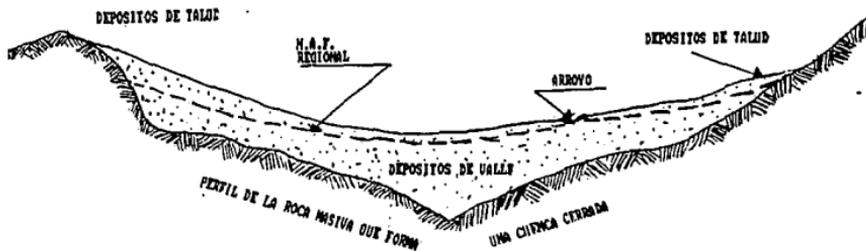
FORMAS DE AGUA SUBTERRANEA

FIGURA No. 3

<p>UNAM</p> <p>E.N.E.P. ACATLAN</p> <p>TESIS PROFESIONAL</p> <p>OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES</p> <p>EDUARDO CARRERON SOLIS</p>
--



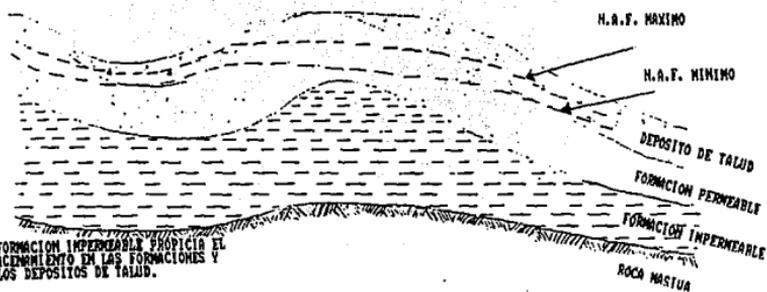
PERFIL GEOLOGICO QUE PROPICIA UN N.A.F. SUSPENDIDO
 FIGURA No. 4



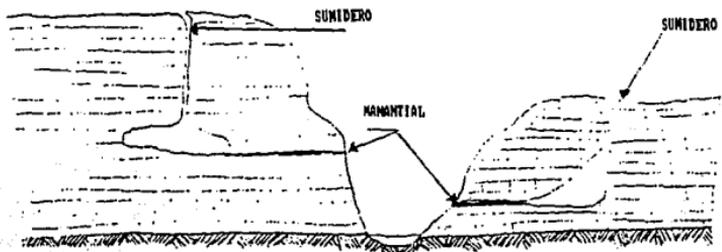
CUENCA SUBTERRANEA CERRADA

FIGURA No. 4a

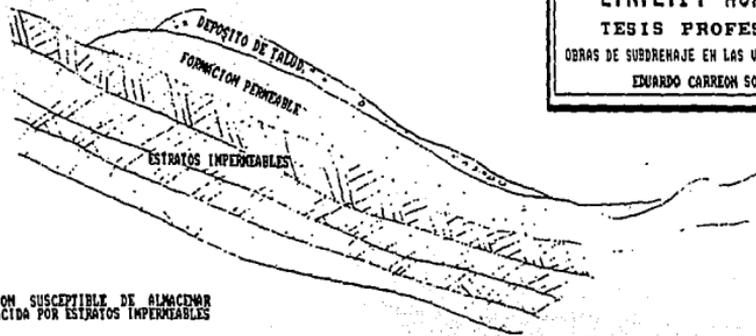
<p style="text-align: center;"> UNAM E.N.E.P. ACATLAN TESIS PROFESIONAL OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES EDUARDO CARRON SOLIS </p>



5a.- LA FORMACION IMPERMEABLE PROPICIA EL ALMACENAMIENTO EN LAS FORMACIONES Y EN LOS DEPOSITOS DE TALUD.



5b.- LOS SUMIDROS EN LAS FORMACIONES CALIZAS DE LAS LADERAS PROPICIAN ACUMULACION DE AGUA EN LAS CAVERNAS, LA CUAL BROTARA AL EXTERIOR EN FORMA DE MAMANTIAL.



OTRO TIPO DE FORMACION SUSCEPTIBLE DE ALMACENAR AGUA POR ESTAR SUBYACIDA POR ESTRATOS IMPERMEABLES

U N A M
E. N. E. P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
 OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES
 EDUARDO CARREON SOLIS

EJEMPLO DE FORMACIONES TYPICAS QUE PROPICIAN EL ALMACENAMIENTO DE AGUA EN LADERAS NATURALES

FIGURA No. 5

CAPITULO I

- 1.- MANUAL DE DRENAJE Y PRODUCTOS DE CONSTRUCCION
ARMCO SECC VII CAP. 37
- 2.- JIMENEZ HERNANDEZ VICENTE
INFLUENCIA DEL DRENAJE EN LA CONSERVACION DE CAMINOS
IPN CAPITULO IV
- 3.- FEDERICO L. PEDRAZA
AEROPUERTOS
ED. DOSSAL CAP. XVII
- 4.- ING. JOSE LUIS ESCARIO
CAMINOS
ED. PROGRESO CAP. X
- 5.- TECHNICAL MEMORANDUM No. 3-357 VOL. II
CORPS OF ENGINEERS VICKSBURG MISSISSIPPI

REFERENCIAS

- 1.- FEDERICO L. PEDRASA
AEROPUERTOS
ED. DOSSAL CAP. XVII
- 2.- IND. JOSE LUIS ESCARIO
CAMINOS
ED. PROGRESO CAP. X
- 3.- TECHNICAL MEMORANDUM No. 3-357 VOL. II
CORPS OF ENGINEERS VICKSBURG MISSISSIPPI
- 4.- ALFONSO RICO Y HERMILO DEL CASTILLO
LA INGENIERIA DE LOS SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES
ED. LIMUSA VOL. I CAP. 7

2.- EXPERIENCIAS, SOLUCIONES Y RESULTADOS

DE OBRAS DE SUBDRENAJE

2.1 CONDICIONES GENERALES.

Existen 2 clases importantes en la humedad de suelo: el agua libre y el agua capilar . Un poco de humedad puede ayudar a aglutinar las partículas del suelo, haciéndolo más compacto.

Cuando se humedece un suelo que contenga la máxima humedad higroscópica, la película que rodea los granos de tierra comienza a crecer, tendiendo a aproximarlos por efecto de la tensiones capilares.

La cantidad de agua en forma capilar puede llegar a aumentar el agua higroscópica en un 50%, sin producir movimiento alguno, pero a partir de ese punto y debido a las fuerzas capilares, comienza el agua a llenar algunos pequeños poros y a moverse en direcciones cualesquiera, y más fácilmente en las que están favorecidas por la gravedad.

Estas fuerzas capilares son mayores en los puntos en que la película de agua tiene mayor curvatura, originándose los movimientos desde los puntos de menor curvatura a los de mayor, hasta que se establece el equilibrio.

En este estado, siguen existiendo fuerzas de adherencia entre el agua y los granos, que van disminuyendo progresivamente a medida que aumentan el espesor de la película de agua, llegándose así a un punto, en que la tensión de adherencia se equilibra con las fuerzas de gravedad, y entonces el terreno contiene la máxima cantidad de agua que puede retener en forma capilar, la que medida en tanto por ciento del suelo seco, se denomina coeficiente de capacidad capilar.

Si la cantidad de agua, que contiene el terreno sobrepasa su capacidad capilar, parte de ella queda libre y sujeta solamente a las fuerzas de gravedad, siendo arrastrada hacia otros puntos; esta agua debe ser eliminada para que la humedad no se propague en el terreno.

La necesidad de habilitar un drenaje subterráneo o subdrenaje en ocasiones suele ser un

enigma para los proyectistas, o responsables de la construcción o conservación de terracerías u otras estructuras térreas, tales como cortes, taludes, etc.; dada la falta de información sobre las condiciones del agua del subsuelo, su cantidad, variación con el tiempo y su movimiento dentro de la estructura del mismo; lo que conlleva a que en muchos casos solo se trate de corregir sus efectos, sin eliminar las causas.

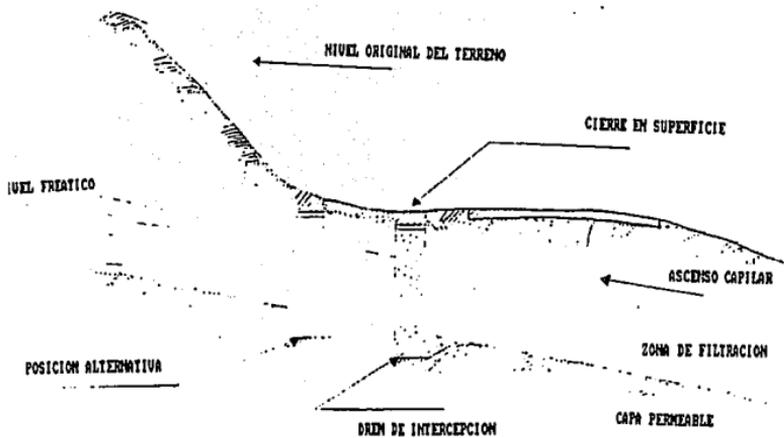
La solución en general a los problemas que causa el agua suele ser: intentar aprovechar las mejores características del suelo, en cuanto a consistencia y resistencia, las cuales se merman cuando se incrementa el contenido de humedad de los suelos; un suelo seco proporciona la mejor cimentación.

Por tanto el drenaje subterráneo se proyectará para controlar y/o limitar la humedad y su variación de los diversos materiales naturales que conforman una terracería u otra estructura térrea. Sus funciones serán alguna o varias de las siguientes:

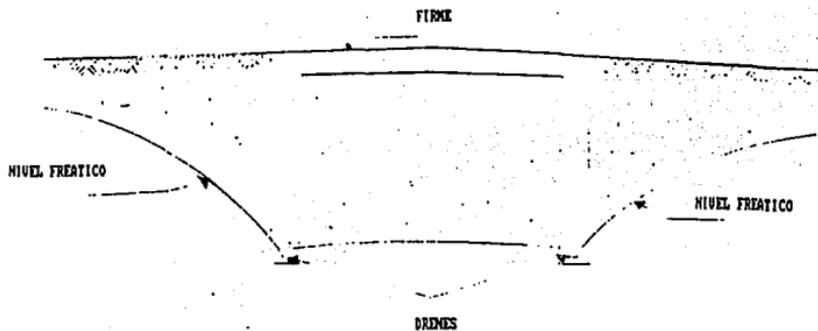
a) Interceptar y desviar corrientes subterráneas antes de que lleguen al lecho de las terracerías, o a la zona donde se desarrollan las fuerzas activas que afectan la estabilidad de éstas o de la estructura térrea de que se trate.

b) Hacer descender el nivel freático. Se recomienda que la capa freática quede por lo menos a un metro por debajo del nivel de plataforma o subrasante. Si no se cumple será preciso bajarlo, o en su defecto elevar el nivel de las terracerías

En las figuras 6, 7 y 8 se muestran la disposición general que deben tener las obras de subdrenaje y, para cumplir con las funciones arriba descritas.



DREN DE INTERCEPCION
FIGURA 6



DRENES PARA REBAJAR EL NIVEL FREATICO
FIGURA 7



DRENES DE PENETRACION TRANSVERSALES

FIGURA 8

2.2.- OBRAS DE SUBDRENAJE

El drenaje subterráneo es el que sirve para captar y eliminar las aguas que fluyen dentro de una estructura de vía terrestre ó para evitar en lo más posible el efecto que produce la humedad y sus variaciones en las mismas.

Desafortunadamente no siempre es posible prevenir un exceso de agua proporcionando una adecuada superficie de drenaje. A veces la erosión del talud y el reblandecimiento del pavimento son el resultado de agua que se mueve a través de capas permeables de suelo.

El drenaje subterráneo es, desde muchos aspectos, semejante al drenaje superficial; las capas impermeables forman canales bien definidos o vasos de almacenamiento de agua subterránea, lo mismo que hace la Topografía en la superficie. El drenaje subterráneo es la manera de proporcionar conductos de drenaje adecuados para controlar el escurrimiento de esa agua rápidamente.

El problema que presenta el drenaje subterráneo es complejo y cada caso en particular requiere su estudio a fondo, para darle una solución particular siguiendo los lineamientos generales del estudio y atacando al problema en la causa de éste y no en el efecto que produzca; esto a primera vista resultará más costoso pero, a la larga, será más económico.

El estudio del drenaje subterráneo incluye un conocimiento vasto de las propiedades y características de los suelos, pues la solución que se le da al problema, depende en gran parte del conocimiento que se tenga de los suelos.

Para en algunos casos corregir estos problemas, será necesario instalar drenes debajo del terreno, los cuales interceptarán y canalizarán el agua del mismo a una corriente o a un sistema abierto de drenaje. Para nuestro estudio el drenaje subterráneo lo subdividiremos en:

- a).- Obras de subdrenaje superficial
- b).- Obras de subdrenaje profundo.

Las obras que podemos enumerar dentro de las obras de subdrenaje superficial, son: zanjas abiertas, drenes ciegos, drenaje del pavimento y drenes de intercepción (longitudinales y transversales).

Dentro de las obras de subdrenaje profundo, se encuentran: subdrenes, drenes de penetración transversales u horizontales, capas permeables profundas con remoción de material, trincheras estabilizadoras, galerías filtrantes y pozos de alivio.

2.2.1.- OBRAS DE SUBDRENAJE SUPERFICIAL

2.2.1.1.- ZANJAS ABIERTAS

Se han usado para caminos en zonas planas. Se usa generalmente, una sola zanja y se coloca a unos cuantos metros fuera del camino y paralelamente a él. Se hacen de unos 50 a 60 cm. de ancho y de 90 a 120 cm. de profundidad.

Con las zanjas se puede garantizar que el N.A.F. se conserve bajo la superficie del camino y la profundidad a que se construye debe ser mayor que las profundidades a que se requiera conservar el N.A.F. . Tiene el inconveniente de que, en una lluvia fuerte, el nivel de las aguas se eleva, perdiendo la zanja su efectividad como subdren.

El uso de la zanja da como resultados efectivos durante corto tiempo, con tal que la zanja tenga una pendiente uniforme y disponga de un punto de descarga conveniente. Pero con el tiempo, la zanja en condiciones ordinarias, pronto se azolve por derrumbes de sus paredes, por el crecimiento de plantas en el fondo, requiriendo en consecuencia una conservación constante.

2.2.1.2.- DRENES CIEGOS

Son zanjas rellenas con material granular y selladas con material impermeable en la parte superior; el material granular de mayor tamaño ira colocado en la parte inferior y, conforme disminuye la profundidad de la zanja disminuye el tamaño del material granular.

El empleo de una capa sellante evita la infiltración del agua superficial que puede arrastrar limo y obstruir el relleno. El material empleado para obtener la impermeabilidad puede ser arcilla o una mezcla artificial con asfalto u otro material sellante.

Su uso ha dado buenos resultados y se recomienda su empleo cuando se garantice que su

construcción se haga en forma adecuada.

Cuando se necesitan drenes paralelos al camino, lo recomendable es construir uno en cada lado, en la forma que se indica en la figura 9. Para ser efectivos estos drenes ciegos, deben tener una pendiente uniforme e ir a descargar a una salida adecuada.

El material granular para usarse en un den ciego lo recomienda la U.S. Waterways Experiment Station Vicksburg, Mississippi de acuerdo a la figura 10.

2.2.1.3.- DRENAJE DEL PAVIMENTO.

Es preciso dar fácil salida al agua que se filtra a través de los pavimentos. A primera vista se pudiera pensar que es imposible que se filtre el agua a través de una capa de concreto asfáltico cerrado o de un pavimento de concreto hidráulica. En la practica no es así, un pavimento asfáltico de granulometría abierta es bastante permeable; pero aunque sea de granulometría cerrada hay que contar que siempre se puede producir desigualdades donde se embalsa el agua que se filtra después por fisuras que inevitablemente, se forman cuando el pavimento envejece; además, existen otros caminos para penetrar el agua en la base del pavimento como los contactos en los bordillos y otras estructuras colocadas en los pavimentos de las terracerías, que no suelen ser impermeables, y las juntas de los pavimentos de concreto. Para dar salida a esta agua se colocan capas drenantes (sub-bases y bases permeables) entre el pavimento y el cuerpo del terreno o terreno natural ; es conveniente que la constitución del pavimento sea tal que la permeabilidad de los materiales que lo forman vayan creciendo con la profundidad.

Salvo en el caso de explanadas permeables, debe proyectarse el drenaje de la capa drenante, constituida por la base, por la sub-base del firme, o por ambas, bien mediante drenes enterrados o prolongando la capa drenante hasta los taludes de los terraplenes o cunetas.

Además deben darse pendientes transversales mínimas a la explanada, sub-base y base. Los valores de estas pendientes mínimas y las disposiciones a adoptar con la capa drenante desaguando en el talud del terraplén, en una cuneta, o en un dren enterrado se detallan en la figura 11.

Otra función importante de las capas de filtro pudiera ser, servir de transición entre los

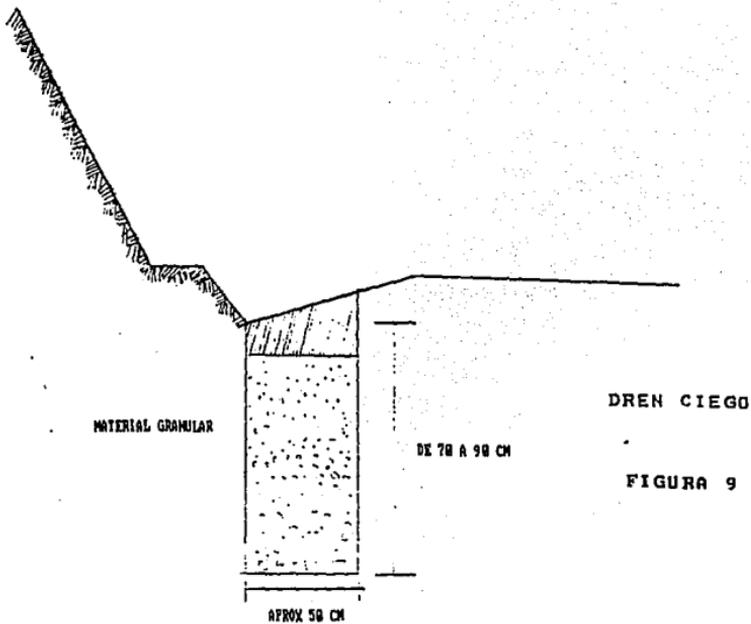
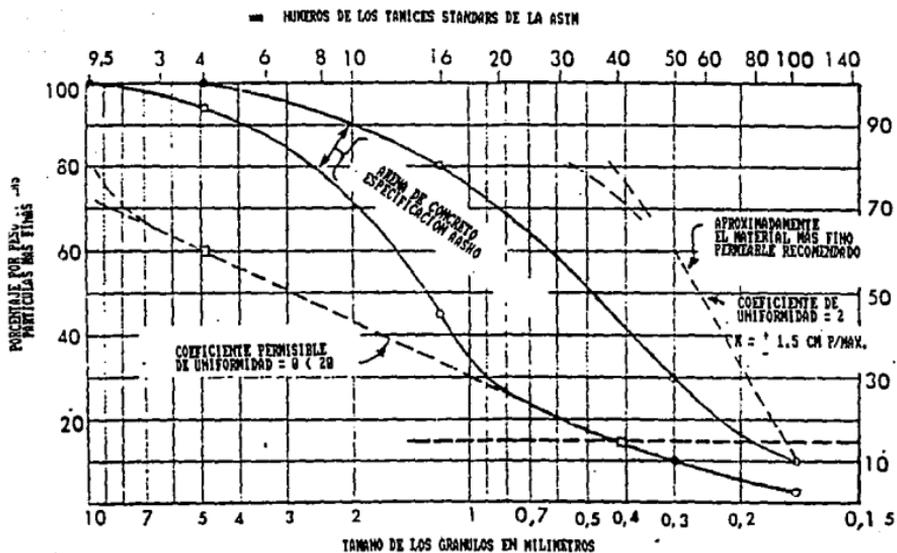


FIGURA 9



GRAVA GRUESA	GRAVA MEDIANA	GRAVA FINA	ARENA GRUESA	ARENA MEDIANA	ARENA FINA	LIMO
--------------	---------------	------------	--------------	---------------	------------	------

CLASIFICACION DE LOS SUELOS SEGUN EL U.S. BUREAU OF SOILS

GRAFICA QUE MUESTRA LOS LIMITES Y GRADUACIONES DEL MATERIAL GRANULAR PARA PROPORCIONAR EL RELLENO MAS ADECUADO EN UN SUBDREN

FIGURA 10

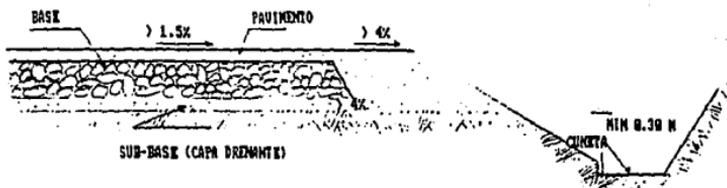
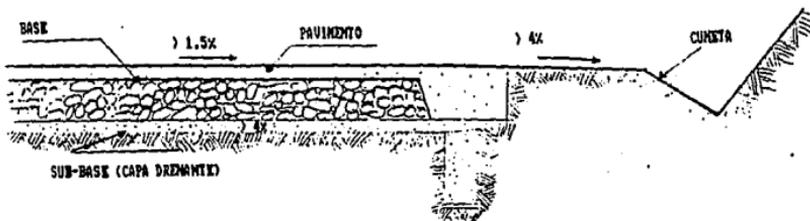
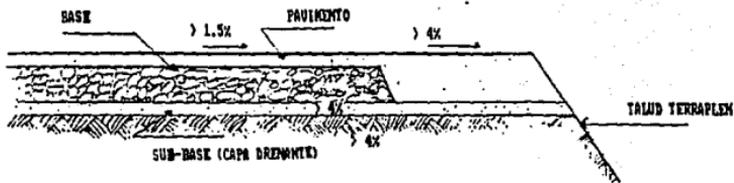
UNAM

E.N.E.P. ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES

EDUARDO CARRIZO SOLIS



DRENAJE DEL PAVIMENTO

FIGURA 11

U N A M
E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES
EDUARDO CARRION SOLIS

materiales finos de terciaría y alguna capa de material triturado grueso que haya de colocarse encima, para impedir la incrustación de los fragmentos gruesos en la matriz fina.

En la figura 12 (ref.1) se muestra la utilización de las capas drenantes para el control de la infiltración de la parte superior del pavimento y de la ascensión de agua proveniente de capas inferiores, en las que se supone existe subpresión.

Debe verse como inconveniente colocar la capa drenante como la subrasante que forma la cama de corte debido a que se pierde resistencia al saturarse la capa drenante, ganándose la capacidad de deformación, por lo que el conjunto del pavimento y capa drenante podrán tener un mal comportamiento, al quedar flotando sobre una capa saturada.

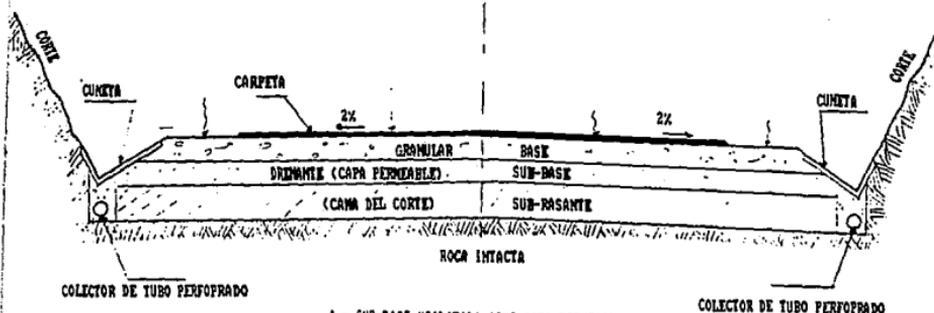
A veces una capa permeable de material grueso se coloca en la parte inferior de un pavimento o aun en el cuerpo o la parte inferior del terraplén, con la finalidad de interrumpir un proceso de ascensión capilar que, de otra manera, terminaría por perjudicar la capa subrasante, la sub-base y aún, quizá la base de dicho pavimento. Estas son las capas rompedoras de capilaridad, cuya función es impedir el acceso del agua, pero no drenarla; no son propiamente capas drenantes. Se trata de poner al material fino del terraplén en contacto con el aire en los huecos grandes entre las partículas gruesas, para dar ocasión a la formación de los meniscos necesarios para que el agua no continúe su ascenso, quedando libres de ella capas de suelos colocadas por encima.

2.2.1.4.- DRENES DE INTERCEPCION

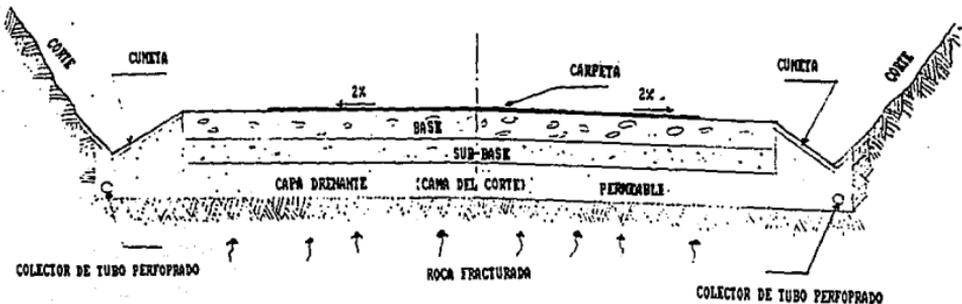
Tratándose de filtraciones en ladera o laterales, se consideran 2 condiciones: una cuando la zona de escurrimiento cae en el talud del corte y la otra cuando pasa bajo el camino. La zona puede estar constituida por una grieta angosta o por una amplia y profunda capa permeable, como se ve en la figura 13.

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 en 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 14.

Los taludes del corte erosionados por las filtraciones presentan un desagradable aspecto.



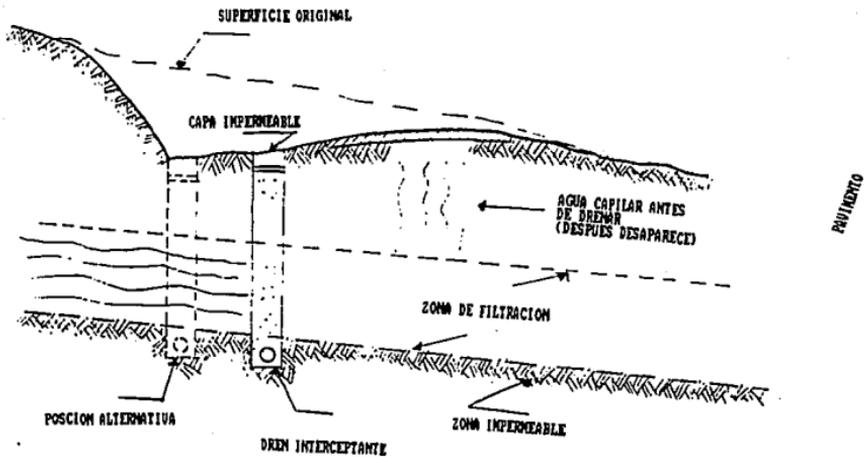
A.- SUB-BASE UTILIZADA COMO CAPA PERMEABLE.
PARA INTERCEPTAR AGUA PROVENIENTE DEL
PAVIMENTO



B.- SUB-RASANTE UTILIZADA COMO CAPA PERMEABLE.
PARA INTERCEPTAR FLUJO ASCENDENTE POR
SUBPRESION

CAPAS PERMEABLES
FIGURA 12

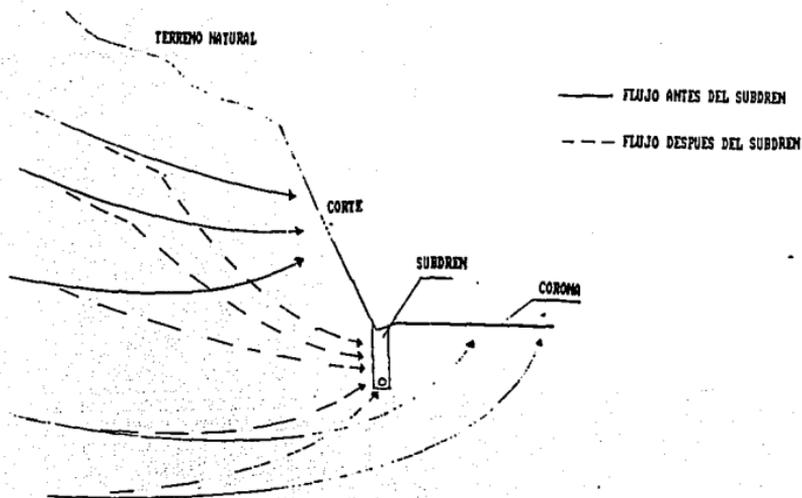
UNAM
E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES
EDUARDO CARRION SOLIS



POSICION DEL DREN INTERCEPTANTE PARA EVITAR EL ASCENSO
CAPILAR DESDE UNA ZONA DE FILTRACION EN LADERA Y AGUA
LIBRE BAJO UNA CARRETERA.

FIGURA 13

<p style="text-align: center;">U N A M E. N. E. P. ACATLAN TESIS PROFESIONAL OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES EDUARDO CARREON SOLIS</p>



FLUJO HACIA EL TALUD Y
LA CAMA DE UN CORTE

FIGURA 14

<p style="text-align: center;">U N A M</p> <p style="text-align: center;">E.N.E.P. ACATLAN</p> <p style="text-align: center;">TESIS PROFESIONAL</p> <p style="text-align: center;">OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES</p> <p style="text-align: center;">EDUARDO CARREON SOLIS</p>
--

Muy frecuentemente traen como resultado depósitos de lodo, agua y hielo en la superficie de rodamiento.

Cuando las zonas de escurrimiento se encuentran bajo el camino se consideran 2 casos. El primero, la parte alta de la zona de escurrimiento se presenta de 0.60 a 1.20 m bajo la superficie del camino, y el fondo a 2 m o menos. Puede haber agua libre en la subrasante, la que es "bombeada" por el tránsito. Por otra parte, el agente perjudicial puede ser el agua capilar que origine una subrasante inestable.

La solución recomendable consiste en instalar un dren interceptante, ya sea en la banqueta o en la línea de cuneta para desviar el agua libre antes de que penetre en la zona del camino. En el segundo caso, o sea con una zona de filtración amplia, el problema consiste en abatir el nivel freático lo suficientemente para reducir la alta efectiva que alcanza el agua capilar. La solución tendrá que ser de igual manera la colocación de un dren interceptación a una profundidad mínima de 1.80 m.

Los drenes de interceptación se utilizan para cortar corrientes subterráneas e impedir que alcancen las inmediaciones de la vía terrestre.

Se clasifican, por su posición, en longitudinales y transversales.

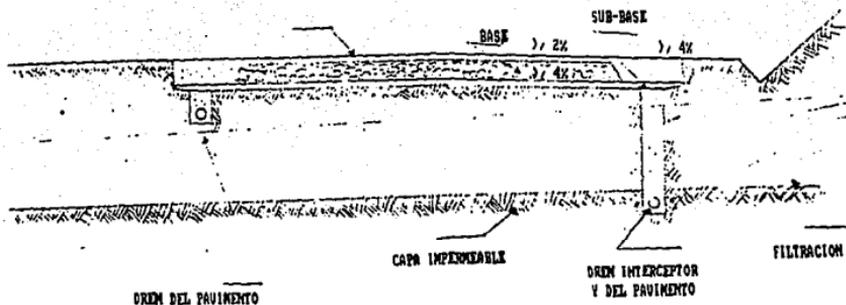
2.2.1.4.1.- DRENES DE INTERCEPCIÓN LONGITUDINALES.

En la figura 14 se muestra un dren de intercepción longitudinal en el se esquematizan las direcciones del flujo que se producen en un corte de ladera y después de colocar tal instalación. El efecto del subdren es en este caso de interceptar y eliminar el flujo hacia la cama del corte y, en menor escala, disminuir la zona eventualmente saturada en el talud. La mayor parte de los drenes longitudinales que se colocan en carretera y ferrocarriles tiene tal finalidad, por lo que resulta ser en ese caso estructuras cuya principal función es la protección de pavimentos, interceptando un flujo de agua.

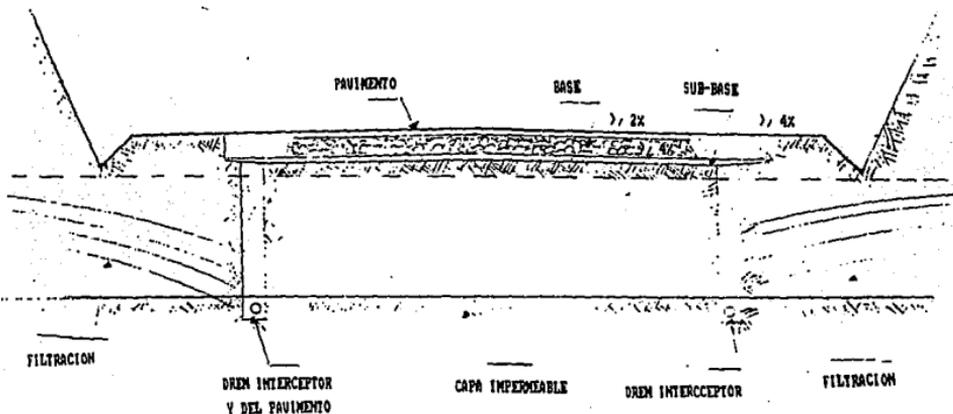
El fondo del tubo debe quedar, por lo menos, 15 cm. por debajo del plano superior de la capa permeable, o relativamente impermeable, que sirve de lecho a la corriente subterránea. En el caso de que esta capa sea roca, deben extremarse las precauciones para evitar que parte de la filtración cruce el dren por debajo de la tubería. El subdren consiste en una zanja de profundidad adecuada (como mínimo quizá de 1 a 1.5 m, habiéndose llegado a construir las hasta 4 m), provista de un tubo perforado en su fondo y rellena de material filtrante; el agua colectada por el tubo se desaloja por gravedad a algún bajo o cañada en que su descarga se inofensiva. El caudal a desaguar puede determinarse aforando la corriente subterránea. Para ello, se agotar el agua que fluya a la zanja en que se ha de situar el dren en una longitud y tiempo determinados.

Para interceptar filtraciones laterales que procedan de uno de los lados de la carretera, se dispondrá un sólo dren longitudinal, en el lado de la filtración. Sin embargo, en el fondo de un valle o trinchera, donde el agua pueda proceder de ambos lados, deberán disponerse dos drenes de intercepción, uno a cada lado de la carretera. Las figuras 15 y 16 son ejemplos de drenes longitudinales en carreteras a media ladera y en trinchera, respectivamente.

En la figura 17 se muestra la disposición de tres zanjas, como podría ser el caso en las amplias secciones de las autopistas modernas o en las aeropistas; en estos casos, es común combinar la acción de esos drenes longitudinales con interceptores transversales, de los cuales se hablará más adelante. Las zanjas han de ser profundas y próximas si existe subpresión de agua bajo la sección de la vía terrestre.



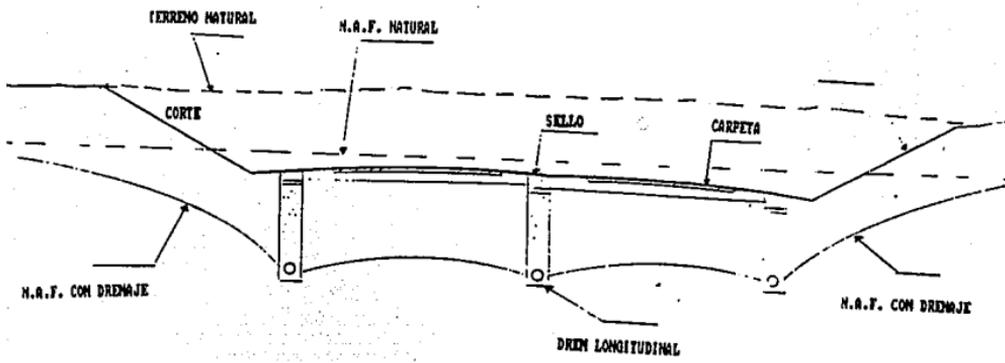
DREN DE INTERCEPCION LONGITUDINAL
 FIGURA 15



DREN DE INTERCEPCION LONGITUDINAL

FIGURA 16

<p style="text-align: center;"> UNAM E.N.E.P. ACATLAN TESIS PROFESIONAL OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES EDUARDO CARRIZY SOLIS </p>
--



USO DE DRENES INTERCEPTORES LONGITUDINALES DE ZANJA
 PARA ABATIR EL N.A.F.

FIGURA 17

UNAM
 E.N.E.P. ACATLAN
 TESIS PROFESIONAL
 OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES
 EDUARDO CARRIZO SOLIS

2.2.1.4.2.- DRENES DE INTERCEPCION TRANSVERSALES

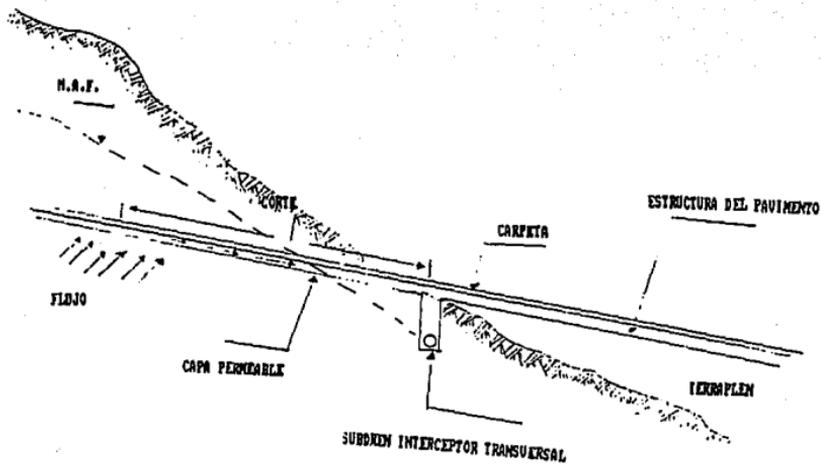
En las vías terrestres los drenes longitudinales pueden no ser suficientes para interceptar toda el agua de filtración. En estos casos, deberán instalarse drenes interceptores transversales normales al eje del camino o en un drenaje en espina de pez. Son dispositivos de drenaje análogos en principio a los subdrenes longitudinales y lo único que los distingue, como ya se mencionó, es la dirección en que se desarrollan, que ahora es normal a la vía terrestre. Una instalación de este tipo de drenes es la que se muestra en la figura 18; en la que se muestra una transición de una sección en corte a una sección en terraplén. De no colocar el subdren transversal interceptor podría suceder que el flujo del agua proveniente del corte entrase al terraplén, provocando en éste asentamientos o deslizamientos.

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.

La distancia entre drenes interceptores transversales será, por medio, de 20 m a 25 m. El drenaje en espina de pez se proyectará de acuerdo con las siguientes condiciones (ver figura 19):

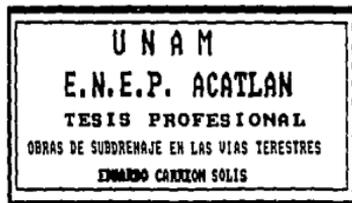
- A) El eje de la espina formará con el eje de la vía terrestre un ángulo de 60 grados.
- B) Las espinas estarán constituidas por una zanja situada bajo el nivel del plano superior de la explanada.
- C) Sus paredes serán inclinadas, con un talud aproximado de 1/2, para repartir, al máximo, el posible asentamiento diferencial
- D) Las zanjas se rellenarán de material de filtro.
- E) Las espinas llevarán una cuna de concreto pobre o arcilla unida a la cuna del dren longitudinal.
- F) Las espinas consecutivas se situarán a distancias variables, que dependerán de la naturaleza del suelo que componen la explanada. Dichas distancias estarán comprendidas entre 6 m, para suelos arcillosos, y 28 m, para suelos arenosos.

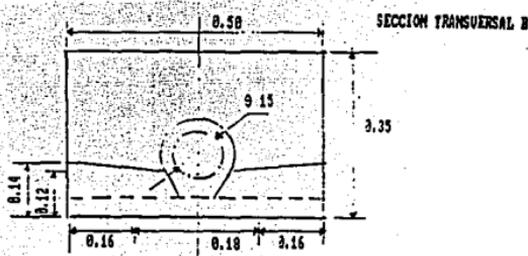
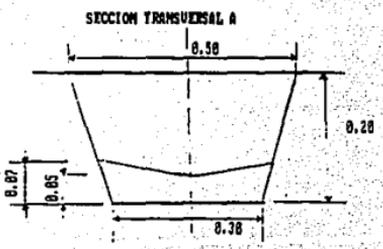
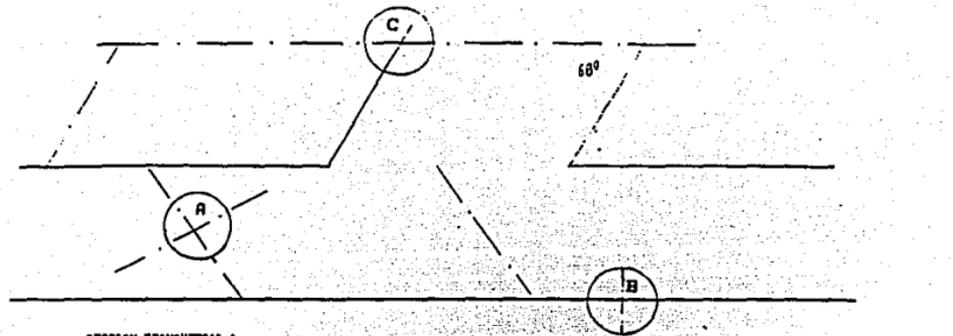
Con independencia de la pendiente longitudinal de la vía terrestre, se recomienda utilizar drenes en espina de pez, al pasar de trinchera a terraplén, como protección de éste contra las aguas infiltradas procedentes de la trinchera (ver figura 20).



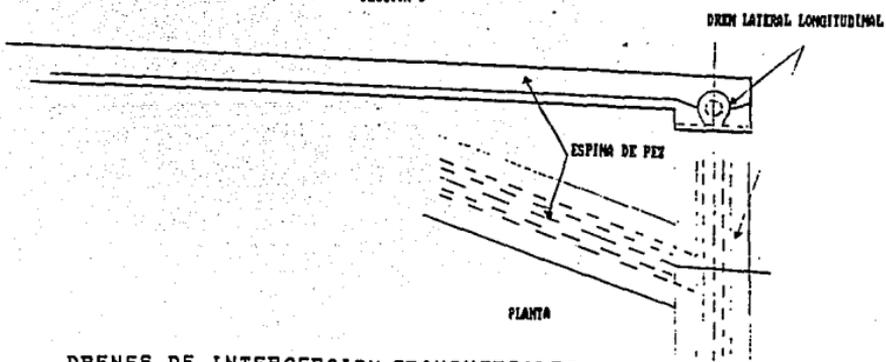
SUBDREN INTERCEPTOR TRANSVERSAL

FIGURA 18





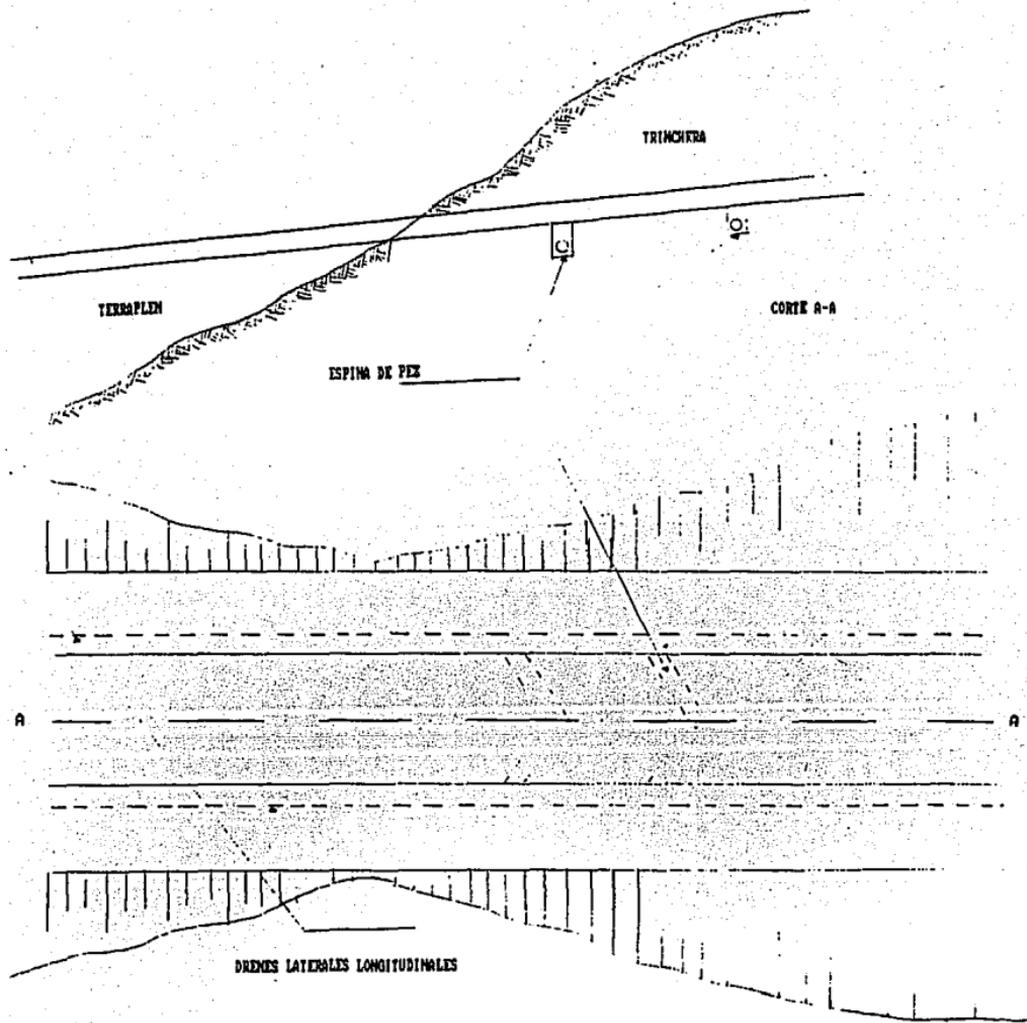
SECCION C



DRENES DE INTERCEPCION TRANSVERSALES

FIGURA 19

UNAM
 E.N.E.P. ACATLAN
 TESIS PROFESIONAL
 OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES
 EDUARDO CARRIZO SOLIS



PLANTA

DRENES DE INTERCEPCION TRANSVERSALES

FIGURA 20

26

<p>UNAM</p> <p>E.N.E.P. ACATLAN</p> <p>TESIS PROFESIONAL</p> <p>OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES</p> <p>EDUARDO CARREON SOLIS</p>

2.2.2.- OBRAS DE SUBDRENAJE PROFUNDAS

2.2.2.1.- SUBDRENES

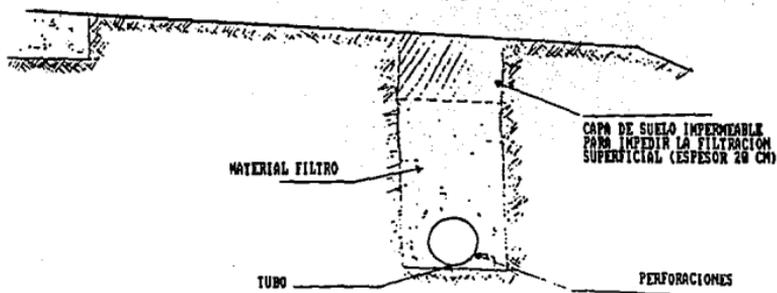
Los subdrenes son elementos de un sistema de drenaje subterráneo cuya función es captar, coleccionar y desalojar el agua del terreno natural de una terracería o de un pavimento. Los subdrenes originales consistían en una zanja llena con ramas o piedras grandes que muy pronto se obstruían y sellaban por sedimentación.

El subdrén moderno tiene estas características importantes: una zanja llena con material permeable de grano fino y bien graduado (denominado filtro) y un tubo para dejar infiltrar el agua y darle salida rápida. La parte superior de la zanja está sellada para evitar la entrada del agua y sedimentos finos de la superficie. El tubo que se colocará será con orificios perforados, el cual se rodeará del material permeable, material de filtro, compactado adecuadamente (ver figura 21)

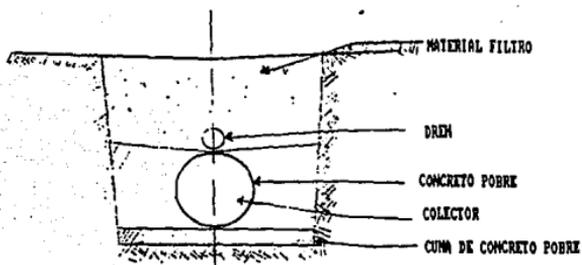
Las paredes de la zanja serán verticales o ligeramente inclinadas, salvo en drenes transversales o en espina de pez, en que serán admisibles, incluso convenientes, pendientes más fuertes. En casos normales, el talud máximo no superará el valor de 1/5.

Si se proyectarán colectores longitudinales, puede aprovecharse la zanja del dren para la ubicación de aquellos. En tal caso, se aconseja una disposición similar a la que se muestra en la figura No. 22.

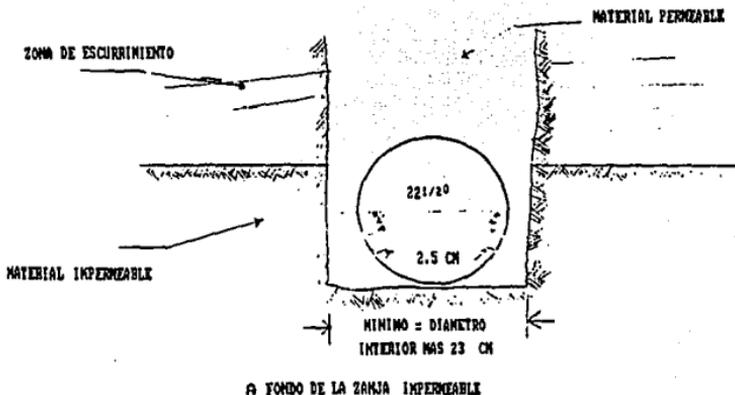
La preparación del fondo de la zanja se muestra en la figura 23. El procedimiento antiguo consistía en poner bajo el tubo una capa permeable de material grueso de unos 5 a 10 cm. de espesor; pero esto permite que el agua corra por debajo del tubo. Cuando el fondo es lodoso se coloca únicamente bastante material granular para darle mayor consistencia y evitar la entrada del fango al tubo.



SUBDREN CONVENCIONAL
FIGURA 21



SUBDREN CON COLECTOR
FIGURA 22



DO DEL SUBDREN DEBE COLOCARSE LO BASTANTE EN MATERIAL IMPERMEABLE (A) PARA QUE HAYA UNA REACCION DEL AGUA, EN SUELOS PERMEABLES EL MANTO ACUIFEROSO REDUCE HASTA LLEGAR A LA ALTURA MAS BAJA DEL FLUJO, EL ESPACIO CONSIDERADO ENTRE LAS PERFORACIONES DEL FONDO DEL SUBDREN DEBE SER SUFICIENTE PARA LLEVAR EL FLUJO NORMAL.

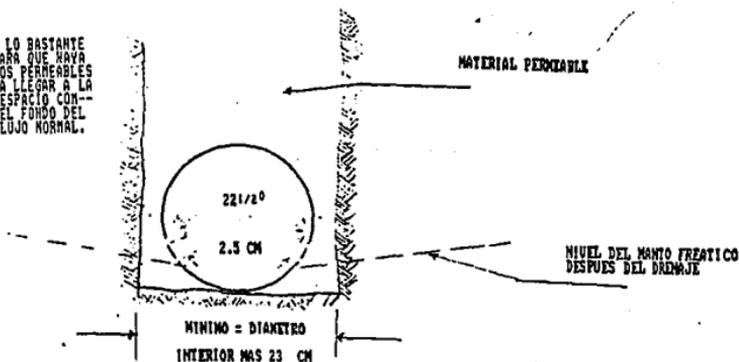


FIGURA 23

<p>UNAM</p> <p>E.N.E.P. ACATLAN</p> <p>TESIS PROFESIONAL</p> <p>OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES</p> <p>EDUARDO CARREON SOLIS</p>

2.2.2.2.- DRENES DE PENETRACION TRANSVERSAL

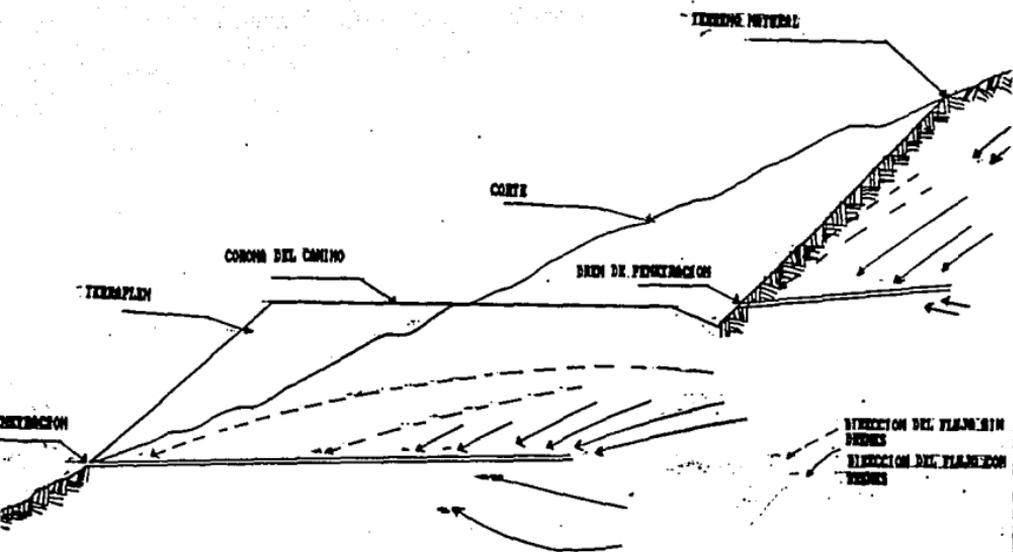
Un dren de penetración transversal es simplemente un pozo perforado de diámetro pequeño, casi horizontal instalado dentro de la orilla de un corte o ladera o en la cimentación de un terraplén para captar filtraciones y flujo de agua, abatiendo de esta manera en el interior de los taludes de corte las presiones generadas por el agua, provocadas precisamente cuando se practica un corte en una vía terrestre, influyendo desfavorablemente en la estabilidad del talud, debido a que al practicar un corte se abate el nivel de agua interior hacia la cama, produciéndose 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.

Por lo tanto los drenes de penetración transversal también conocidos como drenes horizontales, son frecuentemente instalados como parte de un plan para estabilizar cortes de talud húmedos con gran inestabilidad, también son instalados para corregir derrumbes que tiene los estratos o en nuevos desarrollos, o en viejos taludes de caminos, ferrocarriles y otros trabajos. Frecuentemente son instalados varios sobre el talud, la banquetta, como ya se menciono para abatir el N.A.F. y prevenir derrumbes en excavaciones. En la superficie son usualmente instalados cerca del camino.

Son tubos perforados de fierro fundido de 5 cm. de diámetro o también puede ser galvanizado y tener una película de asfalto, como protección para la corrosión, o bien tubos de PVC de 3.8 cm. de diámetro que se instalan en la longitud de una perforación que penetra el terreno natural en dirección transversal al eje de la vía con perforaciones de 7.5 cm. a 10 cm. de diámetro, para lo cual existe la maquinaria apropiada, automática y provista de movimiento propio de avance y retroceso para facilitar las maniobras.

En el exterior del tubo debe dejarse sin perforar aproximadamente de 1 a 2 metros, para evitar la vegetación a través de las perforaciones y la obstrucción del tubo. El agua puede ser colectada sin problema, por medio de una cuneta o a través de tubos colectores de unos 20 cm. de diámetro, que encaminan el agua a donde sea inofensiva. La longitud de los drenes de penetración transversal dependen de la geometría de la zona en que se instalan, normalmente su longitud es de 50 ó 70 m y, en ocasiones se han hecho hasta más de 100 m.

Cuando se instalan se requieren de un gran número de ellos para lograr buena eficiencia y en terrenos impermeables o en masas de roca agrietada, sin fácil comunicación interna, su zona de influencia es relativamente pequeña; de manera que se requieren de espacios muy cortos: es frecuente verlos hasta de 5 m uno del otro y en dos o más hileras separadas por un espaciamiento vertical similar; 10 m es más o menos común. En la figura 24 se muestra un croquis de dichos drenes.



INFLUENCIA DE LOS DRENES TRANSVERSALES
DE PENETRACION EN UN CORTE DE BALCON.

FIGURA 14

<p>U. N. - A. M. E. N. E. P. ACATLAN TESIS PROFESIONAL OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES EDUARDO CARRERA SOLIS</p>

Para conservar limpias las tuberías para mantener su funcionamiento se limpian mecánicamente por medio de una varilla que penetra dentro del den, y que realiza la labor de limpieza, ayudada por agua inyectada a presión.

Con respecto a la longitud que deben penetrarse los drenes en la ref. 1 se mencionan ciertos criterios a base de análisis de fallas y deslizamientos de masas, que se muestran en la figura 25.

Las dos formaciones en donde es probablemente más difícil instalar drenes transversales son las arenas finas limosas y los suelos que contienen grandes boleos y fragmentos de roca; la primera por su tendencia a derrumbarse y formar cavidades durante la perforación y la segunda por las dificultades provenientes de la dureza y la heterogeneidad, que restan eficiencia a la operación y elevan los costos.

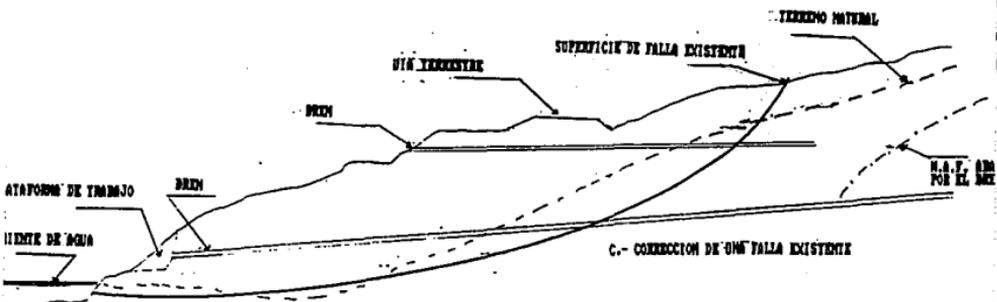
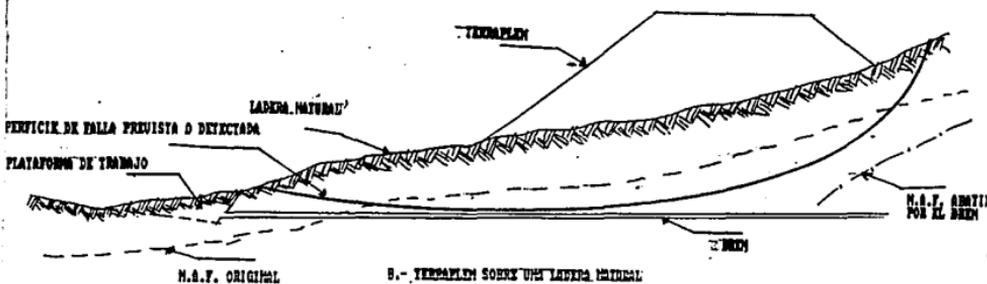
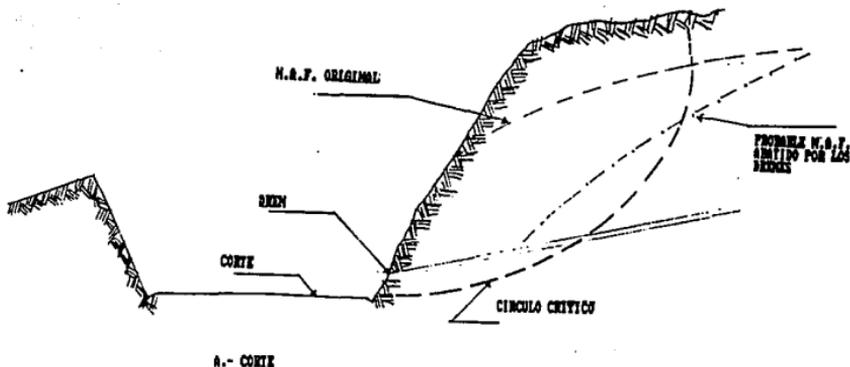
El dren transversal lleva la presión atmosférica hasta donde penetra y establece una zona de influencia con presión creciente hacia la periferia, que produce un beneficio en un cierto volumen de suelo. Dentro de esa zona de influencia, el agua tiende a fluir hacia el den, pero la cantidad que llegue depende ante todo de la permeabilidad de la formación.

2.2.2.3.- CAPAS PERMEABLES PROFUNDAS CON REMOCION DE MATERIAL

Este sistema consistió en retirar un capa de materiales de mala calidad, en donde se colocará un terraplén, y que además se encuentran saturados. El espesor de remoción de materiales de mala calidad deben ser aproximadamente menor de 3 a 5 m, considerando que debajo de estos materiales exista una capa de materiales de mejor calidad. La figura 26 muestra este procedimiento.

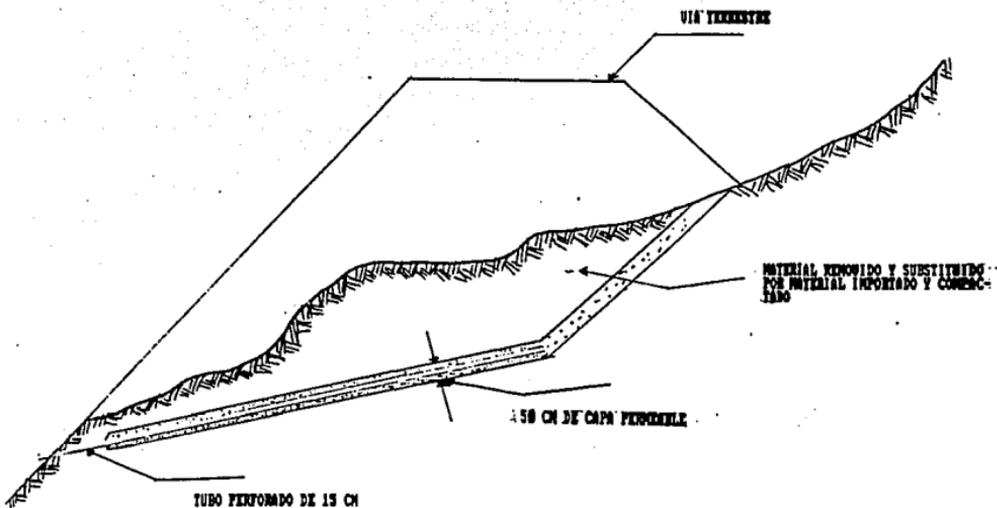
La base de la excavación deberá contar con una capa de 0.50 a 1 m de espesor de materiales de filtro, disponiendo la correspondiente tubería perforada de captación y un sistema de desfogue. La excavación se rellenará de material de buena calidad, compactandose en una forma adecuada.

La función de la capa drenante es evitar que el relleno sufra los efectos que produce el



POSICION DE DRENES TRANSVERSALES DE PENETRACION.

FIGURA 25



ESQUEMA DE LA REMOCION DE MATERIAL BLANDO Y COLOCACION DE UNA CAPA

PERMEABLE BAJO TERRAPLEN

FIGURA-26

<p>U.N.A.M</p> <p>E.N.E.P. ACATLAN</p> <p>TESIS PROFESIONAL</p> <p>OBRAS DE SUDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES</p> <p>EDUARDO CARRON SOLIS</p>
--

efecto del agua, permitiendo de esta forma que el terraplén se apoye en un terreno firme. Al igual que el sistema de pozos de alivio, tiene su inconveniente en su costo, que suele ser alto. Si el problema fuerte fuerá la presencia excesiva de agua y que contáramos con una no muy buena calidad de materiales, podría emplearse un sistema a base de geotextiles en la parte alta del corte, captando el agua y obteniendo de esta forma una buena resistencia en el terraplén, y teniendo un menor costo en el procedimiento, este sistema se analizará más adelante.

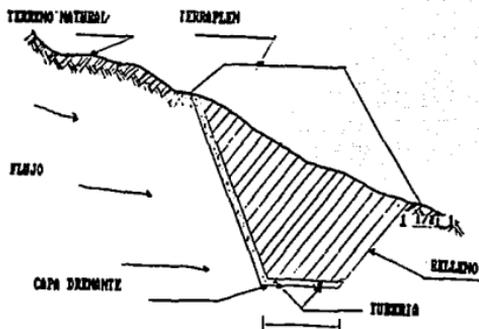
2.2.2.4.- TRINCHERAS ESTABILIZADORAS

Una trinchera estabilizadora es una excavación que cuenta en su talud aguas arriba de una capa drenante de espesor que varía entre 0,50 a 1 m de material filtrante y cuenta con un sistema de tuberías perforadas para la recolección y eliminación del agua captada en su fondo (el diámetro de la tubería suele ser de 15 a 20 cm.) y conducirla fuera rápidamente y, a través de un sistema de desfogue que la conduzca a un lugar donde no pueda ocasionar daños al terraplén . (ver figura 27)

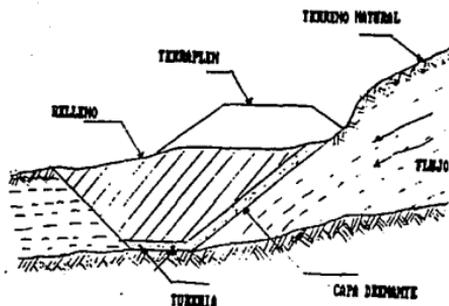
En general esto se puede aplicar cuando se encuentre con una ladera natural en el cual exista un flujo de agua y está formada por grandes espesores de materiales cuya estabilidad se ve amenazada por él, y se construirá en este terreno un terraplén, siendo además costosa la idea de remover todos los materiales malos y substituirlos por otros mejores. En estos casos se puede pensar en únicamente captar el flujo y eliminar el agua en una zona bajo el terraplén de profundidad y de ancho suficiente para garantizar la estabilidad local, lográndose drenando las aguas de una zona que abarque aquella, por lo que podría desarrollarse un círculo de falla del conjunto formado por el terraplén y su terreno de cimentación.

El fondo de la trinchera deberá contar con el ancho suficiente para que se pueda permitir la operación de la maquinaria de construcción, para esto se considera que 4 m resulta adecuado para dichas maniobras. La inclinación de los taludes de la excavación de la trinchera deben ser estables, durante la construcción, en la figura 27 se muestran valores frecuentes. La profundidad con que se construyen las trincheras suele oscilar entre los tres y quince metros pero en ocasiones habrá que construirse más profundas. Posteriormente la trinchera deberá rellenarse con material debidamente compactado, pudiéndose emplear para ello el mismo producto de la excavación.

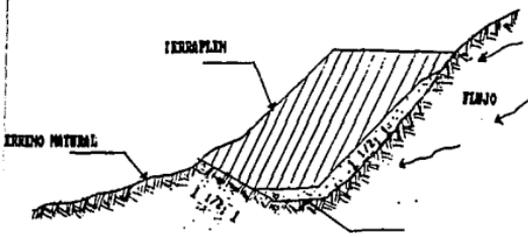
El subdrenaje que proporciona mejora las características mecánicas del suelo ladera abajo, al cortar físicamente al flujo y también las mejora laderas arriba, abatiendo las presiones en el agua en una importante zona de influencia.



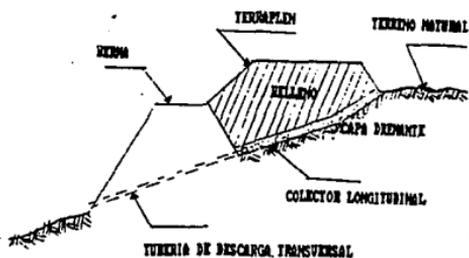
A.- TRINCHERA BAJO TERRAPLEN



B.- TRINCHERA LLEVADA HASTA UN ESTADO FIRME
CONTINUANDO DRENAJE Y APOYO



C.- TRINCHERA INTEGRADA AL TERRAPLEN



D.- TRINCHERA CON TIERRA LATERAL, MOSTRANDO UN
TUBO DE DESCARGA TRANSVERSAL

TIPOS DE TRINCHERAS ESTABILIZADORAS

FIGURA 27

UNAM
E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
OBRAS DE DRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES
EDUARDO CARRON SOLIS

Las trincheras estabilizadoras no sólo pueden construirse con su eje paralelo a la vía terrestre; en ocasiones se hacen en dirección transversal, normal a la vía, dependiendo de las conveniencias dictadas por la topografía.

2.2.2.5.- GALERIAS FILTRANTES

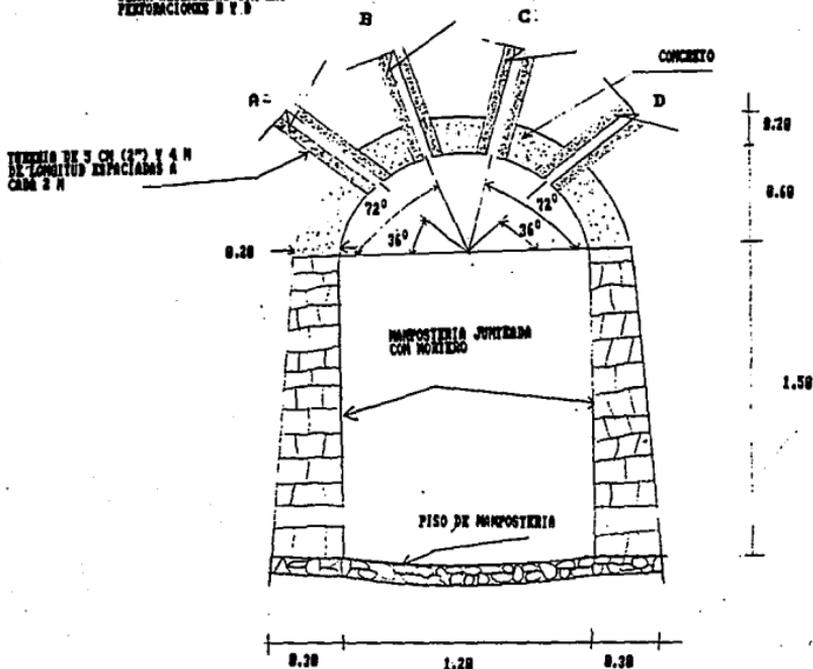
Uno de los métodos más viejos de estabilización de las molestas laderas y derrumbes, los estribos de diques y otros taludes, es el drenaje con galerías filtrantes. Son comparables con los drenes de penetración transversal, su construcción son parecidos a los túneles de minería que se hacen dentro de la base de la colina o en un talud de apoyo para la intercepción de manantiales profundos y remediar de ésta forma las cimentaciones húmedas, cambiando las presiones hidrostática y mejorando la estabilidad del talud.

Los túneles interceptan agua en juntas de apoyo, grietas, estratos, esto puede ser sumamente efectivo en el abatimiento del nivel freático. Estos se usarán durante algún tiempo en conjunto con los pozos de alivio para darles salida al agua captada por los mismos. El drenaje a través de galerías filtrantes es el método más costoso de drenaje en taludes y en los últimos años se ha usado pocas veces porque su instalación es costoso. Sin embargo 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 tendrá que recurrir a la construcción de galerías filtrantes. En algunos casos estos son empleados para la protección de construcciones caras.

Los procedimientos constructivos son los correspondientes a la de los túneles. La galería filtrante es un túnel de sección adecuada que permita su propia excavación localizada en donde se juzgue más eficiente para captar y eliminar las aguas que perjudican la estabilidad de un talud o ladera natural. El revestimiento de una galería debe ser tal que permita un efectivo trabajo como dren; se han hecho con un gran tubo metálico perforado embebido en material de filtro, pero resulta costoso este procedimiento, siendo el revestimiento convencional de concreto, de mampostería o mixto (pared de mampostería y bóveda de concreto) el más conveniente. Normalmente se dejan abundantes huecos, para proporcionar la función drenante, sin descuidar lo estructural. Es común que la galería filtrante se desarrolle por debajo de una superficie de falla previamente formada y en tal caso puede aumentarse mucho la capacidad drenante disponiendo tubos perforados en abanico radial, que lleguen hasta la zona fallada. En las figuras 28 y 29 se muestran este tipo de galerías filtrantes

El desagüe de la galería puede ser realizado por gravedad cuando las condiciones lo permitan, cuando no se pueda se tendrá que pensar en otras situaciones como puede ser el bombeo.

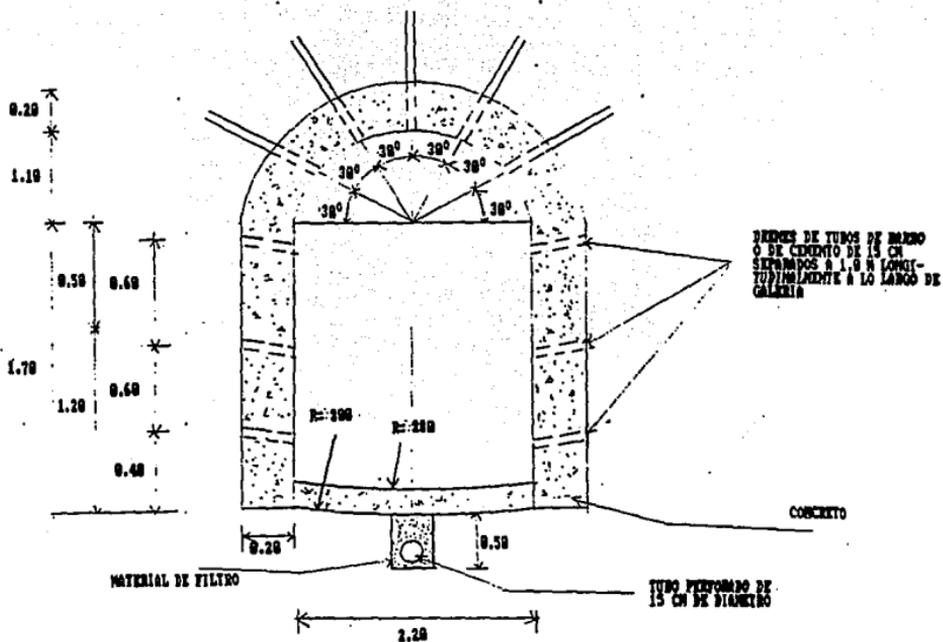
LAS PERFORACIONES B Y C
 SE HAN ALTERNADO CON LAS
 PERFORACIONES D Y D



SECCION TRANSVERSAL DE GALERIA FILTRANTE DE MAMPOSTERIA

FIGURA 28

U N A - M
E. N. E. P. ACATLAN
 TESIS PROFESIONAL
 OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES
 EDUARDO CARRON SOLIS



SECCION TRANSVERSAL DE GALERIA FILTRANTE DE CONCRETO Y UN SUBDREN

FIGURA 29

U N A M
 E. N. E. P. ACATLAN
 TESIS PROFESIONAL
 OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES
 ENRIQUE CARRIZO SOLIS

2.2.2.6.- POZOS DE ALIVIO

Los sistemas de pozos son usados para mejorar las condiciones de suelo saturado en taludes de caminos, colinas, abatimientos en diques y otras situaciones. Cuando son instalados en cimentaciones, represas y diques son llamados pozos de alivio. Cuando los pozos se instalan en taludes de tierra, estos los benefician cuando drenan libremente en la cimentación. Se colocan de tal forma que capten los flujos perjudiciales, o sea ladera arriba de la zona que se desea 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 en el suelo.

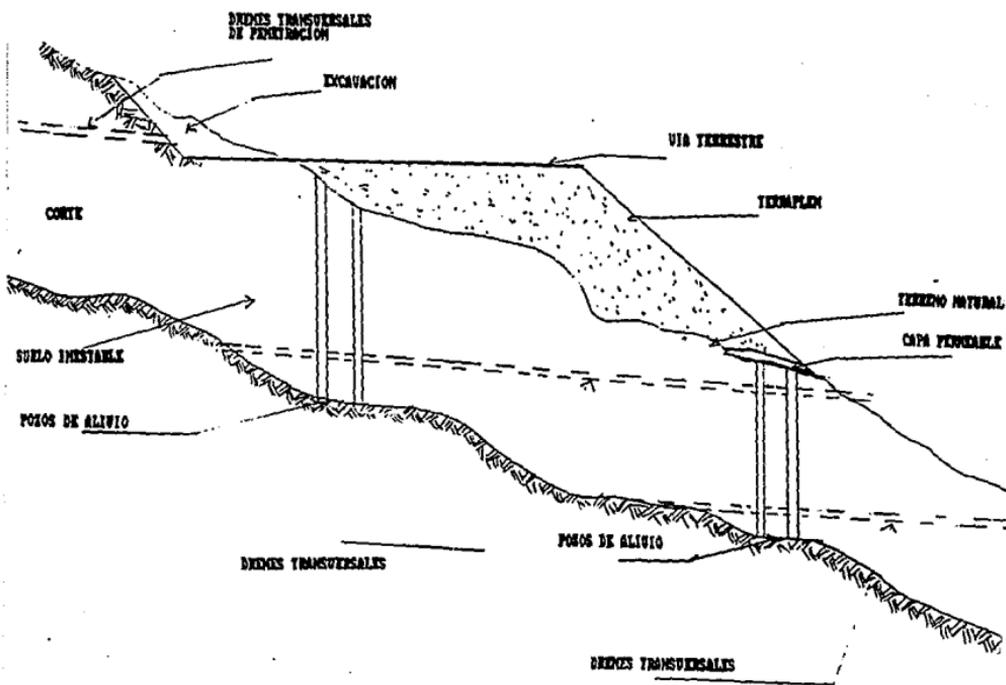
Los sistemas de pozos de alivio son perforaciones verticales de 0,40 a 0,60 m de diámetro, dentro del cual se coloca un tubo perforado de 10 a 15 cm. de diámetro. El espacio que queda entre la perforación y el tubo perforado es rellenado con material de filtro. Los pozos de alivio se han construido hasta profundidades de 20 m. Los espaciamientos de los pozos suelen ser de 5 a 10 m y formando pantallas con dos hileras próximas traslapadas.

Los pozos contarán con sistema de desagüe, ya que de otra forma no podrán modificar los estados de presiones y el agua alcanzará sus niveles normales. Una forma es a través de bombeo, pero debido al costo y mantenimiento de los mismos no es práctico. Otra forma es a través de un túnel de descarga uniendo los fondos de los pozos descargando por gravedad y alejando el agua a zonas donde no perjudiquen, sin embargo precisamente este es uno de los inconvenientes para este sistema de descarga porque suele complicarse al conducirla a áreas inofensivas; además de que también resulta costosa. La mejor manera quizás de conducir el agua y de drenar a los pozos de alivio es a través de drenes de penetración transversal, con el inconveniente de que es difícil lograr la conexión precisa con el pozo y el dren transversal, este procedimiento se ilustra en la figura 30.

El método de sistema de pozos tiene su inconveniente en su costo, que suele ser alto; no es fácil que se justifiquen económicamente allá en donde la perforación sea dificultosa, sobre todo donde el pozo haya de ser drenado, antes de colocar su relleno.

POZOS DE ALIVIO COMBINADOS CON DRENES TRANSVERSALES
DE PENETRACION

FIGURA 3B



U N A - M
E. N. E. P. ACATLA
TESIS PROFESION
OBRAS DE SUPERVAJE EN LAS VIAS DE
EDUARDO CALZON SOLIS

2.2.1.1.- MATERIAL DE RELLENO "FILTROS"

La sedimentación y obstrucción subsiguiente de los subdrenos es una de las causas principales del fracaso de los mismos. Anteriormente se creía que los materiales gruesos con grandes espacios eran los mejores; sin embargo la experiencia ha demostrado que este relleno favorece el depósito de los sedimentos.

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 de filtro o, más simplemente, filtros.

Muchos materiales que se utilizan hoy para tal misión; en las vías terrestres es predominante el uso de los agregados naturales, del tamaño de arena y la grava. Estos materiales naturales, cuando son de buena calidad son prácticamente indestructibles y eternos, en comparación a la vida útil de la obra; cuando se colocan convenientemente, tienen magnífico comportamiento tanto como filtros, como en lo que se refiere a resistencia y compresibilidad.

Los filtros deben cumplir con algunos requerimientos básicos, que 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.

Investigaciones hechas por la U.S. Waterways Experiment Station en Vicksburg, Mississippi, han demostrado que un material graduado, aproximadamente equivalente a la arena para concreto (especificaciones de AASHTO), es el más adecuado. Este criterio se basa en la tabla 2-1 y en la gráfica que se muestra en la figura 10. Este material da mejor apoyo a la pared lateral de la zanja, y por lo tanto reduce la erosión y la sedimentación.

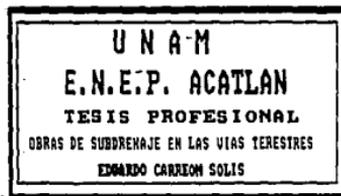
La primera regla para evitar la tubificación y la erosión interna es que las partículas del suelo no queden expuestas a espacios abiertos cuyo tamaño sea mayor que ellas mismas. La segunda regla a tomar en cuenta es el sellado de cualquier grieta, juntas de construcción, contacto entre materiales diversos, etc., que pueda haber en los elementos estructurales de que se haga uso en el drenaje general, tales como ductos y alcantarillas. Por una grieta mal sellada pueden ocurrir infiltraciones muy serias bajo gradientes hidráulicos muy elevados, como consecuencia de las cuales llegan a formarse grandes socavones que hacen inútil la presencia de cualquier filtro.

TABLA 2-1

TAMANO DEL MATERIAL FILTRANTE PARA SUBDRENES

TAMIZ STANDARD ASTM		POR CIENTO
PASANDO POR TAMIZ DE	10 MM	100
PASANDO POR TAMIZ DE No.	4	95 - 100
PASANDO POR TAMIZ DE No.	16	45 - 60
PASANDO POR TAMIZ DE No.	50	10 - 30
PASANDO POR TAMIZ DE No.	100	2 - 10

ESPECIFICACIONES AASHTO - M6 - 51, LIMITES DE GRADUACION DE LA ARENA PARA CONCRETO.



CAPITULO 2

- 1.- MANUAL DE DRENAJE Y PRODUCTOS DE CONSTRUCCION
ARMCO SECC VII CAP. 38 Y 39
- 2.- ING. JOSE LUIS ESCARIO
CAMINOS
ED. PROGRESO CAP. XII
- 3.- INSTRUCTIVO DE CARRETERAS
DRENAJE MOP (MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS DE ESPAÑA)
NORMAS 5.1-1C
- 4.- CEDERMANG
FILTER AND DRAIN DESIGN
ED. WILEY INTERSORTEO CAP. 5

REFERENCIAS

- 1.- ALFONSO RICO Y HERMILO DEL CASTILLO
LA INGENIERIA DE LOS SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES
ED. LIMUSA VOL. 1 CAP. 7

3.- ESTUDIOS E INFORMACION NECESARIA PARA DISEÑAR UNA OBRA DE

SUBDRENAJE

3.1.- EFECTOS DEL DRENAJE.

La eliminación del agua libre existente en los terrenos lleva consigo en primer lugar, la mayor estabilidad de los movimientos y por lo tanto, la mayor capacidad de absorción de cargas. Esta eliminación se hace necesaria, porque aunque los cimientos están definidos en su parte superior por la mayor o menor impermeabilidad de los pavimentos, puede el agua filtrarse lateral o verticalmente, bien por aumento de nivel de la capa freática, bien por ascensión capilar.

Además de este efecto principal, existen otros de gran importancia para el crecimiento y conservación del césped, como son los siguientes:

Ventilación del suelo Al encontrarse el terreno sin agua libre, los poros de mayor tamaño estarán ocupados por aire, estableciéndose por tanto una ventilación natural muy favorable para la vida de las plantas, ya que alternativamente se produce la renovación del aire viciado, por aire rico nuevo.

Aumento de la temperatura en el suelo.- Se produce este efecto por la mayor absorción de la radiación solar, ya que el tiempo necesario para elevar la temperatura 1 grado C., es para el agua cuatro veces mayor que para el terreno seco, debido a la evaporación que se produce.

Transformación mecánica del suelo.- Otro de los efectos de la eliminación del agua libre, es el de la transformación mecánica de los suelos compactados. Tiene lugar esta transformación en su grado máximo en los suelos arcillosos, los cuales al secarse se contraen por desaparecer la hinchazón de los coloides. El agua, al llegar de nuevo, pasa a través de las grietas ya existentes y los nuevos aumentos del volumen son menores si el agua se elimina rápidamente. Al mismo tiempo los insectos y las raíces en su crecimiento, deshacen los granos grandes y aumentan el tamaño de los poros, con lo que se obtiene una disgregación que aumenta la permeabilidad y la capacidad de agua del terreno.

3.2- TEORIA DEL DRENAJE

La colocación de un tubo de drenaje con perforaciones con juntas abiertas, en una capa de terreno permeable más o menos saturada de agua produce los efectos siguientes (ver figura 31):

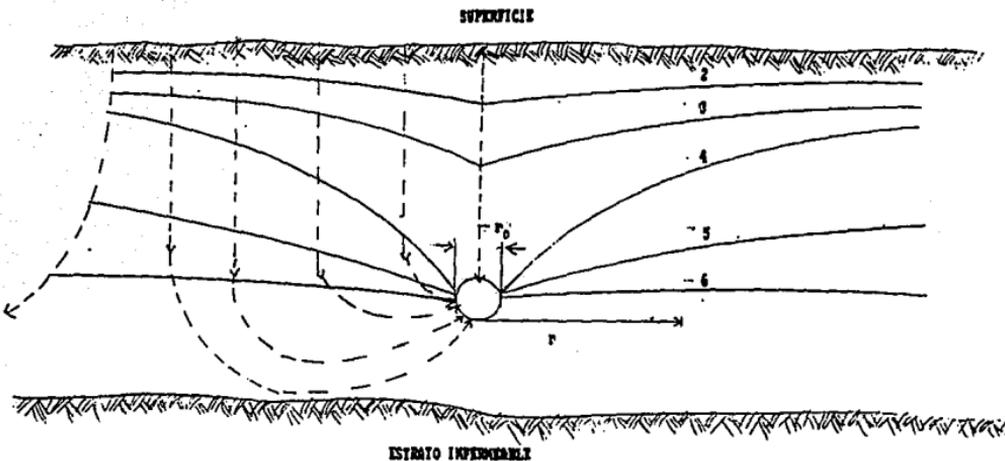
a) El agua penetra en el dren, a causa de la presión hidrostática que existe en la superficie del tubo, siguiendo el camino más corto y estableciéndose por tanto una afluencia desde todos los puntos de la capa de agua a la tubería.

b) Como esta afluencia es tanto mayor cuanto más corta es la distancia bajo las mismas condiciones de resistencia al paso del agua y de presión, el máximo gasto corresponderá a la corriente vertical, con lo que la superficie de la capa del agua se ondulará tomando la posición 2.

c) Esta superficie se ondula más y más, hasta que toda el agua libre que tiene el terreno encima del tubo, se infiltra por él si tiene capacidad para ello, con lo que la superficie de la capa de agua toma la posición 4.

d) Si el tubo sigue teniendo mayor capacidad y el suelo bastante permeabilidad, sigue fluyendo el agua como indican las trayectorias de los puntos de la figura 31 y siguen abatiendo la capa de agua, hasta una posición de equilibrio entre la presión en cada punto de origen de la corriente de agua y la resistencia que ofrecen las partículas al paso de la misma

Colocando varios tubos paralelos, puede conseguirse la disminución del nivel de toda la capa freática (ver figura 32), tanto más sea la separación entre ellos y mayor sea la profundidad. Estas distancias varían con la curvatura de la superficie del agua, por lo que para conseguir la misma altura se necesitará menor separación en los terrenos de menor permeabilidad.

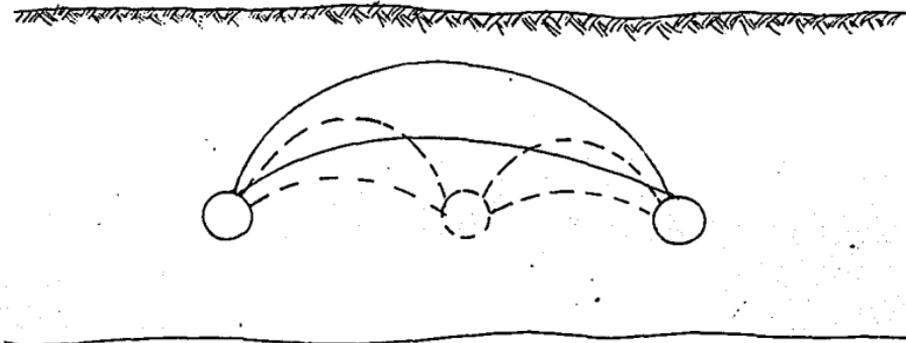


EFFECTOS DEL SUBDRENAJE

FIGURA No. 31

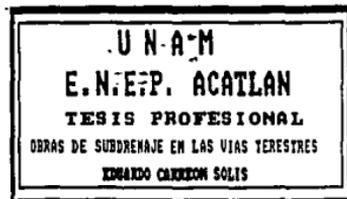
<p>UNAM</p> <p>E.N.E.P. ACATLAN</p> <p>TESIS PROFESIONAL</p> <p>OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES</p> <p>EDUARDO CARRON SOLIS</p>
--

SUPERFICIE



EFFECTOS DEL SUBDRENAJE

FIGURA No. 32



3.3.- ESCURRIMIENTOS SUBTERRANEOS Y DRENAJE.

El agua subterránea puede consistir, como se ha venido mencionando, de un "deposito" bajo tierra, o puede correr en un manto delgado entre capas impermeables, o en un manto grueso de material permeable. Puede concentrarse hasta formar un manantial.

La cantidad de escurrimiento subterráneo es generalmente igual a la cantidad que se aplica a la superficie, menos la que se pierde por evaporación, la que corre antes de filtrarse y la usada por las plantas. La naturaleza del terreno, su tamaño, forma y pendiente, así como el carácter y pendientes de las capas subterráneas, son factores que contribuyen a alterar la cantidad total. Las corrientes subterráneas dependen de la permeabilidad del suelo, de la pendiente de los estratos interiores y de la cuenca de alimentación.

Es difícil calcular el gasto o escurrimiento del agua subterránea mediante fórmulas; la manera más práctica consiste en hacer observaciones directas o aforos en una zanja o pozo de prueba. Esto es especialmente recomendable cuando se coloca un dren interceptante a través de una zona de escurrimiento para desviar la corriente e interceptarla.

3.3.1.- ESCURRIMIENTOS EN AREAS EXTENSAS

Tratándose de aeropuertos, patios de maniobras de ferrocarriles y otras superficies planas u onduladas de gran extensión, el escurrimiento subterráneo ha sido determinado mediante experimentos, como equivalente a cierta profundidad uniforme de una capa de agua que debe drenarse en un periodo de 24 horas.

Los experimentos hechos por la Engineering Experiment Station del Iowa State College, indican que 8 a 10 mm de agua en 24 horas es un escurrimiento aceptable para el promedio de los suelos. Este valor puede aumentarse hasta 20 y aun 25 mm en regiones de precipitación pluvial excepcionalmente elevada, y cuando se trata de suelos permeables. El factor exacto debe determinarse mediante un estudio de las condiciones locales.

Aun cuando es costumbre referirse al escurrimiento subterráneo, expresándolo como milímetros de profundidad sobre la cuenca de escurrimiento o área de drenaje, para ser desalojados en 24 horas, esta unidad, se llama "coeficiente de drenaje".

TABLA 3-1

ALTIMA DE AGUA EN MILIMETROS	METROS CUBICOS POR HECTAREA	FACTOR DE ESCURRIMIENTO EN METROS CUBICOS POR SEGUNDO POR HECTAREA = 2
100	1000	0.01157
90	900	0.01042
80	800	0.00926
70	700	0.00810
60	600	0.00694
50	500	0.00579
40	400	0.00463
30	300	0.00347
20	200	0.00231
10	100	0.00116
5	50	0.00058
2	20	0.00023
1	10	0.00012

U N A M
E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
 OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES
 EDUARDO CARRERON SOLIS

Existe una fórmula sencilla que permite calcular el escurrimiento, con la ayuda de la tabla 3-1:

$$Q = \Lambda z$$

En donde Q = Descarga o capacidad requerida en metros cúbicos por segundo.

Λ = Área que se pretende drenar en hectáreas.

z = Factor de escurrimiento subterráneo, convertido a metros cúbicos por segundo por hectárea.

El resultado obtenido es para el área total drenada por tubo principal

3.4.- OBRAS Y ESTRUCTURAS DE SUBDRENAJE

Una vez terminadas las terracrias quedarán expuestas a los agentes atmosféricos que tratarán de destruirlas erosionándolas, saturándolas, etc. En otras ocasiones será necesario mejorar el comportamiento mecánico de los materiales que constituyan las tercerías, disminuyendo las presiones neutrales, para lo que se requiere de la colocación de obras de subdrenaje, tales como obras de subdrenaje superficiales y obras de subdrenaje profundas, como pueden ser subdrenes, drenes transversales de penetración, capas permeables, trincheras estabilizadoras, zanjas drenantes y pozos de alivio.

En un estudio geotécnico a nivel de anteproyecto preliminar será necesario estimar el volumen de estas obras, así como su ubicación aproximada, especialmente de las que presentan un incremento importante en los costos de la obra, como es el subdrenaje; considerando además, la necesidad de realizar al respecto estudios más detallados en sitios específicos.

Daré una explicación breve de cada una de las obra de subdrenaje arriba mencionados.

3.4.1.- Subdrenes de zanja.

Consisten en una zanja de profundidad adecuada, provisto de un tubo perforado en su fondo y relleno de material filtrante, donde el agua colectada se desaloja por el tubo por gravedad hacia algún bajo o cañada en que su descarga sea ya inofensiva.

El diámetro del tubo perforado es del orden de 15 cm. y se coloca sobre una plantilla de material permeable .

Estos subdrenes se construyen longitudinalmente a lo largo de la vía terrestre, en sus acotamientos y al pie de los cortes; es frecuente su ubicación bajo las cunetas impermeabilizadas.

En cortes en cajón pudiera requerirse su construcción en los dos hombros de la vía terrestre, con el propósito de desviar las aguas que afloraran por el talud del corte o en la corona del camino, bajo el pavimento, captándolas; con lo que se modifica favorablemente la dirección de la fuerzas de filtración, se alivian las presiones internas en el agua, al proporcionar a ésta, una salida más rápida y se protege debidamente la estructura de la terracería.

Quando el flujo es importante y la vía terrestre es ancha, no puede interceptarse el flujo que aflora por la corona de la vía terrestre, por lo menos utilizando zanjas de una profundidad razonables. En estos casos es necesario cambiar la acción de los subdrenes de zanja a subdrenes análogos, pero contruidos en sentido transversal al de la vía o bien con una verdadera capa permeable contruida bajo la terracería, como subbase del mismo. Esta capa no requiere de tubos perforados, pues se ha comprobado en la practica que el agua captada es conducida convenientemente; es indispensable cuidar la pendientes transversales de manera que permitan que ese drenaje ocurra rápidamente.

3.4.2.- Construcción de una capa permeable con remoción de material

Quando existe una capa saturada de suelo de mala calidad y de un espesor relativamente pequeño (no mayor de 5.0 m) y abajo de ella hay materiales de mucha mejor calidad, puede pensarse en remover totalmente el suelo inadecuado y sustituirlo por otro de mejor calidad y permeable bajo el camino por construir y con el ancho conveniente. La excavación para la remoción podrá entonces cubrirse con una capa de 50 cm. a 1 m de material permeable que actúe como subdren de la zona; esta capa deberá estar provista de tubería perforada de capitación y de tubería de desfogue. Posteriormente la excavación se rellenará con material de buenas características debidamente compactado; sobre éste podrá construirse el terraplén proyectado.

3.4.3.- Trincheras estabilizadoras

Quando una ladera existe flujo y está formada por grandes espesores de materiales cuya estabilidad se ve amenazada por él y sobre esa ladera ha de construirse un terraplén, la remoción de los materiales malos y su substitución para otros mejores resulta ya difícil y, desde luego, anticconómica. En estos casos puede pensarse que basta captar el flujo y eliminar el agua en una zona bajo el terraplén, de profundidad y ancho suficiente para garantizar la estabilidad local del mismo; en la practica esto se logra eliminando las aguas de una zona que abarque aquella por la que podría desarrollarse la superficie de deslizamiento o falla del conjunto formado por el terraplén y su terreno de cimentación.

La capitación se logra construyendo una trinchera excavada bajo el lugar en que se construirá el terraplén.

El talud aguas arriba de la trinchera y su fondo deberá de recubrirse con una capa de material filtrante de 50 cm. a 1 m de espesor, provista de tubería perforada para capitación y

otra, colocada transversalmente para desfogar. Posteriormente la trinchera deberá rellenarse con material compactado, pudiéndose emplear el mismo producto de la excavación. El fondo deberá tener un ancho necesario para las maniobras de la maquinaria (4 m aprox). La profundidad con que se construye las trincheras suele oscilar entre tres y quince metros, pero en ocasiones pueden ser más profundas.

3.4.4.- Drenes transversales de penetración

Los drenes transversales de penetración, son tuberías perforadas que penetran en el terreno natural en dirección transversal a la de la vía terrestre, para captar las aguas internas y para abatir las presiones neutrales, que afectan la estabilidad de cortes o taludes naturales.

Son adecuados tanto para mejorar la estabilidad de cortes como del terreno de cimentación de terraplenes. Se construyen efectuando primeramente una perforación de 7.5 a 10 cm. de diámetro, para lo cual existe maquinaria apropiada; una vez hecha la perforación, se coloca en ella un tubo de acero perforado de 5 cm. de diámetro, generalmente recubierto de asfalto para protección contra corrosión. Las longitudes de los drenes de penetración son muy variables, pero pueden llegar a 100 m o más, su inclinación con la horizontal suele variar desde 3% a 20%. Los drenes se conectan a un colector exterior que es otro tubo de unos 20 cm. de diámetro y que se encarga de eliminar las aguas a donde sean inofensivas.

Los drenes transversales de penetración tienen la ventaja de drenar el agua y/o abatir las presiones neutrales a grandes profundidades, mayores de las que puede llegar cualquier otro elemento. Se requiere de un número elevado de drenes para lograr buenas eficiencias y en terrenos impermeables o en masas de roca agrietada sin fácil intercomunicación interna su zona de influencia puede ser relativamente pequeña, de manera que requieran espaciamiento muy común.

3.4.5.- Pozos de alivio

El uso de los pozos de alivio en nuestra tecnología es muy escasa. Los pozos son perforaciones verticales de alrededor de 60 cm. de diámetro, dentro de las cuales se coloca un tubo perforado de 15 cm. de diámetro o algo similar, el espacio entre el tubo y las paredes de la perforación se rellena con material filtrante. Se sabe que las profundidades han llegado hasta 20 m y se colocan en la zona en que se colocará el terraplén y próximo a éste.

Estos pozos deberán tener un sistema colector que eliminen las aguas que se captan.

Una recolección sería una galería que los comunique en su base, construida como un pequeño túnel, otra sería por medio de drenes transversales de penetración o también por bombeo directo.

3.5.- ESTUDIO Y CARACTERISTICAS DEL DRENAJE

Los conceptos teóricos para las capas de base de drenaje fueron desarrolladas por Casagrande y Shannon basandose en un estudio de subdrenaje conducido por el Corps of Engineers (C.E.) entre 1945 y 1947. Los métodos desarrollados por Terzaghi para diseñar las capas de los filtros alrededor del subdrenaje, modificados más tarde por las investigaciones hechas por el C.E. y la teoría desarrollada por Casagrande y Wilson son las base del contenido del criterio de diseño del drenaje subterráneo en el Departamento de la Armada de los Estados Unidos.

El criterio del C.E. para el drenaje a través de las capas de la base, para un drenaje subterráneo son: a) donde el nivel freático asciende por la cimentación de la capa de la base, b) donde el pavimento puede inundarse y, allá ó es muy poco probable que el agua drene desde la base dentro de la subrasante; c) donde la acción de la helada ocurre en la subrasante o en las capas de la base, abajo del pavimento. El drenaje en la base es algunas veces requerida y en puntos bajos longitudinales inclinados. Para simplificar el drenaje en las base se asume: a) Las capas de la base para ser drenadas es inicialmente saturadas totalmente; b) no ocurre influjo durante el drenaje; c) la subrasante constituye una frontera impermeable y, d) la capa de la base tiene un flujo libre dentro de la trinchera.

Los requerimientos de diseño para un sistema de drenaje, deben ser adecuados para manejar el máximo de filtraciones de flujo de agua y drenar la capa de la base, así como un grado de drenaje de 50%, obteniéndose en no más de 10 días. El grado de drenaje se define como la relación, expresada en porcentaje, de la cantidad de agua que puede drenarse por gravedad en el material, esto depende de la porosidad efectiva y la permanente. Los factores importantes a considerar en los diseños de drenaje en las capas de la base, son la geometría del pavimento y el sistema de drenaje y el coeficiente de permeabilidad y de porosidad efectiva de los materiales de las capas de la base.

Con todas estas observaciones hechas, la Higway Research Record, y con todos los aspectos de criterios de diseño de drenaje subterráneo y requerimientos de diseño referentes a pavimentos, son analizados para conocer la causas del inadecuado funcionamiento de subdrenes y las capas de la base. Para esto seleccionarán 4 graduaciones de materiales para las capas de la base. Estas son seleccionadas por las especificaciones referidas en la guía del C.E., para agregados compactados graduados y agregados estabilizadores para materiales en las capas de la base. Cada una de las especificaciones incluye 3 bandas de graduaciones. La principal diferencia entre las bandas en esencia es el máximo tamaño de las partículas, admitiendo graduaciones dentro de la banda No. 3 (finos). De cada una de las especificaciones hubo de seleccionarse para representar el material más crítico con respecto a las características del drenaje.

Las graduaciones descadas tuvieron que obtenerse por varias cantidades de combinaciones de materiales de agregados. Un subangular compactado, piedra caliza, fue mezclada para duplicar la especificación del límite grueso para agregados compactados graduados. Grava, compactada angular, fue usada para reproducir el grueso, medio, y graduaciones finas, dentro de los límites especificados para agregados estabilizadores. La graduación se muestra en la figura 33.

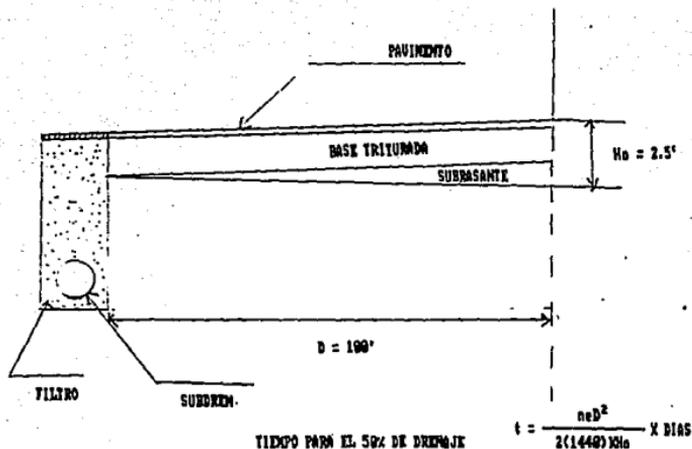
Las propiedades físicas de los materiales se muestran en la tabla 3-2. En la referencia 6 se analizan los métodos de compactación utilizados para las cuatro muestras, contenido de agua y saturación así como las pruebas de permeabilidad (carga constante y carga decreciente), determinación de la porosidad efectiva y los efectos de reordenamiento de las partículas y temperatura.

Como mención previa, el criterio del C.E. para diseñar las capas de base de un sistema de subdrenaje para una vía terrestre requiere de un grado de drenaje del 50% para obtenerse en no más de 10 días. Para determinar si el criterio de drenaje puede ser reunido, debajo de las condiciones del campo, la dimensión de la capa para ser drenada, tiene que ser, considerada en adición por las características de drenaje de la capa de la base de materiales ver figura 34.

La ecuación usada para determinar el tiempo requerido para saturar una capa de base, para poder dar un grado de drenaje del 50%. Cuando las dimensiones están condicionadas, la ecuación será:

$$T = \frac{D^2nc}{2(1-40)kH_0} \quad 3.5$$

donde



ne = POROSIDAD EFECTIVA
 D = DISTANCIA HORIZONTAL DE DRENAJE EN PIES.
 Ho = ALTURA TOTAL HIDROSTÁTICA EN PIES
 k = COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PIES/MIN

CLASIFICACION	MAX CE-55 DREN SECO LB/CUFT	K FT/MIN $\times 10^4$	ne	t DIAS
1	136	6,400	0.13	0.3
2	126	20,000	0.15	0.1
3	133	100	0.06	0.3
4	136	2	0.03	200.0

FIGURA No. 34

UNAM

E.N.E.P. ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

OBRAS DE SUDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES

EDUARDO CARRERA SOLIS

T = tiempo para drenar 50% en días

n_e = Porosidad efectiva.

D = distancia de drenaje horizontal, ft.

H_0 = Dimensión como se muestra en la figura 40

k = Coeficiente de permeabilidad ft/min ($2x \text{ cm./sec} = \text{ft./min}$).

Sin embargo las siguientes suposiciones tienen que ser hechas cuando se aplique la ecuación:

- 1.- La base inicial es el 100 % saturada.
- 2.- No ocurre recargas una vez empezado el drenaje.
- 3.- La subrasante es impermeable, y ocurre drenaje principalmente en la dirección transversal del material de la capa de la base.
- 4.- El coeficiente de permeabilidad y porosidad efectiva del material de la capa de la base son constantes e iguales en toda la dirección de las condiciones existentes.

La teoría del gradiente hidráulica debajo del cual ocurre el drenaje, debe cambiar de $H_0/0$ (infinito) al instante de que comienza el drenaje H_0/D , en el instante del grado de drenaje de 50% reunido. La porosidad efectiva, es independiente del gradiente hidráulica pero la permeabilidad de la capa de la base no. Consecuentemente las 4 suposiciones no son completamente satisfactorias por la variable de la permeabilidad. Sin embargo la suposición, puede ser posible, satisfaciendo consecuentemente el diseño propuesto, para determinar la permeabilidad del material en el gradiente hidráulica efectivo, ie, de $2 H_0/D$. El gradiente hidráulica efectivo debe indicar un valor menor de permeabilidad que el indicado por el declive de las capas de la base, s, o el gradiente hidráulica teórico final H_0/D . El gradiente hidráulica efectivo fue establecido por dividir el total de la carga hidráulica, H_0 , por la distancia de drenaje horizontal proporcionada por $D/2$. Suponiendo que 1, 2, 3 son aceptadas como válidas aunque las condiciones sean ideales.

3.5.1.- FLUJO DE AGUA EN UN SISTEMA GRANULAR

Los sistemas de filtros caen en el dominio de la granulometría como elementos importantes de muchas estructuras de drenaje en las vías terrestres. En esta relación su permeabilidad o capacidad de conducir agua es de bastante preocupación. Es de igual importancia la capacidad para ser mantenida. Por esto las propiedades de resistencia mecánica, del sistema y de estos componentes particulares, tienen que ser, debajo de las cargas de servicio estática y dinámica y además intervienen las condiciones del medio ambiente existentes; el sistema intenta ser capaz de funcionar toda la vida de la estructura con un supuesto servicio. La

fuerza de partida o complemento de la falla puede ser:

1.- Fallas cortantes o densificación del sistema, sin fractura o desgaste de la componente particular. Sin cambios en la composición granulométrica.

2.- Fractura y fricción de las partículas componentes como el resultado en el cambio granulométrico y disminución en el volumen de poro con un aumento en la cantidad de la superficie interna por unidad de volumen.

3.- La infiltración del suelo fino, la cual tiene efectos iguales como los descritos, producidos por los finos, debidos a fracturas y fricción.

La segunda falla puede ser eliminada por un nivel adecuado de fuerza y resistencia de absorción de determinados agregados, por los métodos de prueba apropiados. La tercera falla puede ser eliminada o minimizada por el uso de estructuras de filtro adecuadas como es debido. El problema permanente es ahora optimizar la resistencia al corte y la permeabilidad.

En un sistema de drenaje, la primera preocupación, es la relación de flujo de agua. Esta relación es determinada por el gradiente hidráulica, y de factores como total de porosidad, tamaño y forma de poros o vacíos y para la extensión para la cual el agua pasa a través de los poros en el terraplén. Cuanto más sea exacto el flujo de agua en un modelo, más podrá optimizarse el sistema. Esto se muestra intentándolo por dos métodos extremos, el tipo de Darcy el flujo laminar en arenas saturadas o gravas y el del tipo de flujo de canales abiertos que pueden ocurrir en partes de relleno de cama del tipo de rocas fracturadas.

Un sistema de flujo del tipo de Darcy se analiza, se caracteriza por la siguiente ecuación:

$$\frac{dq}{dt} = \Lambda k i \quad 3.1$$

donde

dq/dt = relación de volumen de flujo por unidad de tiempo.

k = coeficiente de transmisión.

i = gradiente hidráulica.

Λ = sección de corte.

puede ser remplazada por un sistema compuesto de "m" capilares paralelos de radio "r", y se obtiene la ecuación de Hagen- Poisseuille

$$\frac{dq}{dt} = \Delta m r / 8 \quad 3.2$$

donde " μ " es la viscosidad del agua.

Esto significa que la constante k de Darcy en la ecuación debe corresponder por la expresión $m r / 8$, o si se introduce un factor de corrección C para cuidar la diferencia geométrica de los poros en sistemas particulares, y se escribirá:

$$k = C m r / 8 \quad 3.3$$

Para una temperatura particular la viscosidad μ es constante y se puede introducir una nueva constante $C' = C/2$. Se considera que $(r^2)/4$ es una relación de $(r^2 / 2)^2$ como el cuadrado del radio capilar del corte de la sección encima del perímetro húmedo. Multiplicándose ambos, el numerador y el denominador, de esta relación con una unidad de longitud y con el numerador de "n" capilares por unidad de volumen, para dar la relación de porosidad "n" sobre la superficie interna por unidad de volumen en el sistema, se obtiene:

$$k = C' n (n/s)^2 \quad 3.4$$

Recordando que el coeficiente de permeabilidad es directamente proporcional por la tercera potencia de la porosidad e inversamente por la segunda potencia de la superficie del suelo por unidad de volumen del sistema. La superficie por unidad de volumen del suelo es para partículas esféricas " $3/r$ " y para cubos " $6/d$ ", donde "r" y "d" son los tamaños del radio y la longitud de la orilla del cubo respectivamente. La ecuación 3.4, optimiza la permeabilidad que es: a) la porosidad del sistema debe ser tan grande como sea posible y b) el tamaño de los poros, y de 0 ó el componente de las partículas, debe ser también tan grande como sea posible.

3.6 ELEMENTOS DE LAS OBRAS DE SUBDRENAJE

3.6.1.- TUBOS PARA SUBDRENES.

Cualquier sistema de drenaje subterráneo, para que resulte económico, debe funcionar eficazmente año tras año; cuando un subdren deja de funcionar, el mal debe achacarse al aplastamiento, rotura del tubo, al desfrazamiento o a su obstrucciones o taponamiento. El reemplazo de tubos resulta en muchos casos más costoso que la instalación original.

Los tubos que se empleen podrán ser de los siguientes materiales:

a) De barro, del tipo macho y campana, cocido y vitrificado o no; exentos de defectos y grietas, con un longitud no mayor de 1 m. Este tipo de material es resistente a la corrosión, posee resistencia suficiente para soportar cargas normales; es un material muy durable, su acabado vitrificado hace que sea impermeable y que posea buenas cualidades hidráulicas convenientes.

En el drenaje, en las vías terrestres, hay algunas limitaciones que impiden su empleo; la dificultad de transporte, por ser muy pesado en grandes secciones y siempre frágil, y las características de trabajo de este material, el cual no permite soportar grandes cargas.

La fabricación debe ser de un barro de buena calidad, el cual se seca dándole después el grado más conveniente de humedad. La absorción máxima para los tubos de barro vitrificados es de 8% en peso.

b) De concreto hidráulica simple, del tipo macho y campana, exentos de defectos y grietas, con una longitud no mayor de 1.25 m. El concreto tiene la ventaja de ser resistente a la corrosión, a las cargas exteriores y durable. Tiene la desventaja de su permeabilidad, pero esté se puede evitar, ya sea por la compacidad del concreto o por el uso de una capa impermeable bituminosa.

El proceso de fabricación se hace por medio de moldes y por proceso centrifugo. En los dos casos se debe tener gran cuidado en la granulometría de los agregados y en la proporción de los mismos.

c) De lámina de acero galvanizada corrugada. Sus ventajas consisten en ser tramos largos, livianos, resistentes, tener juntas fuertes de acoplamiento y suficiente área para la infiltración. Se debe proteger contra la corrosión.

El diámetro depende de varios factores, tipo de terreno por drenar, clase de tubo, altura de precipitación, pendiente de la tubería, etc. Para conocer la cantidad de agua que llega a los subdrenes, bastará calcular la diferencia entre la precipitación y el escurrimiento.

Se recomienda que si el suelo es arenoso, la profundidad a que debe quedar el tubo sea de 90 cm. a 120 cm., mientras que si el suelo es arcilloso sea de 70 entre 90 cm.

En la tabla 3-3 se muestra el tamaño de tubo requerido para diversos gastos.

En tubos de lamina de acero galvanizado es recomendable una pendiente mínima del 0.5% y 4 hileras de perforaciones, 2 a cada lado en forma simétrica, con relación al eje vertical, ver figura 35.

Las perforaciones se encontraran en la mitad inferior del tubo y por lo menos 22.5 grados de bajo del eje horizontal; se localizan de esta forma debido a dos razones: evitar que se tapen dichas perforaciones con lodo o gravilla y bajar aún más el nivel freático. Sin embargo hay casos en que las perforaciones deben de ir arriba, esto es, cuando se cruce con una zona permeable y no convenga perder el agua. Otra recomendación con respecto a las perforaciones es que se debe realizar 52 perforaciones de 10 mm de diámetro por metro lineal de tubo, para todos los diámetros.

En las tuberías de juntas abiertas, el ancho de estas oscilará entre 1 cm. y 2 cm. Los tubos de hormigón poroso tendrán una superficie de absorción mínima del 20% de la superficie total del tubo y una capacidad de absorción mínima de 50 litros/minuto por decámetro cuadrado de superficie, bajo una carga hidrostática de 1 kg./cm².

Los tubos cerámicos o de concreto, tendrán una resistencia mínima, medida en el ensayo de los tres puntos de carga, de 1000 kg./m.

No será necesario calcular las tensiones que se desarrollan en los tubos por la acción de las cargas exteriores a ellos. Cuando los tubos hayan de instalarse en la vertical de las cargas

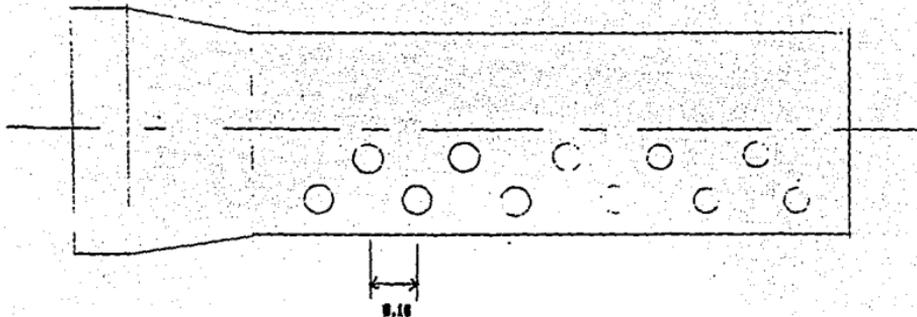
TABLA 3-3
GASTOS PARA TUBOS DE SUB-DREN
 (EN MILES DE PIZ/HORA)

D	A	C	S = PENDIENTE							
			0.001	0.005	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.010
			Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q
4	0.086	53.90	0.162	0.363	0.512	0.722	0.886	1.146	1.356	1.610
6	0.193	58.60	0.485	1.085	1.534	2.162	2.652	3.438	4.065	4.848
8	0.343	64.80	1.104	2.470	3.500	4.928	6.080	7.813	9.270	11.050
12	0.771	73.70	3.452	7.730	10.925	15.410	18.910	24.400	28.950	34.520
15	1.200	77.90	6.360	14.230	20.130	28.300	34.820	45.100	53.350	63.600
18	1.734	81.40	10.520	23.550	33.330	46.950	57.600	74.600	88.200	105.250

NOTAS:

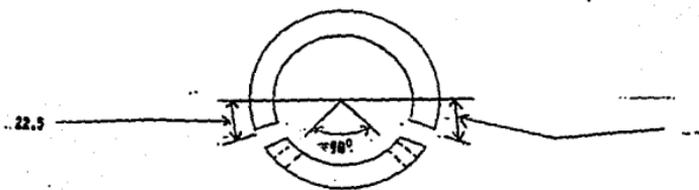
- n = 0.915
- D = DIAMETRO DE TUBOS EN PULGADAS
- A = AREA HIDRAULICA EN PIZ²
- C = COEFICIENTE





PERFORACIONES DEL TUBO DE CONCRETO

FIGURA No. 35



85



del tráfico, se situarán, como mínimo, a las profundidades que se señalan en la tabla 3-4.

Los diámetros de los tubos oscilarán entre 10 cm. y 30 cm. Los diámetros hasta de 20 cm. serán suficientes para longitudes inferiores a 120 m. Para longitudes mayores, se aumentará la sección. Los diámetros menores, sin bajar de 10 cm. , se utilizarán con caudales y pendientes pequeñas.

Las pendientes longitudinales no deben ser inferiores al 0.5%, y habrá de justificarse debidamente la necesidad de pendientes menores, que en ningún caso serán inferiores al 0.2%. En tales casos, se recomienda que la tubería se asiente sobre una cuna de concreto que permita asegurar la perfecta situación del tubo.

La velocidad del agua en las condiciones de drenaje estará comprendida entre 0.7 m/s y 4 m/s.

3.6.2- MATERIAL FILTRANTE

En conjunto existen tres elementos: el dren, el suelo y, entre ambos, el material filtrante; entre el suelo y el material filtrante, o entre dos capas consecutivas de éste, se deberán cumplir, según estudios realizados por Terzaghi las condiciones, que más adelante se describen recordando que los vacíos en los filtros son suficientemente pequeños para impedir el movimiento a través de una partícula cuyo tamaño sea el D85 del suelo por proteger, se acepta con base en la experiencia que todo suelo por proteger será debidamente retenido en su posición. Es decir, se considera tolerable que el 15% en peso del suelo por proteger tenga tamaño menor que los vacíos que dejen entre sí las partículas del filtro. Las condiciones son las siguientes:

Para evitar arrastres:

$$\frac{D \text{ (filtro)}}{D_{85}(\text{suelo})} < 5 \quad (2a)$$

siendo D15 el tamaño de las partículas que separa el 15% en peso del material más fino y análogamente D85.

TABLA 3-4

TIPO DE TUBO	PROFUNDIDAD MINIMA CM	
	$\phi = 15$ CM	$\phi = 30$ CM
CERAMICA	50	90
PLASTICO	50	75
HORNIGON	50	75
HORNIGON ARMADO		60
NETAL ONDULADO:		
ESPESOR 1.37 MM	30	
ESPESOR 1.50 MM		30

U N A M
E. N. E. T. P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
 OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES
 EDUARDO CORREON SOLIS

Cuando se trata de suelos arcillosos, sin vetas arenosas o limosas, esta condición se puede simplemente sustituir por :

$$D_{15} = 0.1 \text{ mm.} \quad (2b)$$

Para que el material filtrante sea suficientemente permeable se debe cumplir:

$$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{15}(\text{suelo})} < 5 \quad (2c)$$

Otra relación que se debe cumplir en el caso de impedir el movimiento de las partículas del suelo hacia el material filtrante y complementa la ecuación 2a, es:

$$\frac{D_{50}(\text{filtro})}{D_{50}(\text{suelo})} < 25 \quad (2d)$$

En el caso del terreno natural de granulometría uniforme, se sustituirá la ecuación 2a, por:

$$\frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{85}(\text{suelo})} < 4 \quad (2e)$$

Para evitar el peligro de colmatación de los tubos por el material filtro; en el caso de tubos con perforaciones circulares:

$$\frac{D_{85}(\text{filtro})}{\text{Diámetro del orificio del tubo}} < 1.0 \quad (2g)$$

En tubos con juntas abiertas la condición será:

$$\frac{D_{85}(\text{filtro})}{\text{ancho de la junta}} < 1.2 \quad (2h)$$

En tubos de hormigón poroso, se respetará la siguiente condición:

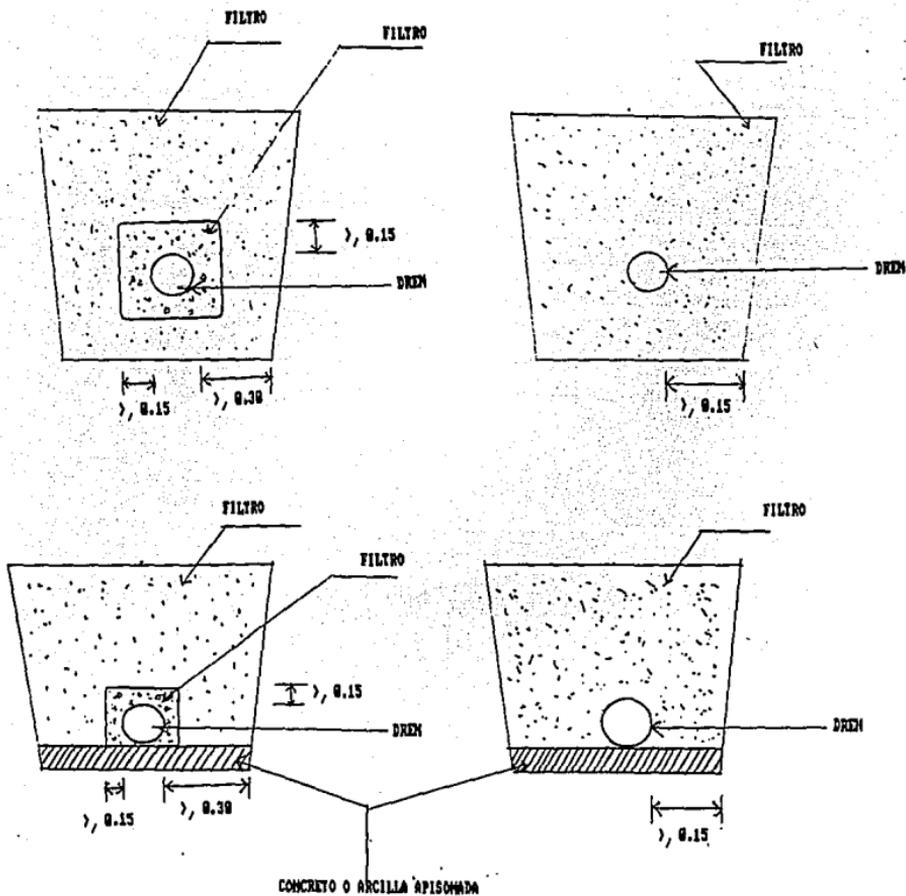
$$\frac{D_{15} \text{ del dren poroso}}{D_{85}(\text{filtro})} < 5 \quad (2i)$$

Para impedir cambios en la composición granulométrica o segregaciones del material filtro por movimiento de sus finos debe utilizarse material de coeficiente de uniformidad

$$cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} < 20 \quad (2j)$$

inferior a 20, cuidadosamente compactado.

La figura 36 se incluye como ejemplo de determinación de la granulometría del material filtro de un dren subterráneo, a partir de la granulometría del suelo que rodea la zanja del dren. El dren subterráneo se proyectará cumpliendo las disposiciones que se detallan en la figura 37, según se encuentre en terreno permeable o impermeable y sean necesarios uno o dos materiales filtro.



RELLENOS DE ZANJAS DE SUBDRENAJES

FIGURA No. 37



Un reciente desarrollo en la manufactura de tubería de drenaje es el de la tubería de PVC ranurado, el cual tiene un mecanismo de ranuras de anchos específicos, desde un mínimo de 0.25 mm a un máximo de 2.54 mm. En la figura 38 se muestra un tubo de PVC de 15.2 cm. de diámetro, en el cual se serruchan las ranuras de tamaños uniformes. Todo el control cerrado del ancho de las ranuras sigue el flujo libre del agua dentro de la tubería sin peligro de taparse con el suelo cuando se usa correctamente la ecuación 2h.

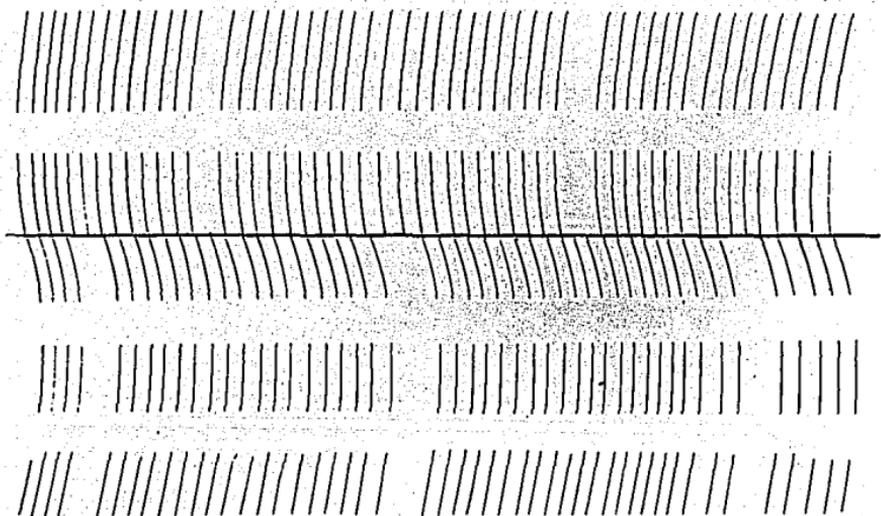
El proceso por el cual se filtra el agua o el agua subterránea es transportada en el subsuelo y la roca por medios artificiales, es lo que se conoce como drenaje o subdrenaje. Cuando se comienza a analizar cual será el mejor medio de controlar el agua en trabajos de ingeniería, es importante probar para identificar la fuente o fuentes del agua. Un punto importante para el diseño de un drenaje, es la necesidad de desarrollar un sistema que sea capaz de trasladar toda el agua sin afectar la estructura y sin obstáculos en la tubería. Además cuando se analiza el diseño se deben analizar todos los componentes del sistema de drenaje (filtros, conductos, colectores y salidas) para asegurar que todo el sistema tenga la capacidad necesaria y funcione como se le planeó.

Las rocas sanas y fuertes pueden usualmente ser usadas en el drenaje para el escape libre del agua, como son usadas en los pozos de drenaje y túneles, ya que estos materiales tienen una suficiente cohesión para resistir la erosión. Si la erosión es permitida desde el inicio, esto conduciría a obstaculizar los filtros y los drenes y en casos extremos, fallas en los tubos. Consecuentemente, el suelo de un subdrenaje es de desgaste, y se tiene que cubrir con capas, dando una protección especial, concediendo que el agua escape libremente, pero reteniendo partículas finas.

En ocasiones son usadas, telas sintéticas, denominadas geotextiles, un tipo de papel de buena calidad, cubierta de fibra de vidrio y otros productos manufacturados, que son usados como materiales de filtro en drenajes, pero el material que predomina son agregados porosos. Una buena cualidad de los agregados es que son virtualmente indestructibles, relativamente incompresibles, un rápido aprovechamiento en mucha área y su relativa inexpansión.

Muchos de los problemas, en las obras de subdrenaje, son asociados con el diseño de filtros y drenaje, con la necesidad de cumplir dos requisitos básicos:

1.- Prevención de la obstrucción. Los poros con ciertos espacios en el dren y en el filtro están en contacto con el suelo erosionable y las rocas deben ser bastante pequeñas, para prevenir que las partículas a ser arrastradas dentro, o parte de ellas y las obstruya.



EL RAQUINADO DE LA RANURA ES UNIFORME EN LO ANCHO
LO QUE DA UNA BUENA PROTECCION PARA EL FILTRADO.

FIGURA 38.



2.- **Requerimiento de permeabilidad.** Los espacios de los poros en los filtros deben ser lo bastante amplios para permitir la filtración, y el libre flujo del agua y de este modo dar un alto control sobre las fuerzas de filtración y presión hidrostática.

Cuando las filtraciones son cuantitativamente pequeñas para ser trasladadas por una sola capa bien graduada, requiere de materiales moderadamente permeables juntos, pudiéndose más adelante, servir para las dos funciones de filtro y drenaje. Pero cuando las filtraciones son cuantitativamente altas para ser trasladada por una capa de filtro, es necesario prevenir el paso de los finos al tubo, con el traslado del agua, para lo cual estos se pueden formar con más de dos capas, con una transición de tamaños. Frecuentemente el requerimiento de la permeabilidad se resuelve únicamente con el contar con un cierto grado de aberturas en los agregados. Cuando semejantes materiales son usados para drenajes en suelos erosionables o formaciones de roca, los filtros finos, tienen que ser usados para prevenir fallas en la tubería y problemas de obstrucciones.

Los filtros finos de un drenaje tienen dos funciones:

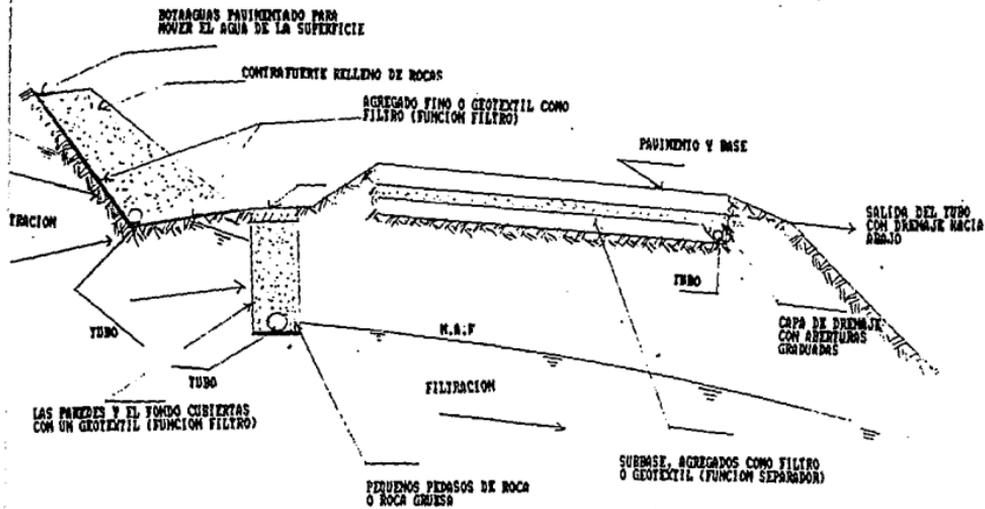
a) Como un verdadero filtro para ceder el libre flujo del agua dentro de la basta capa de drenaje, mientras que retiene atrás el material erosionado

b) Como separador o barrera para impedir que los materiales finos sean erosionados y salgan de la capa de drenaje, cuando esto no signifique un corte en el filtro del flujo del agua.

En la figura 39 se muestran estas dos funciones del filtro. La basta roca de la cimentación del terraplén en la izquierda y en la trinchera del drenaje, en ambos se necesita un filtro de protección, mientras que dentro, el grado de abertura en la capa de la base únicamente necesita una separación para prevenir al máximo una subpresión. El agua subterránea o las filtraciones de la orilla de la ladera puedan ser captados dentro de la cimentación por las trincheras de drenaje, pero no significa que el flujo de agua más arriba dentro de la base de la vía terrestre se anticipe.

3.6.3.- RELLENO DE PROTECCION

En la práctica usual, este relleno, es lo que se encuentra inmediatamente atrás del tubo extendido. El material flojo atrincherado en la zanja construyéndose posteriormente un surco a lo largo de la longitud del tubo. Este surco es saturado de agua y embalsado para formar abajo en el un relleno. Con el llenado de agua y el material flojo puede dar como resultado una sopa de suelo a través de los tubos perforados. Si el filtro es cubierto con un suelo más seco se alcanzará una estructura más estable.



FUNCIONES DEL FILTRO DE SUBDRENAJE
 COMO FILTRO Y SEPARADOR

FIGURA 39

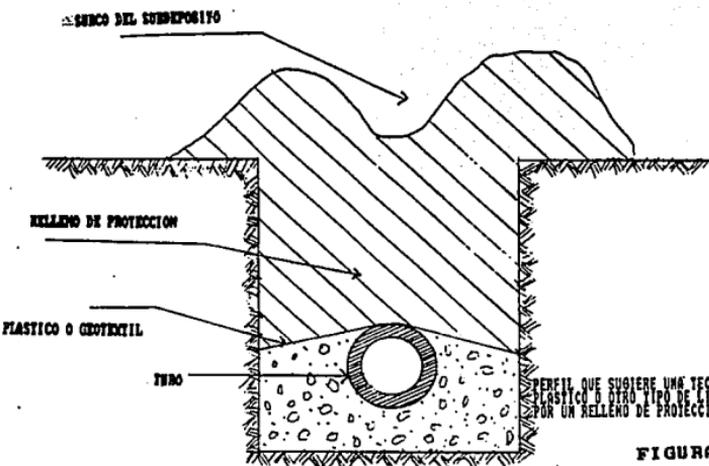
U N A M
 E. N. E. P. ACATLAN
 TESIS PROFESIONAL
 OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES
 EDUARDO CARRERON SOLIS

Es común que los filtros se empleen para cubrir a los tubos, pero en ocasiones es empleado para rematar, debido a que la colocación es fácil y barata. Esta teoría nos indica que el área de encima del tubo contribuye un poco o nada para el flujo dentro del tubo. El movimiento del agua en el suelo abajo del nivel freático es un flujo saturado por subir. Arriba del nivel freático del agua en el suelo, es una presión negativa. Este movimiento en respuesta al gradiente hidráulica, es absorbido adelante por el propio enlace del suelo con el agua. Con un cambio repentino del material, de textura gruesa a fina en dirección al movimiento del flujo, esto será una ruptura efectiva en el gradiente hidráulica. Esto es porque el movimiento del agua a través de la capilaridad de los finos del suelo, en la textura fina, tendrá un valor de succión alto, que a través de la textura gruesa ya que los capilares serán menores.

Este concepto se muestra en la figura 40, la sección de corte de la línea del tubo que cubre con grava. Se supone que esta colocación empuja y tiende a disminuir el nivel freático y así el flujo es menor. La cubierta de encima no está saturada.

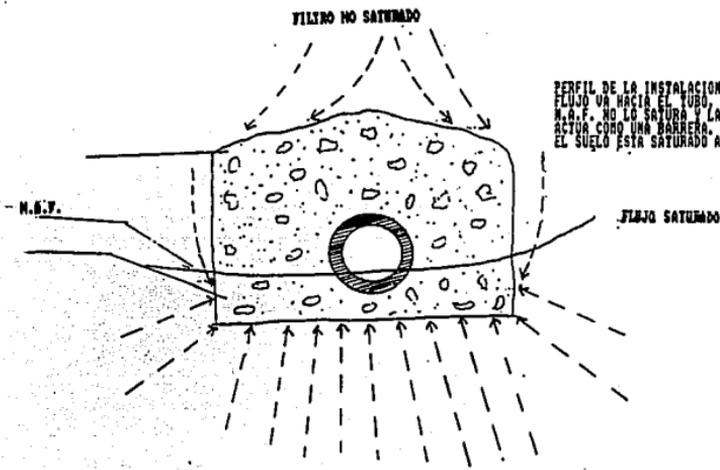
Con la irrigación del agua empezará a intentar infiltrarse, inundándose a través del suelo e intentará moverse alrededor y cubrir el suelo. El nivel freático intentará ascender, incrementando el flujo, pero encima del nivel freático, la cubierta permanecerá insaturada, y la frontera entre el suelo y la grava permanecerá con una interfase efectiva, mientras que el tubo tendrá una corriente, provocando que la presión del agua sea insuficiente para ascender el nivel freático por la cubierta de la grava. El tubo no debe funcionar como desagüe. El criterio de diseño es tal que el agua en el tubo no debe correr lleno.

La función de cualquier cubierta sobre un material de filtro, es que el tubo prevenga que el flujo sea directo y abra juntas durante el bajado del relleno, y defina la estructura del suelo del relleno, siendo estable. Esto nos es problema para una barrera que comienza impermeable y deba tener una fuerza estructural para cualquier claro de junta o abertura dentro del tubo sin falla. El papel de la cubierta de asfalto, la faja de revestimiento plástico, y otros materiales que se adhieren para que se puedan usar en este criterio. El material debe ser bastante ancho para cubrir el tubo y, además cubrir para prevenir la tubería alrededor de la orilla, ver figura 41.



PERFIL QUE MUESTRA UNA TECNICA DE INSTALACION, MUESTRA EL TUBO, FILTRO PLASTICO O OTRO TIPO DE LINEA DE PROTECCION, Y SURCO DEL SUBDEPOSITO POR UN RELLENO DE PROTECCION COMPACTADO

FIGURA No. -48



PERFIL DE LA INSTALACION DE UN TUBO CON FILTRO, MUESTRA QUE EL FLUJO VA HACIA EL TUBO, SIEMPRE QUE POR ENCIMA DEL FILTRO, M.N.F. NO LO SATURA Y LA INTERFASE ENTRE EL SUELO Y EL FILTRO ACTUA COMO UNA BARRERA. ESTA CONDICION ES NORMAL IGUAL CUANDO EL SUELO ESTA SATURADO ARRIBA DEL TUBO

FIGURA No. -41

U N A M

E. N. E. P. ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

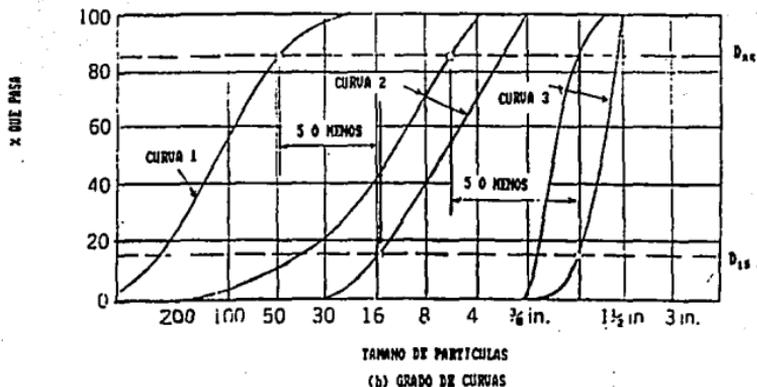
OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES

EDUARDO CARRERON SOLIS

3.6.4.- DRENAJES CUBIERTOS EN TERRAPLENES EN CORTE

Grandes cantidades de agua subterránea son localizadas en vías terrestres y en construcciones en terrenos montañosos. Cuando una vía terrestre tiene que ser construida en cortes con presencia de agua son protegidos con filtros, agregados permeables, que son colocados abajo de la estructura para prevenir el flujo interno, bombeo, y deterioro de la vía terrestre. Cuando es necesario colocar agregados de gran tamaño para remover agua, como es frecuente, la correcta graduación de las capas de filtro, deben ser correctas, para prevenir que se obstaculicen los agregados grandes. Un corte característico de esta situación, y de una curva típica es la que se muestra en la figura 42.

Las capas superiores del drenaje deben ser de alta permeabilidad para asegurar la rápida captación del agua subterránea y filtraciones. Para asegurar un permanente funcionamiento de estos sistemas de drenaje sin que se presenten obstáculos, la capa fina de filtro sobre la subbase (curva 2) no tiene que ser más que D15 del tamaño del filtro, estos es alrededor de 5 veces el D85 del tamaño del suelo fino, sobre donde se comience a construir la vía terrestre (curva 1), y la capa grande de filtro (curva 3), tiene que ser no más que D15 del tamaño, estos es alrededor de 5 veces el D85 tamaño de la capa fina de filtro como se muestra en la figura 42.



DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA DE UNA VÍA TERRESTRE

FILTRÓ FINO (CURVA 2) IMPIDE QUE EL SUELO (CURVA 1) PASE DENTRO DE LAS ABERTURAS GRADUADAS DEL DRENAJE DE AGRADO (CURVA 3). ESTO ES CONSIDERABLE CON UN N.A.F.

FIGURA No. 42

UNAM
E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VÍAS TERRESTRES
EDUARDO CARRERON SOLIS

3.6.5.- GEOTEXTILES

a) CARACTERISTICAS DE LOS GEOTEXTILES. MEDIDAS, ESPECIFICACIONES Y CONTROLES

El desarrollo en el empleo de los geotextiles implica poder prever y también, calcular, el comportamiento de las obras, en las cuales se utilizan cada vez más los geotextiles. Esto exige el conocimiento de las características mecánicas e hidráulicas de estos productos, para introducir los valores correspondientes en los métodos de dimensionamiento apropiados, y garantizar, a partir de especificaciones claras y de formas de control realistas y eficientes.

El ASTM (American Society for Testing Materials) lo define como: "textiles permeables usados como materiales geotécnicos como una parte integral de los proyectos o estructuras hechas por el hombre."

En los últimos quince años el desarrollo de los geotextiles es considerable, en un principio eran utilizados en obras provisionales, o como garantía suplementaria en obras definitivas. Actualmente su demanda asegura las funciones de rozamiento mecánico de los macizos de soporte, el drenaje y la filtración de los escurrimientos en las obras hidráulicas, como diques, presas de tierra, etc.

Los geotextiles son telas específicamente desarrollados para ser utilizadas en combinación con el suelo, por lo que es necesario para su fabricación, emplear materiales que no pierdan sus propiedades al encontrarse en dicho ambiente y por lo mismo se emplean para tal fin, productos plásticos, no biodegradables, como el poli-propileno, poliéster, nylon, polietileno, y algún otro. Dichos productos son derivados de la industria petroquímica y se pueden considerar, como parientes de los metales, pues son tenaces, dúctiles y maleables. A partir de dichos materiales plásticos que se obtienen originalmente en forma de polvo ó gránulos, se forman elementos que pueden ser manejados por equipo textil, tales como las fibras, hilos, cintas, etc., existiendo muchísimas variedades dentro de cada categoría.

Los geotextiles son membranas (mantas) permeables que pueden ser "tejidas y "no tejidas". Estas no deben ser confundidas con las protecciones de superficie degradables usadas para admitir germinación de semillas, por control de la erosión en la superficie o con las membranas de tirante de agua usadas para las líneas de depósito. Los filtros tejidos se entrelazan perpendicularmente, en otras palabras, son bidireccionales o de otra forma son

constituidos con hilos de mono filamentos prensados y después tejidas para dar al filamento una posición distinta en relación de una con la otra y retener aberturas de tamaños específicos controlados. Además se caracterizan por la disposición geométrica regular de los elementos individuales entre sí, los cuales se cruzan formando un ángulo de 90 grados; son los típicos materiales que constan de trama y urdimbre.

Las no tejidas se mezclan en formas multidireccionales, es decir, son dispersadas en un modelo al azar con filamentos sintéticos parcialmente adheridos por fusión. Otros tienen la apariencia de un fieltro aislante, y no se distinguen las aberturas excepto por un pequeño orificio. En general un geotextil es un material textil constituido por filamentos continuos o fibras sin orden, dando lugar a una manta, que adquiere resistencia a través de procedimientos mecánicos, químicos o térmicos. Además de presentar una disposición de las fibras completamente errática a preferentemente orientada a alguna dirección, y como consecuencia de los diferentes materiales y procesos que se empleen. Se emplean una gama muy extensa de geotextiles, con una combinación de propiedades muy variadas. Así encontramos productos que pesan menos de 150 gr/m² y otros cuyo peso es casi de 1 kg/m².

En cuanto a resistencia se refiere, nos encontramos con materiales que resisten menos de 5 kg/cm² en tensión y otros que resisten 40 veces más. Iguales contrastes se pueden encontrar al analizar otras propiedades de los geotextiles, por lo que es necesario estudiar adecuadamente la combinación de propiedades que se requieren para determinado proyecto, al momento de seleccionar el producto a emplear.

Para la fabricación del geotextil se utilizan polímeros; los más usados son el poliéster y el poli propileno. En su aplicación el poli propileno no tejido fue el material dominante, aunque los productos de mono filamento tejidos de poli propileno y los productos de nylon tejido juegan un papel importante en usos especializados.

En Francia existe una asociación que reúne organismos, sociedades, asociaciones que se interesan por los geotextiles, llamada CFG (Comité Francés de Geotextiles) y el CFGG (Comité Francés de Geotextiles y Geomembranas). Estas asociaciones contribuyen en el desarrollo de los geotextiles mediante intercambio de información y el estudio de temas desinteresados general relativos a estos materiales y su empleo.

Es importante hacer notar que si bien los dos grupos antes descritos son los más comunes, existe un buen número de geotextiles que se obtienen por procesos diferentes ó bien por la combinación de ellos.

Se pueden resumir los geotextiles más usuales como los no tejidos, entre los cuales destacan los "termosellados", en los que la tela se forma por fusión de los elementos individuales en las zonas donde se cruzan, los "punzonados", en los cuales las fibras se

entrelazan por medio de la acción de agujas y los "impregnados", los que forman fuertes uniones entre las fibras por medio de resinas especiales que curan (fragan) por medio de la temperatura, en un horno.

b) PROPIEDADES DE LOS GEOTEXILES, DE RELEVANCIA PARA USOS GEOTECNICOS

Para cada proyecto en particular, existirán una serie de propiedades de los geotextiles que van directamente relacionadas con la función que se pretende asignar a la tela y otro grupo de propiedades que tienen que ver con la capacidad de dicho material para conservar su integridad y como consecuencia mantener su eficiencia durante toda la vida útil de la obra. Este último grupo de propiedades influye definitivamente en el diseño del procedimiento constructivo, el cual debe tomar en cuenta la necesidad de tomar precauciones para evitar el daño al geotextil durante su instalación ó bien seleccionar alguno que posea la suficiente fortaleza para no tener que modificar el procedimiento de construcción, dependiendo de las condiciones que prevalezcan en cada proyecto.

Las propiedades de los geotextiles, de relevancia para su aplicación en la geotecnia son cuatro: las "propiedades generales", "mecánicas", "hidráulicas" y las de "durabilidad".

b.1) Propiedades Generales

Peso.- El peso es una propiedad que se toma en cuenta para determinar el grado de dificultad que puede representar la colocación manual del producto bajo diferentes condiciones.

Composición química.- Ya sea con esta propiedad ó con el Peso Específico se puede determinar si el geotextil flotará ó se hundirá al instalarse en las zonas con tirante de agua, así como otros factores de comportamiento.

Espesor.- Es de importancia cuando se desea que el geotextil conduzca el agua a través de su espesor, es decir, que funcione como dren. Solamente los geotextiles gruesos tienen esta propiedad, pero su capacidad de manejo de agua depende del espesor y éste depende de la presión de confinamiento.

Absorción de agua.- Existen geotextiles hidrofílicos, que absorben agua, e hidrofóbicos, que la rechazan. Un material hidrofílico puede ser inconveniente cuando se instala manualmente en zonas inundadas pues se vuelve muy pesado y difícil de manejar. En cambio en algún tipo de trabajos en alta mar, sería deseable que la tela se hunda por sí misma sin tener que lastrarla.

b.2) Propiedades Mecánicas

Resistencia a la Tracción.- Al someter un geotextil a un esfuerzo de tracción, la resistencia del material a ser deformado se manifiesta mediante una tensión que se desarrolla en el plano del mismo. La resistencia a la tracción así definida, normalmente se reporta en el punto de ruptura ó bien en el punto donde se experimentó la máxima carga, aunque el punto de ruptura haya sido en otro, posterior, en cuyo caso se nombra como Máximo Rendimiento. Como se considera a los geotextiles como materiales bidimensionales, la resistencia a la tracción se expresa en kg/cm.

Elongación.- La segunda respuesta a la aplicación de un esfuerzo de tracción, es el desarrollo de una elongación, la cual se reporta en % y usualmente en el punto de ruptura.

Módulo.- Es la propiedad más significativa de los geotextiles para su aplicación como refuerzo. Normalmente se emplea el Módulo Secante a 5 y a 10% de Elongación y significan, entre mayores sean tales valores, una mayor capacidad de material para proporcionar soporte ó refuerzo.

Isotropía.- De acuerdo a su fabricación, los geotextiles pueden presentar resistencia muy semejante en todos los sentidos en que se ensaye, en cuyo caso se consideran materiales Isotrópicos. En caso contrario, cuando la resistencia en algún sentido es superior a la de los demás sentidos, se considera un producto Anisotrópico. Por lo general los productos tejidos son anisotrópicos, ya que su construcción, su resistencia en el sentido diagonal (a 45 grados) es muy inferior a la de los sentidos principales. Esta consideración es de importancia al diseñar, por ejemplo, sistemas de tierra reforzada donde el refuerzo que proporciona el textil es unidireccional y por lo tanto es menester definir, de acuerdo con las propiedades del refuerzo, cual de sus lados será el que absorba el empuje de la tierra.

Fricción.- La fricción que se desarrolla entre la superficie de una Tela de Ingeniería y los demás materiales geotécnicos que se emplean en conjunto con ella, es responsable de la capacidad textil para movilizar su Módulo y proporcionar un refuerzo significativo dentro del arreglo; estudios realizados comparando la eficiencia de diversos geotextiles para retardar la reflexión de grietas en pavimentos asfálticos se ha concluido que los materiales con mayor módulo retardaban más la falla, en una relación casi lineal con su Módulo Secante a 5% de

elongación, pero se observó que aún un producto de muy alto módulo no funciona de acuerdo con las observaciones, debido a que la baja fricción que presentaba dentro del sistema, propiciaba un deslizamiento en su frontera con el pavimento y por lo tanto no se aprovechaba satisfactoriamente su alto módulo.

Flujo (Creep). - Se refiere a la variación en las dimensiones originales del material, como consecuencia de estar sometido a una carga estática en forma permanente. Uno de los métodos empleados consiste en sostener un espécimen del material que se desea ensayar, colocando un peso fijo en el extremo inferior de la muestra efectuando lecturas de los cambios de longitud que se lleven a cabo con el tiempo.

Para determinar esta propiedad, es necesario ensayar experimentalmente, mediante pruebas de corte, la combinación geotextil-agregados que se vayan a emplear.

Resistencia a la Perforación.- Se trata de determinar el daño que puede sufrir el geotextil por emplearse en combinación con agregados angulosos. En general los métodos más comunes consisten en dejar caer basalto, varillas de acero ó conos metálicos sobre la muestra de material, desde una altura previamente especificada.

Resistencia Trapezoidal.- Con esto se mide en particular la resistencia de la tela a la propagación de corte en el material, determinándose la carga en Kg. necesaria para lograr que un corte previamente efectuado en el espécimen de prueba, se propague hasta el otro extremo de la muestra.

Resistencia a la Abrasión.- Se determina el porcentaje del peso inicial que pierde la muestra, después de ser sometida a determinado número de ciclos de abrasión artificial. Otros métodos reportan el porcentaje de resistencia a la tracción inicial que conserva el geotextil después del ensaye.

b.3) Propiedades Hidráulicas.

Flujo.- Se mide el volumen de agua que fluye a través del textil, por unidad de área y por unidad de tiempo. Se puede realizar empleando permeámetros de carga constante ó de carga variable.

Coefficiente de Permeabilidad "k".- Se determina en forma similar al caso de los agregados. Como el flujo a través de los geotextiles es normalmente muy elevado, durante la

determinación se generan condiciones de flujo turbulento. Se expresa en cm./seg. También se conoce como Coeficiente de Permeabilidad Transversal, ya que el flujo se establece a través del geotextil, a diferencia del Coeficiente de Permeabilidad en el Plano, el cual se refiere a la determinación cuando el agua fluye a través del espesor del material. Para éste último caso, la determinación se puede efectuar empleando cámaras triaxiales.

De acuerdo a lo anterior, se designa a k_n como el Coeficiente de Permeabilidad Transversal y k_p como el Coeficiente de Permeabilidad Plano del geotextil. Si se designa como h al espesor de la tela, entonces se derivan la Permitividad como k_n/h la Transmisividad como $K_p h$.

Tamaño de Abertura Equivalente.- Se define como el número de malla U.S. Standard que tiene aberturas cercanas en tamaños a las aberturas del geotextil. La determinación se realiza colocando una muestra de tela por analizar en la parte inferior de un cernidor que tenga aberturas suficientemente grandes para no alterar los resultados y se coloca un peso conocido de arena ó de perlas de vidrio calibradas a diferentes tamaños de malla, sometándose después a vibración por un tiempo definido. Se reporta el Tamaño de Abertura Equivalente como el tamaño de la arena ó de las perlas de vidrio que, en un 95% ó porcentaje mayor, fueron retenidos por el textil. Existen diversas variantes del método, una de ellas la del Cuerpo de Ingenieros (EUA), del Departamento de Transportación del Estado de Nueva York (EUA), del Laboratorio de Hidráulica de Delft, Holanda, etc.

Distribución de Tamaño de Abertura.- Se realiza de manera semejante a la prueba anterior descrita, reportando para cada tamaño de perlas de vidrio ó de arena calibrada, el porcentaje en peso que fue retenido por la tela, al cabo del tiempo especificado de vibración.

Relación de Gradientes.- Esta prueba ha sido desarrollada por El Cuerpo de Ingenieros (EUA) y tiene por objeto determinar el Gradiente Hidráulico que genera un geotextil más una pulgada de suelo que se encuentra inmediatamente arriba de él, comparándose contra el correspondiente Gradiente que generan dos pulgadas del mismo suelo colocadas inmediatamente arriba de la porción de suelo que se encuentra sobre la tela. El espesor total del suelo entonces, es de tres pulgadas. La determinación se efectúa en un Permeámetro de Carga Constante.

b.4) Propiedades de Durabilidad

Resistencia Biológica.- El Consejo de Investigación Nacional de Canadá (National Research Council of Canadá) ha desarrollado un método que consiste en enterrar muestras de geotextiles en el suelo, extrayendo materiales en intervalos de 3 meses y corriendo la prueba

denominada Resistencia a la explosión (ASTM D 774), que consiste en someter a la muestra a la presión ejercida por un símbolo de hule accionado por un sistema hidráulica. La falla se presenta por reventamiento del geotextil. Otro método, designado AATCC-30-1974, se realiza sumergiendo un espécimen de tela no esterilizado, en una solución acuosa que contiene 0,05 % de un agente humidificante no iónico, después de lo cual se coloca en suelo previamente preparado. El parámetro que se controla es la resistencia a la tracción.

Resistencia Química.- Uno de los métodos aplicables es el ASTM D 543, que con el título "Resistencia de los Plásticos a los Agentes Químicos", proporciona el procedimiento para determinar cambios de peso, dimensiones, apariencia y resistencia. Se sugieren diversos lapsos de exposición de las muestras así como diferentes temperaturas de prueba. Se proporciona una lista de 50 reactivos estandarizados. El parámetro de comparación es la Resistencia a la Tracción, para el caso de determinar cambios en resistencia.

Resistencia al Intemperismo.- El método ASTM d 1435, denominado "Outdoor Whathering of Plastics", define condiciones para exponer las muestras al intemperie. Se trata de una prueba comparativa que depende del clima, época del año, condiciones atmosféricas, etc. Al igual que todas las pruebas de éste tipo, solamente se obtienen de ellas ligeras indicaciones de comportamiento del plástico de que se trate.

Otra posibilidad es la utilización de equipo de laboratorio que simula diferentes condiciones, como concentración de rayos ultravioletas, humedad, temperatura, etc., y que se denomina Weatherometro. El Departamento de Transportación del Estado de Nueva York (EUA) y la Estación Experimental Waterways (Cuervo de Ingenieros, EUA) han efectuado pruebas con diferentes procedimientos, utilizando el equipo mencionado.

De cualquier manera, es conocido que prácticamente todas las aplicaciones de los geotextiles involucran necesariamente el ser cubiertos con suelo ó con agregados, por lo que sólo es de cuidado vigilar que no sean expuestos al sol por periodos prolongados. El poli propileno es particularmente sensible al ataque por rayos ultravioletas, por lo que con dicho material es necesario tener especial cuidado.

Resistencia a Altas Temperaturas.- El método ASTM D 794 describe procedimientos para determinar cambios en la apariencia, peso, dimensiones y otras propiedades de importancia, de acuerdo con el uso final de material.

El calor se aplica a la muestra en un horno con circulación de aire controlada. Se tiene la opción de aplicar el calor en forma continúa, con incremento en la temperatura o bien aplicar ciclos repetitivos de calor en forma intermitente.

c) FUNCIONES DE LOS GEOTEXTILES Y CARACTERISTICAS

En general se reconoce que los geotextiles reúnen las cuatro siguientes funciones:

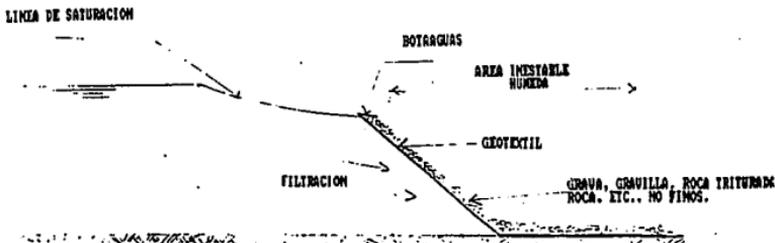
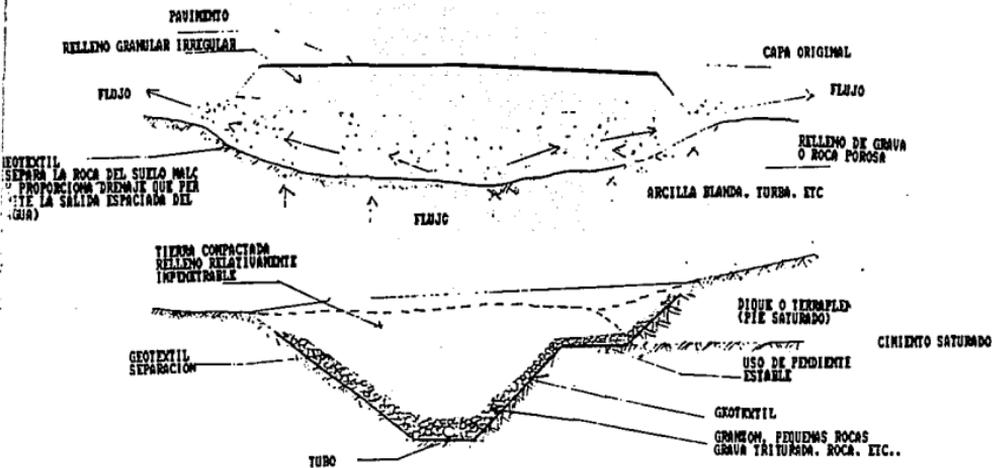
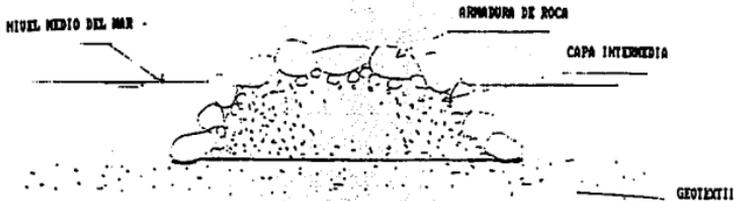
1.- De separación-anticontaminación (ver figura 43). Esta función, la más antigua en los geotextiles, evita la interpenetración de dos capas de materiales de naturalezas diferentes bajo el efecto de tensiones, principalmente las ocasionadas por el tránsito y que el material intergranular conserve la integridad de sus propiedades mecánicas. La característica sobre la capacidad de un geotextil en asegurar esta función es su abertura de filtración O_f , llamada porometría, que definió el D_{95} de un suelo en suspensión en el agua pudiendo pasar a través de los poros del geotextil (D_{95} = dimensión de los granos del suelo de manera que el 95% del peso de los granos del suelo sean inferiores a esta dimensión):

2.- De reforzamiento (ver figura 44) Muchos geotextiles tienen una resistencia de tracción relativamente elevadas y un módulo de tracción o rigidez adaptado al reforzamiento mecánico de los suelos. Puede ser interesante utilizar estas propiedades para comunicar a los suelos una cierta resistencia de tracción, mediante la acción conjugada de sus pesos y por el frotamiento suelo-geotextil (efecto de estructura), o confiándoles a una cubierta geotextil (efecto de contenurización).

Las características del geotextil sobre su capacidad de cumplir esta función son: su resistencia de tracción, su rigidez y el ángulo de frotamiento suelo-geotextil.

3.- De filtración. Esta función, también esté en estudio, evita que las partículas finas de un suelo se produzcan cuando este último es el sitio de un escurrimiento. Las características de un geotextil sobre su capacidad de realizar la función de filtro en un suelo son su abertura de filtración, tal como se definió anteriormente, y su permitividad. La permitividad de un geotextil es igual al cociente de su permeabilidad " K_n " (en la dirección normal a su planta) por el espesor " e " del geotextil. El conocimiento de la abertura de filtración del geotextil permite verificar que los elementos finitos del suelo serian aceptados, el de su permitividad permite asegurar que la velocidad de escurrimiento del agua a través del geotextil será superior al que tiene el suelo, condición indispensable para garantizar la ausencia de sobrepresiones aguas arriba del filtro.

4.- De drenaje. Se trata aquí de una función específica en ciertos geotextiles (gruesos) que tienen la propiedad de escurrir los suministros relativamente importantes en su planta y



DIFERENTES USOS DE

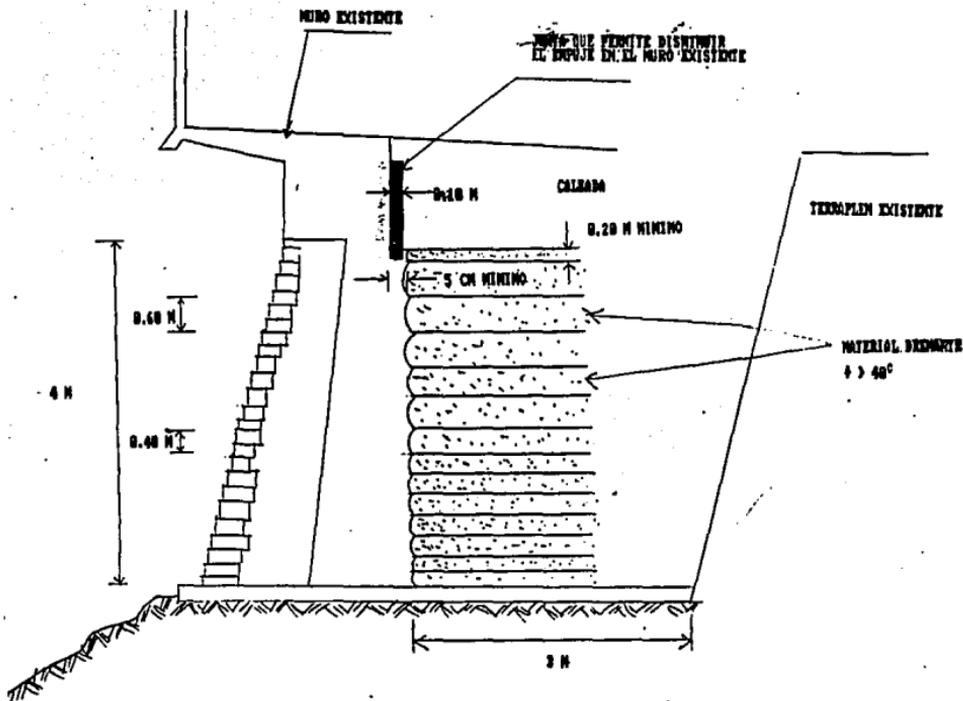
GEOTEXTILES PARA DRENAJE

FILTRACION

FIGURA No. 43

1108

<p>UNAM</p> <p>E.N.E.P. ACATLAN</p> <p>TESIS PROFESIONAL</p> <p>OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES</p> <p>EDUARDO CARRERON SOLIS</p>
--



UTILIZACION DE GEOTEXTIL COMO REFORZAMIENTO EN UNA OBRA DE UN MURO DE RETENCION

FIGURA- No. 44

UNAM
 E.N.E.P. ACATLAN
 TESIS PROFESIONAL
 OBRAS DE DRENADO EN LAS VIAS TERRESTRES
 EDUARDO CAMERON SOLÍS

constituir de esta manera las capas drenantes. La característica de un geotextil sobre su capacidad de cumplir esta función es su transmisividad. Esta es igual al producto de su permeabilidad (en la dirección paralela a su plano) por el espesor "e" del geotextil; este producto es directamente proporcional al suministro que puede escurrir en el plano del geotextil bajo un gradiente hidráulica dado.

En la práctica el geotextil puede cumplir simultáneamente varias funciones; y también en casos (pista de obra en un suelo pantanoso, por ejemplo) donde debe cumplir con las cuatro funciones citadas anteriormente. Es necesario por lo tanto examinar el geotextil susceptible de cumplir con las características de la tabla 3-5.

TABLA 3-5

**CUADRO GENERAL DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS
GEOTEXILES POR CONSIDERAR SEGUN SU FUNCION
EN LA OBRA**

FUNCIONES DEL GEOTEXIL	CARACTERISTICAS POR CONSIDERAR					
	RESISTENCIA DE TENSION	ESFUERZO	FROTAMIENTO SUERO GEOTEXIL	ABERTURA DE FILTRACION	PERMITIVIDAD	TRANSMISIVI- DAD
SEPARACION ANTI- CONTAMINACION				X		
FILTRACION				X	X	
DRENAJE					X	X
REFORZAMIENTO MECANICO	X	X	X			

d) NORMAS DE EMPLEO Y COLOCACION.

En general los geotextiles se presentan en rollos, según la necesidad, para la manipulación de los mismos, no se requiere entrenamiento especial, sólo sentido común y destreza manual.

Almacenamiento.

Es preferible que los rollos se almacenen en un sitio no inundable, pues el geotextil puede absorber grandes cantidades de agua aumentando considerablemente su peso lo que dificulta su manipulación, además se recomienda no extenderlo demasiado en el sitio de trabajo ya que la lluvia puede dificultar su manipulado.

Principio de tendido.

En zonas difíciles, es esencial desenrollar una lámina de geotextil sobre otra, unirlas y luego sepáralas.

Españar completamente las láminas sobre toda la superficie es un error, debido a las dificultades de manipulación que hacen imposible acomodarlas apropiadamente en el lugar.

En caso de trabajar en sitios donde el acceso es imposible, por ejemplo, cuando están cubiertos por agua, la tela es encerrada en forma accesible, la cual es estratégicamente colocada por las operaciones subsiguientes de tendido. En estos casos colocar una varilla o similar, de longitud apropiada, por el eje del rollo y proceder al extendido del mismo del área seca.

Superposición de láminas.

Este método es comúnmente empleado en el caso de suelos que están soportando carga. Es simple y rápido, pero tiene peligros si es empleado sin atención. Aún con traslapes de 0.5 a 1.00 mts. sobre una muestra de suelo fino, pueden pasar partículas a través de las juntas, creando una obstrucción difícil de estimar equivalente a un quiebre en la tela.

Nótese atendiendo la economía que la cantidad que debe usarse sobre la superficie, aún en el caso más favorable (30 cm. de traslapo) corresponde a un 5% de pérdida de la superficie.

Asegura con grapas, gárgolas.

Las láminas sobre el terreno pueden considerarse como un medio de ensamble, pero sólo como fijación temporal, normalmente debería emplearse un sistema más apto según las condiciones en el sitio.

Nótese que es fácil usar peines de hierro o concreto para sostener las láminas en las pendientes de riberas o llanos. La longitud y diámetro de las grapas depende, obviamente, del suelo, generalmente un hierro-concreto de diámetro 1/4 " y un metro de longitud es apto.

Debe tenerse en cuenta que este sistema no protege las láminas de ventarrones.

Costuras (recomendada para suelos con baja capacidad de soporte).

En la mayoría de los casos el ensamblaje con costuras, es el más confiable y el más capacitado desde el punto de vista hidráulica (capacidad de drenaje radial), pues la costura no interfiere con el flujo del agua en el plano de la lámina.

Las láminas de geotextil sujetas a tensión se rompen antes que las costuras. Se llevan a cabo en el sitio utilizando máquinas portátiles de coser. Se recomienda coser en cadena doble, pues si falla una costura no hay riesgo de que se propagué la falla. (ver figuras 45 y 46)

Para determinar los límites seguro de cosido, se ha desarrollado una prueba con dinamómetro.

Las costuras de la láminas provoca una pérdida en los bordes de 5 a 10 cms.

FORMA DE COSER LOS GEOTEXILES

MÉTODOS DE UNIÓN

- A.- COSTURA
- B.- SUPERPOSICIÓN
- C.- ENGRAPE

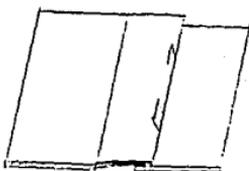
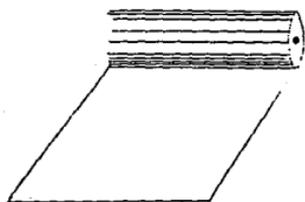
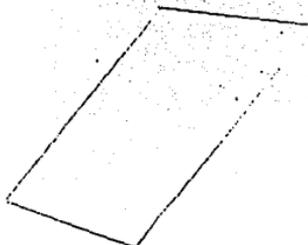


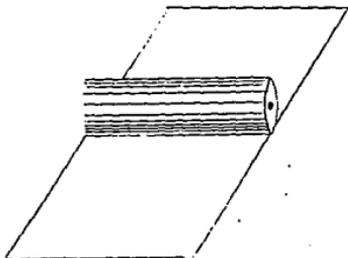
FIGURA No. 45



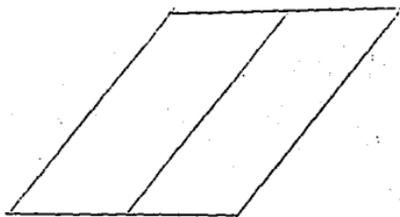
1.- SE DESENROLLA LA PRIMERA LAMINA



2.- SE DESENROLLA LA SEGUNDA SOBRE LA PRIMERA



3.- SE COSEN LAS LAMINAS



4.- SE ABREN EN EL TIERRINO Y ASI SUCESIVAMENTE

FORMA DE COSER LOS GEOTEXILES

FIGURA No. 46

<p style="text-align: center;"> U N A M E.N.E.P. ACATLAN TESIS PROFESIONAL OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES EDUARDO CARRERON SOLIS </p>
--

3.7.- METODOS DE DISEÑO PARA DRENAJE

3.7.1.- METODO DE DISEÑO POR CAPACIDAD DE DESCARGA

En general los filtros y drenajes pueden ser diseñados por capacidad de descarga, por medio de la Ley de Darcy, o por medio de la redes de flujo o por la combinación de los métodos de análisis de infiltración.

1.- Usando la Ley de Darcy. En ambos la infiltración en el suelo se evalúa por aproximaciones, y el diseño del drenaje tiene que ser evaluado en forma minuciosa, para poder ser asignado de la siguiente manera:

a) El promedio o la efectividad de la permeabilidad de la formación del suelo para drenar. Esto se determina en el campo o en pruebas de laboratorio, o en estimaciones de las condiciones del suelo hechas por las experiencias antes obtenidas.

b) El promedio del gradiente hidráulica en el suelo y el dren.

c) El promedio de las áreas del suelo y el material de drenaje completo, por el cual el agua se conduce (normal en la dirección de la filtración).

2.- Usando la Ley de Darcy para el diseño del drenaje, después tendrán que usarse las redes de flujo para estimar la valuación de las filtraciones.

3.- Usar el compuesto de las redes de flujo para el desarrollo del balanceo, para dar la solución hidráulica por las filtraciones en el suelo y el drenaje.

Diseñando con la Ley de Darcy. Después de tener valuada la infiltración por los métodos apropiados de infiltración y drenaje se puede diseñar con la Ley de Darcy con cualquiera de los dos siguientes métodos:

1.- Se establece una prueba de densidad de la parte del agua captada en el drenaje y se calcula la permeabilidad requerida con la Ley de Darcy como sigue:

$$k = \frac{Q}{iA} \quad 3.7$$

Se pueden hacer diferentes pruebas de densidad si se desea y calcular la permeabilidad requerida con las combinaciones correspondientes.

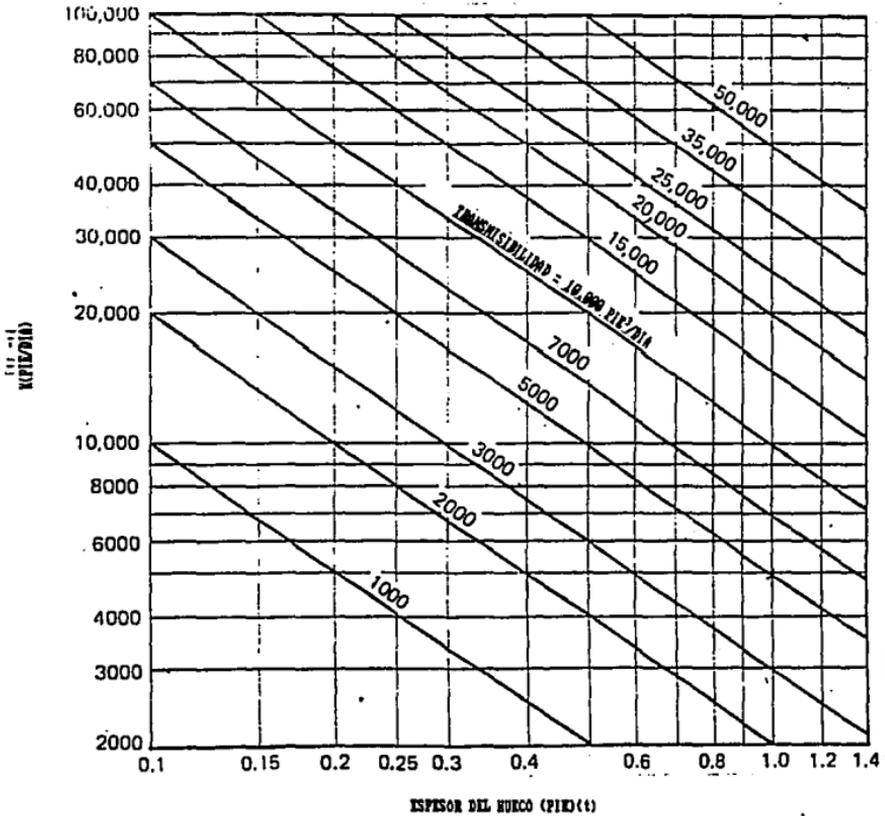
2.- Se seleccionan una o más permeabilidades, que representen la más adecuada de los agregados de la localidad con gradientes aceptables y se calcula la densidad requerida por la Ley de Darcy.

En esta determinación el máximo gradiente hidráulica admisible en el drenaje, depende de la altura "h" está puede proteger el desarrollo en el drenaje sin causar la nociva presión hidrostática o extender la saturación dentro de las capas de suelo, teniendo que ser liberada de la misma. El máximo gradiente hidráulica admisible en un drenaje es igual a "h/L", en donde "L" es la longitud de trayectoria de descarga del agua en el drenaje. Si se analizan las filtraciones desde el inicio como una franja longitudinal de un pie de ancho, el recorrido de la trayectoria del drenaje en el corte de la sección del 'rea ser' igual a un pie veces del espesor y numéricamente es la raíz cuadrada en pies, de corte de la sección del 'rea que es igual al espesor en pies. Se tiene que cuidar siempre para el uso compatible el influjo y el flujo exterior de las áreas.

La Ley de Darcy puede ser escrita también como sigue:

$$\frac{Q}{i} = kA \quad 3.8$$

En la ecuación 3.8 el producto del espesor de la capa del drenaje (x 1 pie de longitud de drenaje = A) y k es la permeabilidad, será la transmisividad necesaria en el drenaje para captar la cantidad de gasto Q, debajo del gradiente hidráulica. Con la ecuación 3.8 y con la carta que se muestra en la figura 47, se puede desarrollar con facilidad la examinación de un rango amplio de espesores de capas prácticas y permeables que deben ser utilizadas siempre que se quiera una transmisividad.



CARTA DE TRANSMISIBILIDAD POR CAPAS DE DRENAJE

FIGURA No. 47

U N A-M
E. N. E. P. ACATLAN
 TESIS PROFESIONAL
 OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES
 EDUARDO CARRON SOLIS

3.7.2.- DISEÑO CON REDES DE FLUJO

Las redes de flujo para una sección compuesta pueden ser usadas por un diseño de balanceo hidráulica de drenaje. El caso presenta un problema de flujo a través de suelos estratificados, con estratos de diferente naturaleza. Para esto se define la siguiente relación con la ecuación:

$$\frac{c}{d} = \frac{k_2}{k_1} \quad 3.9$$

k_1 = permeabilidad del suelo
 k_2 = permeabilidad del drenaje
 c y d = longitud y ancho de las redes de flujo

En el diseño por redes de flujo se pueden usar dos procedimientos:

- 1.- Se empieza con el drenaje asumiendo dimensiones y determinando la permeabilidad requerida.
- 2.- Se determina la relación de permeabilidad k_f/k_s , y se determinan las dimensiones requeridas del drenaje.

Cuando las redes de flujo son movidas correctamente, para una sección compuesta, con una medida en el suelo, la relación c/d para las redes de flujo en el drenaje es numéricamente igual a la relación k_f/k_s . Si la permeabilidad es conocida o estimada, la permeabilidad del drenaje puede ser estimada como:

$$K_f = K_s \left(\frac{c}{d} \right) \quad 3.10$$

3.7.3.- DISEÑO DE CAPAS PERMEABLES

Otra forma de aplicación de las redes de flujo en un suelo saturado, es la que se da para el diseño de capas permeables. Para esto se diseña una carta que se muestra en la figura 48, Con esto se desarrollarán una familia de redes de flujo obteniéndose la carta que se muestra en la figura 49. Se muestra un plano artesiano de $0.2D$, se supone la existencia de una capa de grava tendida, cuyo fondo es de $0.5D$, la cual es igual a la mitad del espacio D entre las líneas de la superficie longitudinal del drenaje.

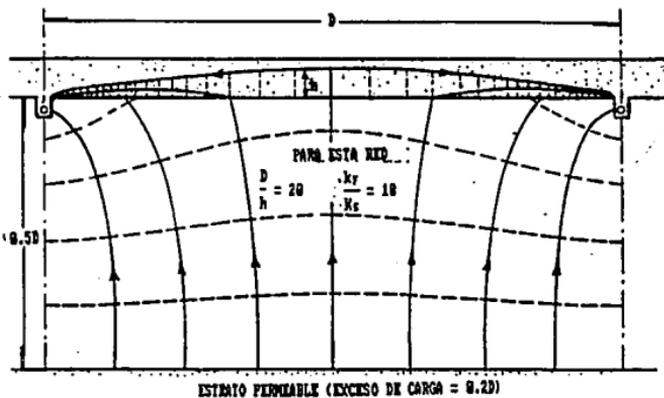
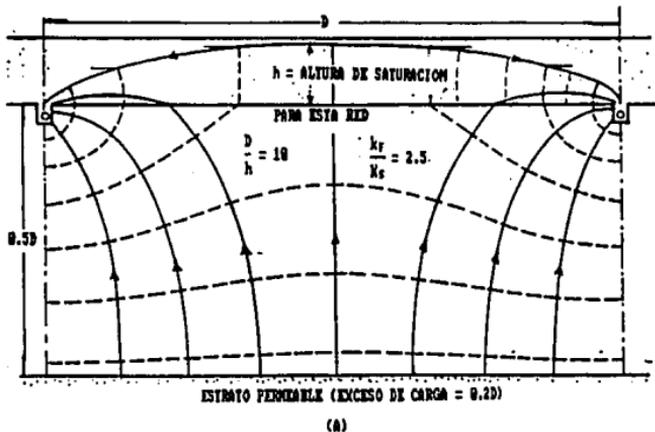
El flujo de agua es vertical, hacia arriba, a través del subsuelo y es interceptada por los drenes horizontales que son alimentados lateralmente por la línea de drenaje, a causa del exceso en la capa superior. Sobre la capa subyacente de $0.2D$ la relación de gradiente hidráulica en el suelo es de $0.2D/0.5D$ ó 0.4 . Esta suposición se debe manejar con cuidado cuando se utilice la figura 49 para el diseño de drenajes horizontales.

Examinando las redes de flujo en la figura 48 se refleja que las filtraciones son esencialmente verticales en el suelo y esencialmente horizontales en el drenaje cubierto. Si la altura h admisible en la cubierta es supuesta para ser ligeramente menor que el espesor (frecuentemente es necesario suponerlo), el gradiente máximo admisible en la cubierta tiene que ser relativamente pequeño; un gradiente hidráulica grande y una área de suelo grande indica filtraciones, siendo en pequeñas áreas con gradientes hidráulica pequeños, los más provechosos para librarse de las filtraciones.

En la figura 48 se determina la permeabilidad de la cubierta para $c/d = k_f/k_s$ y $k_f = k_s(c/d) = k_s(k_f/k_s)$. De este modo en la figura 46a la porción de las redes de flujo en la cubierta es hecha con rectángulos de longitud c , esto son 2.5 veces su ancho d . Para que $c/d = 2.5$ y $k_f/k_s = c/d$ la cubierta de la figura 48a tiene que ser 2.5 veces tan permeable como el suelo.

También el drenaje de la cubierta de la proporción que se muestra en la figura 48b tiene que ser menor 18 veces permeable como el suelo para $c/d = 18$ y $k_f/k_s = 18$

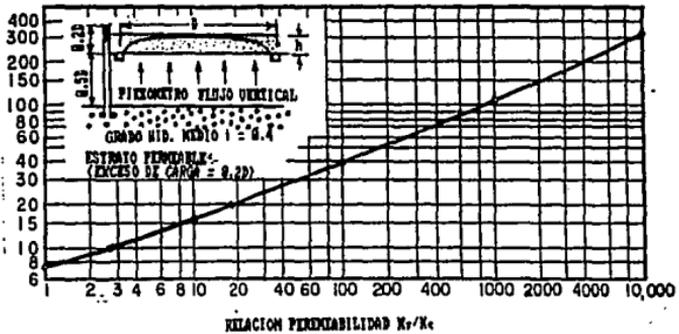
En la escala h (es la altura de saturación de la cubierta en la figura 48) y la distancia D son dimensiones diseñadas con la relación D/h . Pueden ser determinadas para cada uno, por las redes de flujo. De esta manera para la red de flujo en la figura 48a la relación D/h es de 10 y en la figura 48b es de 20. Como en todos los estudios de secciones compuestas una altura de



REDES DE FLUJO PARA CAPAS PERMEABLES HORIZONTALES

FIGURA No. 48





GRAFICA DE DISEÑO DE CAPAS PERMEABLES
 FIGURA No. 49

U N A M
 E.N.E.P. ACATLAN
 TESIS PROFESIONAL
 OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES
 EDUARDO CARRERON SOLIS

saturación h en un material más permeable puede ser supuesta y correspondiendo por la relación kf/ks , determinada por la forma de las redes de flujo. Así mismo la relación kf/ks , puede ser supuesta y, la distancia h medirse para un correcto movimiento de la redes de flujo. La curva en la figura 49 muestra las dimensiones de diseño de la relación D/h para un rango muy amplio de permeabilidades con la relación kf/ks .

3.7.4.- DISEÑO DE DRENES LONGITUDINALES DE ZANJA

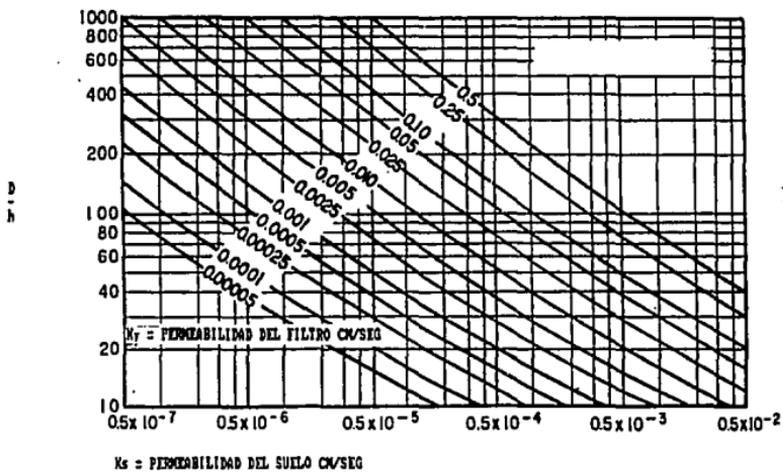
De igual forma se pueden diseñar drenes longitudinales de zanja a través de redes de flujo. En la figura 50 se muestran redes de flujo típicas hacia drenes longitudinales de zanja.

En la figura 51 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. La gráfica se ha calculado a partir de redes de flujo y constituye una solución teórica.

Se produce un caso en que bajo un pavimento existe un espesor de suelo d , quizá material de terracería y bajo él una fuente de agua, en la que ésta tiene una subpresión equivalente a la carga h ; como consecuencia se desarrolla un flujo ascendente.

Para la geometría presentada, la parte b de la figura 51 permite relacionar la máxima carga que afecta al agua entre las dos zanjas de drenaje con la profundidad de dichos subdrenes, lo cual es un dato interesante de alto valor práctico.

Cuando la subpresión sea alta, consideraciones como las contenidas en la gráfica de la figura 51 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 puedan desarrollarse en el agua.



GRAFICA PARA DISEÑO DE CAPAS PERMEABLES HORIZONTALES

FIGURA No. 50

UNAM
E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
 OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES
 EDUARDO CARRIZON SOLIS

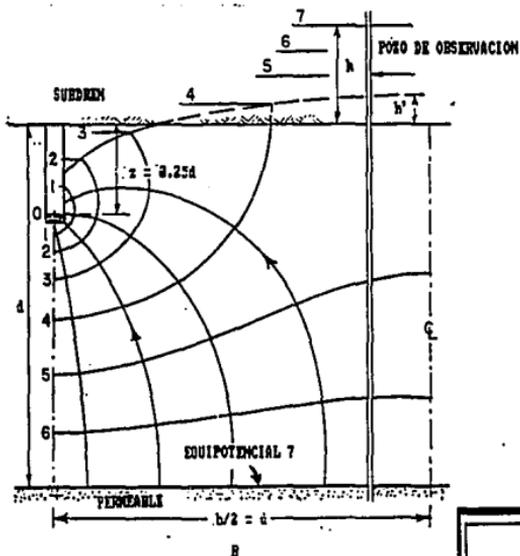
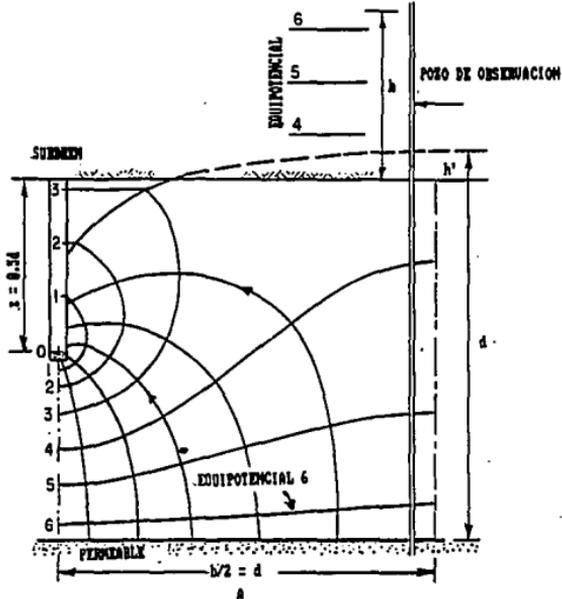


FIGURA No. 51

U N A M
E. N. E. P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
OBRAS DE SUDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES
EDUARDO CARRIZO SOLIS

3.7.5.- DISEÑO DE POZOS DE ALIVIO

En la figura 52 se muestran una tabla y una gráfica, las cuales permiten calcular la capacidad de un pozo de alivio para coleccionar agua, proporcionando al mismo tiempo el gasto que ha de ser drenado.

Si conocemos la permeabilidad de los materiales filtrantes es posible estimar la capacidad de conducción de filtración del pozo por medio de la Ley de Darcy o por las redes de flujo. En la figura 52 se muestran factores que permiten valuar las filtraciones dentro del pozo a través de los materiales filtrantes, conociendo la permeabilidad ó determinando la permeabilidad requerida para los materiales. La parte (a) de la figura 52, se refiere a un flujo horizontal que se dirige hacia el pozo desde el terreno circundante, que se supone saturado. "Dp" es el diámetro del pozo y "Dt" el del tubo perforado; la diferencia es el espesor del filtro. La gráfica permite calcular el factor de forma de la red de flujo en torno al tubo perforado, en función de la relación de los diámetros del tubo y del pozo. Calculando dicho factor de forma, el gasto por eliminar será:

$$Q = khL \quad 3.11$$

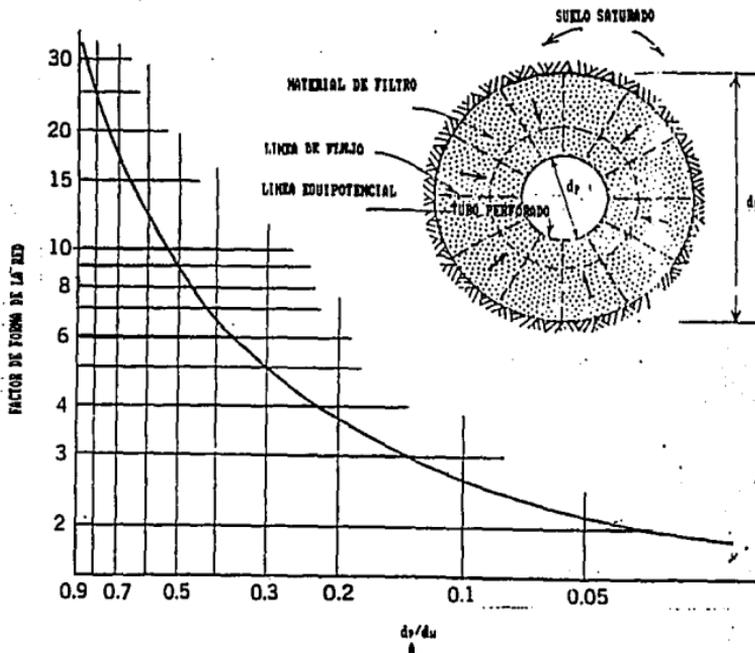
Donde:

k = coeficiente de permeabilidad del material de filtro

h = carga hidráulica que produce el flujo en torno al tubo perforado (en general estimada)

L = es la profundidad el pozo. (en pies)

La parte (b) de la figura 52, muestra una gráfica referente al gasto que se colecciona en el fondo del pozo de alivio, cuando el drenaje se hace por una galería conectada a dicho fondo o por un dren transversal que aflora en esa zona del pozo de alivio. El gasto se da en términos de permeabilidad del filtro y del diámetro del pozo.



FLUJO DESCENDIENTE $q = k_1 h = k_2 h_2 / n_2$

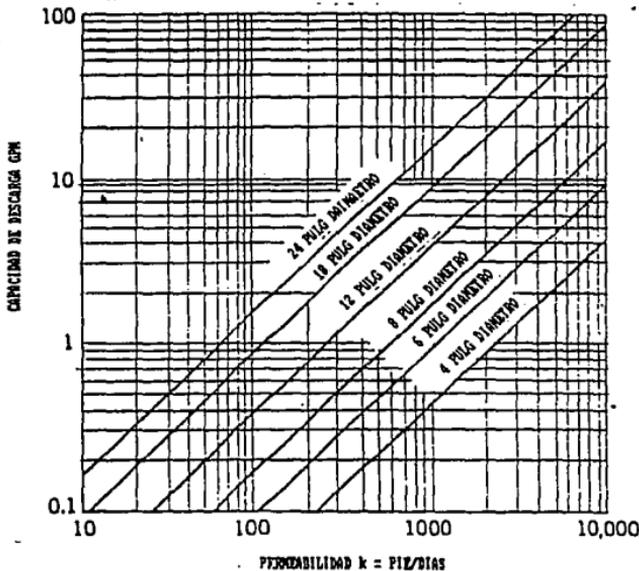
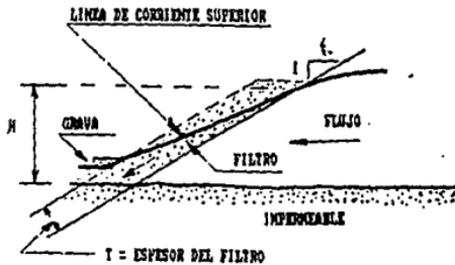
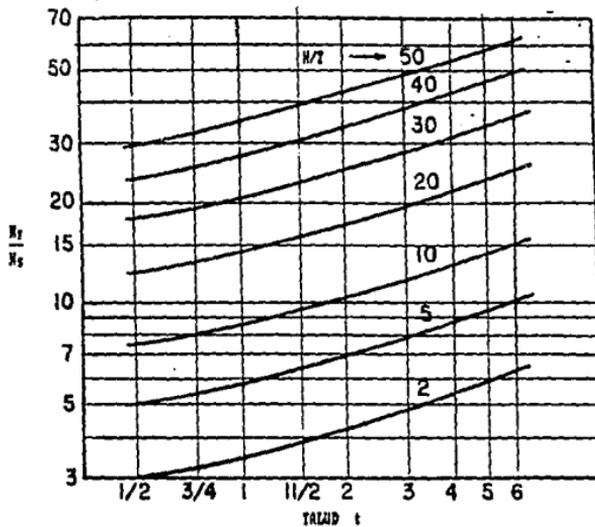


FIGURA No. 52

UNAM
E.N.E.P. ACATLAN
 TESIS PROFESIONAL
 OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES
 EDUARDO CARRON SOLIS

3.7.6.- DISEÑO DE FILTROS PARA TRINCHERAS ESTABILIZADORAS

En el caso de los filtros inclinados en las trincheras estabilizadoras, pueden ser proyectados en espesores por medio de redes de flujo. Trazando las correspondientes redes de flujo pueden tenerse ideas de los gastos y requerimientos de permeabilidad que pueden presentarse en lo relativo a la capa filtrante que se coloque en el talud aguas arriba de la excavación. En la figura 53 proporciona información de este estilo obtenida del estudio de diversas redes de flujo. El dato práctico interesante sería obtener la relación requerida de las permeabilidades del filtro y del suelo k_f/k_s . El, en la figura 53, debe interpretarse como la altura del filtro que queda bajo la línea de corriente superior. La figura 53 permite relacionar las permeabilidades requeridas con los espesores que se proyecten de filtro.



REQUERIMIENTO DE FILTROS INCLINADOS

FIGURA No. 53

UNAM
E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
 OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VÍAS TERRESTRES
 EDUARDO CARRERON SOLIS

3.8.- INFLUENCIA DEL SUELO Y ASPECTOS GEOLOGICOS SOBRE EL DRENAJE.

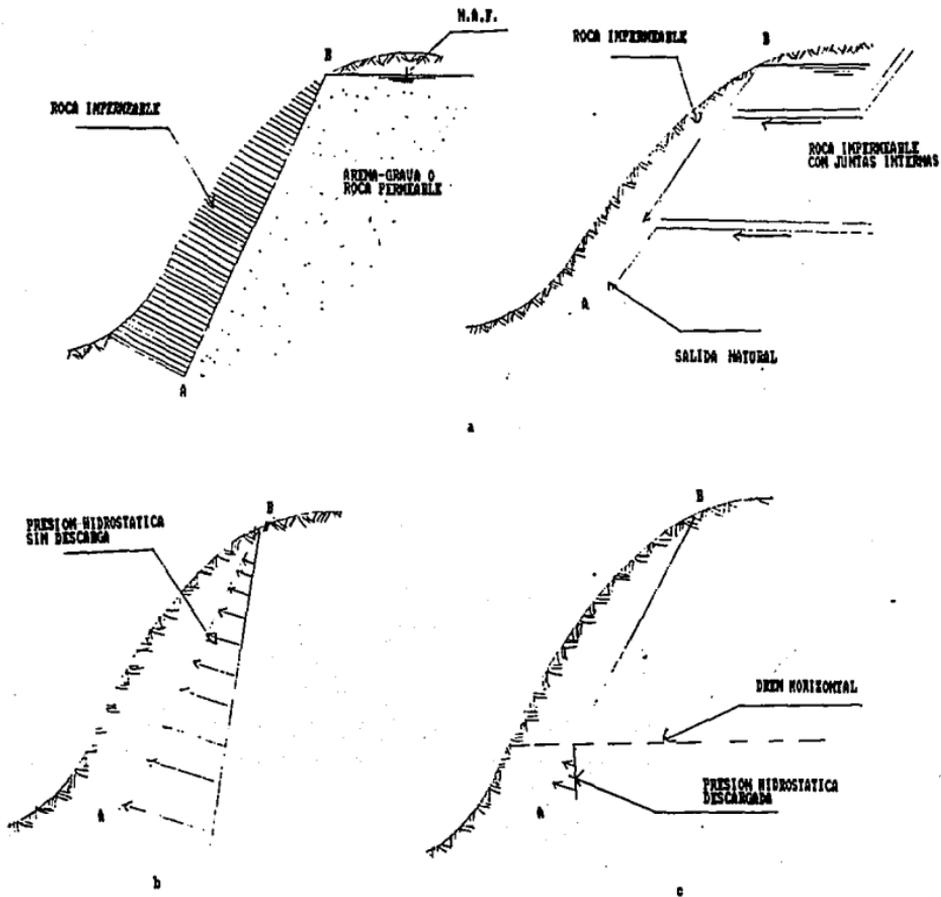
Los detalles geológicos y el suelo inferior de un talud de tierra, tiene una influencia importante sobre los modelos de drenaje así como el desarrollo natural y la efectividad de un sistema de drenaje artificial. El extremo exterior de un talud cerca de la barrera impenetrable puede retardar el drenaje natural, acumulándose la saturación general del nivel o cuidando charcos en las estructuras altas dentro de los taludes. Cuando esto ocurre la estabilidad del talud frecuentemente puede ser mejorada por un sistema de drenaje.

En la figura 54 se ilustra una idealización de la sección de un corte, de las condiciones geológicas que son frecuentes para las estructuras altas y con agua subterránea, depósitos dentro del talud.

El diagrama de la izquierda describe una superficie cubierta de pizarra impenetrable, cortada a distancia por un drenaje natural con una cama de piedra arenisca, y la otra de la derecha muestra una formación de roca impenetrable conjunta y no teniendo una salida natural. En ambos en el plano AB, en la cara interior, tienen un material impenetrable. Sin un drenaje artificial, la presión del agua puede poner en alto peligro la estructura al nivel del plano AB (fig.b), causando un colapso del talud si la presión no se estabilizará. Si un dren horizontal perforado dentro del talud como se muestra en la figura (a), la presión hidrostática puede ser abatida significativamente como se muestra en la figura c, mejorando substancialmente la estabilidad del talud. Esta condición general es frecuente encontrárselo en la construcción de caminos.

Como regla general, el esbelto drenaje esta en contacto únicamente en la parte menuda del total del volumen de tierra en el talud, considerados como taponos ya que captan los depósitos de agua. En un suelo de roca homogéneo un drenaje debe ser espaciado estrechamente para controlar efectivamente el agua subterránea. En las partes homogéneas, en formaciones impenetrables, los drenes horizontales o los pozos de alivio pueden remover el flujo abatido estimado, pero esto puede ser completamente inefectivo, en todo caso en las formaciones permeables o semipermeables, este desarrollo con un buen modelo de las filtraciones, pueden mejorar la estabilidad del talud. Las redes de flujo que se muestran en la figura 55, muestran unos drenes horizontales con separaciones estrechas en suelos homogéneos, en formaciones semipermeables puede inducir el modelo de filtraciones verticales y reducir excesivamente la presión de poro.

Las filtraciones de agua son generalmente en la desestabilización del talud en la dirección horizontal, mientras que las filtraciones de agua verticales hacia abajo no producen fuerzas de desestabilización y tampoco presión de poro.

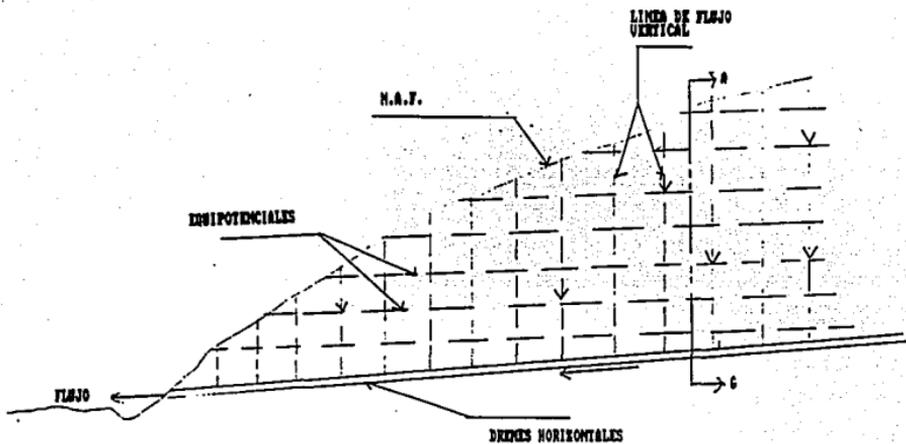


- a) PRESION HIDROSTATICA ALTA
- b) PRESION HIDROSTATICA SIN DESCARGA
- c) PRESION DESCARGADA POR EL DRENAJE

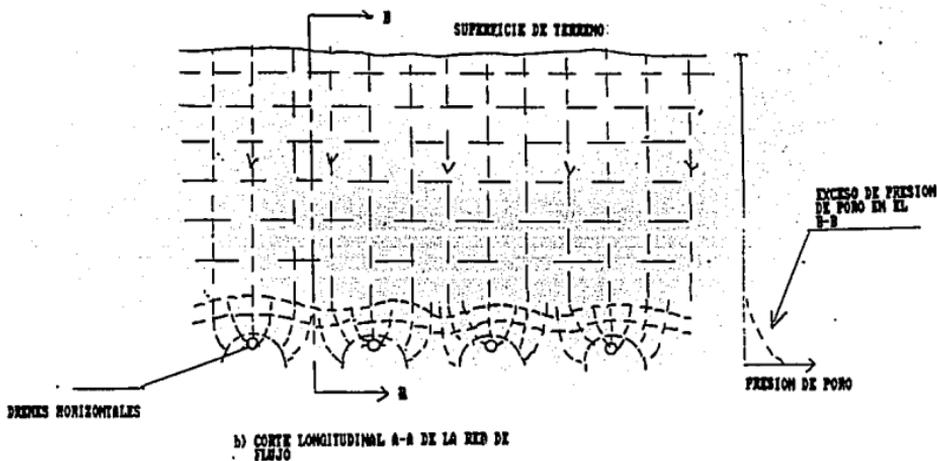
ESQUEMA DEL EFCTO DE LOS DRENES HORIZONTALES

FIGURA No. 54

UNAM
E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES
EDUARDO CARRICOM SOLIS



a) CORTE DE SECCION Y RED DE FLUJO



b) CORTE LONGITUDINAL A-A DE LA RED DE FLUJO

IDEALIZACION DE UNA RED DE FLUJO POR FILTRACION CON DRENES HORIZONTALES

FIGURA No. 55

<p style="text-align: center;"> U N A M E.N.E.P. ACATLAN TESIS PROFESIONAL OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES EDUARDO CARRERON SOLIS </p>
--

3.9.- SUBDRENAJE EN CAMINOS

Se sabe que la época de lluvias es la estación mala del año para los caminos. Es la época en la que ocurren los desbordamientos de los ríos provocando las consiguientes consecuencias. En otras estaciones, especialmente después de las lluvias, el agua corre libremente de las juntas y las grietas del pavimento, presentándose el "bombeo" del lodo.

Estas condiciones traen como consecuencia roturas y desigualdades peligrosas en la superficie del camino; los costos de conservación aumentan; y el año siguiente se presenta el mismo problema.

La situación ha empeorado debido al aumento del tránsito, a las altas velocidades actuales, y a la mayor proporción de autobuses y camiones pesados.

La causa de los perjuicios enumerados anteriormente es casi siempre la misma: "demasiada agua" y drenaje insuficiente.

Los objetivos del subdrenaje en carreteras son ligeramente diferentes en los cortes, en los terraplenes o en la superficie de rodamiento.

Al construir un corte, el agua tiende a aflorar en las paredes de su talud, como se ha mencionado. La construcción ha modificado la frontera exterior de esfuerzos nulos; se ha efectuado una descarga del terreno natural, que produce una disminución de los esfuerzos normales y un aumento de los esfuerzos cortantes en el terreno localizado inmediatamente detrás y debajo de la excavación; la disminución de los esfuerzos normales produce la disminución de la resistencia al esfuerzo cortante del medio, por lo que ambos cambios son los que disminuyen la estabilidad del talud. Como ya se expresó, todo lo anterior hace la condición crítica del corte se presente un tiempo después de su excavación, generalmente después de la época de lluvias. Los métodos de subdrenaje en cortes tienden precisamente a controlar el flujo del agua en el talud, evitando que fluya hacia la superficie, para restringir así los cambios volumétricos del material y orientar favorablemente las fuerzas de filtración. Al variar el estado de esfuerzos hidrostáticos en el agua en la zona del talud es de gran ventaja ya que la resistencia de los suelos depende fundamentalmente de los esfuerzos efectivos a que están sujetos y no de los totales.

En el caso de terraplenes, la necesidad de subdrenaje en el terreno en que se apoyan

pueden exponerse en base a mecanismos similares. Al colocar un terraplén sobre una ladera se aumentan los esfuerzos cortantes actuantes en ella, así como los esfuerzos normales, pero por ser la pendiente del talud del terraplén mayor que la del terreno natural, al aumento de los esfuerzos cortantes no se ve debidamente compensado por el aumento de resistencia del terreno al esfuerzo cortante, debida al incremento de los esfuerzos normales; así, la estabilidad de la ladera disminuye y una manera racional y eficiente de aumentarla es hacer crecer los esfuerzos efectivos actuantes; lo cual se logrará si se hace disminuir los esfuerzos neutrales en el agua que llena los vacíos del suelo de la ladera.

Cuando el agua tiende a aflorar bajo la superficie de rodamiento, tal como ocurre en el fondo de una excavación que se practique para un corte en cajón, pueden resultar perjudiciales las capas que constituirán las capas de rodamiento. Por supuesto no es ésta la única causa por la cual puede aumentar el contenido de agua en estas capas, pero sí pueden llegar a ser de las más importantes. Al actuar la carga rodante sobre el pavimento se transmiten esfuerzos normales y cortantes a la base, la subbase y a la subrasante; si estas capas están secas o su humedad es baja, los esfuerzos normales serían tomados por la estructura granular y la resistencia al esfuerzo cortante aumentará con las sollicitaciones que se le apliquen, pero si la base y las demás capas están saturadas, parte de los esfuerzos normales serían transmitidos al agua y no contribuirán a crear una resistencia al esfuerzo cortante, teniendo que ser soportada la carga exterior sólo por la resistencia generada por los esfuerzos normales debidos al peso propio de las capas de pavimento, que son bajas. En este caso las obras de subdrenaje deben estar orientadas a lograr que la base, la subbase y la subrasante tengan bajos grados de saturación.

El planteamiento de un adecuado sistema de subdrenaje requiere de buena información sobre la disposición y naturaleza de los materiales naturales que intervengan. Esta puede provenir de inspección de campo, de estudios geológicos o de sondeos con muestreo, seguido de pruebas de laboratorio. Como quiera que la información proveniente de todas esas fuentes suele ser incompleta e incierta, un proyecto de subdrenaje no debe considerarse nunca finalizado, sino que debe siempre mantenerse abierto, para sufrir todos los cambios y adaptaciones necesarias durante la construcción de la vía y en su vida activa.

La alternativa extrema a no emplear el subdrenaje es obviamente el deslizamiento de una ladera, la falla de un talud o la destrucción de un pavimento. Estos eventos tienen muy diferente peso de acuerdo con la importancia económico-social de la carretera en que puedan llegar a suceder. En este sentido, la importancia de la vía y el monto de bienes y servicios que por ella se mueven, deben condicionar en cierta medida el criterio de frecuencia e intensidad de aplicación de normas de subdrenaje. De lo anterior no debe concluirse que en caminos de bajo tránsito o bajo nivel económico de servicios, tan comunes en países en desarrollo, no deba emplearse el subdrenaje, pues muchas veces éste llega a tener tal importancia que representa el ser o no ser de la vía, lo que simplemente debe quedar establecido es que en tales obras una falla o una superficie de rodamiento en condiciones precarias de transitabilidad tiene una importancia diferente de la que tendrían en un camino fundamental desde el punto de vista económico.

El subdrenaje muchas veces juega un papel independiente de los indicadores con base en los cuales se juzgue la importancia relativa de la carretera, en el sentido de que de él depende, dentro de un costo razonable ingenierilmente hablando, la existencia misma de la obra.

3.10.- SUBDRENAJE EN VIAS FERREAS

Se sabe que algunos suelos proporcionan una base más estable para ferrocarril, así como mejor cimentación (subbase) que otros; siendo aquellos los suelos granulados con elevada cohesión y fricción interna y de baja compresibilidad, capilaridad y elasticidad. Un gran contenido de arcilla es por lo general adverso. La construcción nueva debe usar solamente los mejores suelos de que se disponga.

El exceso de humedad en el lecho de la vía causa perjuicios de 4 maneras: a) reduce mucho la resistencia a la sustentación de los suelos de todas clases, en algunos más que otros, dando como resultado zonas blandas; b) en caso de aumento o disminución del exceso de agua, se producen ensanchamientos y contracciones desiguales desplazamientos irregulares en la vía; y c) frecuentemente se producen asentamientos y deslizamientos.

El drenaje superficial adecuado constituye el primer paso para lograr un lecho de vía seco y estable. Esto se logra mediante una corona apropiada, pendientes, zanjas interceptores y laterales, alcantarillas.

La humedad del suelo que pasa a través del lecho de la vía o es retenida en ella en la base o en los taludes laterales es de 2 orígenes principales: de gravedad o capilar. El agua libre originada por la gravedad puede controlarse mediante zanjas para subdren, con relleno permeable, tubo para subdrenaje y otros canales. El agua capilar se mueve con menos libertad; no puede extraerse directamente por medio del drenaje, aun cuando puede controlarse hasta cierto punto bajando el manto de agua. Puede también evitarse el ascenso de esta agua mediante una capa gruesa de material permeable.

Otro problema típico son las bolsas de agua que resultan porque el balasto se hunde en el terreno inestable que se llena de agua, debido a las cargas más pesadas. Esto sucede en corte como en terraplén.

Algunas veces puede evitarse la formación de estas bolsas si durante la construcción se escogen materiales estables que se compactan y abovedan con la pendiente transversal necesaria antes de colocar el balasto. La profundidad del subbalasto y el material apropiado para el mismo son también importantes.

La instalación de subdrenes cuando se construye el lecho de la vía constituye un buen medio para evitar la formación de bolsas de agua, especialmente en los cortes. La figura 56 muestra un ejemplo típico, con tubos de perforado en drenes interceptantes y laterales.

En los tramos en corte, las bolsas de agua y la vía inestable se agravan con escurrimientos laterales. Algo puede ayudar en estos casos el excavar cunetas profundas; pero la forma más satisfactoria de remediar esta situación consiste en instalar un dren interceptante en la cuneta del corte de la ladera o en ambas cunetas, con una pendiente mínima del 0,7%. Los drenes laterales deben instalarse bajo el nivel de la vía a intervalos de 7 a 10 mts.

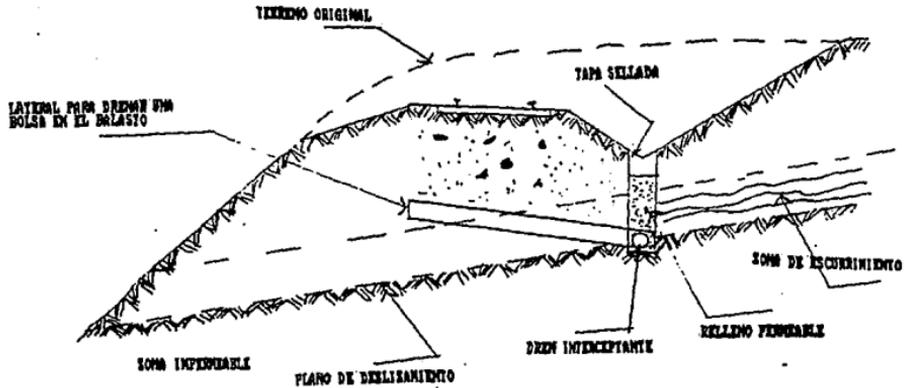
Prácticamente no existe diferencia entre drenar un lecho de vía para una sola línea ó par más, salvo que debe darse salida al agua de la superficie en otra forma. Para una vía doble que no sea necesario el empleo de un dren entre las dos vías, además de los laterales y drenes principales a ambos lados del lecho de la vía. Sin embargo, en algunos casos se hace necesario instalar un dren de tubo perforado entre cada dos vías o entre los rieles de cada vía.

Siempre que hay cruces de vías o de caminos a nivel, se presenta el problema de conservar dichos cruces lo suficientemente tersos con un mínimo de conservación.

El drenaje debe consistir en tubos perforados colocados en zanjas a los extremos de las travесías en las vías sencillas y dobles, y entre cada dos vías cuando hay más de dos. En estos casos deben instalarse drenes perforados en posición transversal en el extremo más alto del cruce, para drenar los espacios entre las vías. De lo contrario, tales espacios pueden trabajar como canales subterráneos conduciendo el agua pluvial a los cruces. Los tubos deben llevar una pendiente mínima de 0.3% y estar instalados a profundidad de 0.90 a 1.20 m bajo las travесías, si están en terraplén, o, en el caso de corte, de modo de controlarse por el fondo de las cunetas ver figura 57.

Los problemas de subdrenaje, en lo que se refiere a la protección de lo que por extensión podría llamarse superficie de rodamiento de la vía férrea afectan entonces, al subbalasto, a la subrasante y al cuerpo del terraplén. En estos aspectos, el subdrenaje de una vía férrea no tiene porque ser diferente al de un camino. Las capas drenantes, o los drenes longitudinales de zanja y los drenes interceptores juegan un papel importante. La figura 58 muestra dos secciones típicas de un ferrocarril dotadas de subdrenaje. En la parte a se muestra una vía constituida por los procedimientos que la costumbre todavía mantiene en muchos casos; la sección no tiene

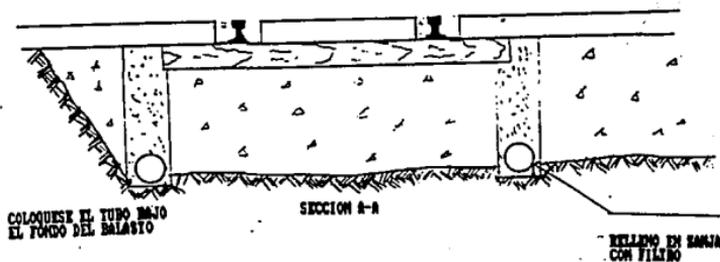
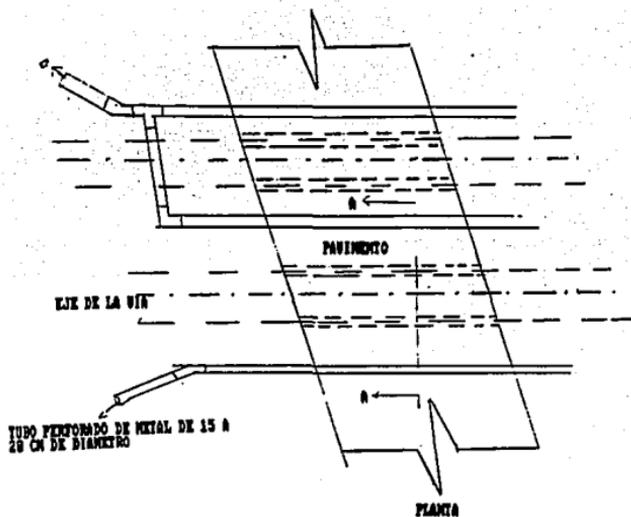
DRENAJE SUBTERRANEO



DREN INTERCEPTANTE TIPICO CON LATERALES BAJO UNA VIA DE FERROCARRIL. USADOS PARA DRENAR BOLSAS DE AGUA EN EL BALASTO

FIGURA No. 56

U N A M
E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES
EDUARDO CARRERON SOLIS



SUBDRENAJE DE CRUCE A NIVEL ENTRE UN FERROCARRIL Y UN CAMINO

FIGURA No. 57

<p>UNAM</p> <p>E.N.E.P. ACATLAN</p> <p>TESIS PROFESIONAL</p> <p>OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES</p> <p>EDUARDO CARRIZON SOLIS</p>
--

una capa subrasante ni una capa de subbalasto, como consecuencia de lo cual, al cabo del tiempo, la sección del balasto llegará a ser como la mostrada. En la parte (b), se muestra lo que podría ser la misma vía, pero sujeta un diseño más racional.

En la parte (a), una vez que el basalto se ha incrustado, formado bolsones de desarrollo en el sentido longitudinal de la vía, se ha colocado un subdren de zanja y se ha comunicado los principales bolsones con dicho subdren, utilizando tubos de subdrenaje transversal. Ninguna de estas fallas de comportamiento serían de esperar en la sección de la parte (b), en la que el subdren interceptor formó parte del proyecto, protegiendo así desde el principio la corona de la terracería.

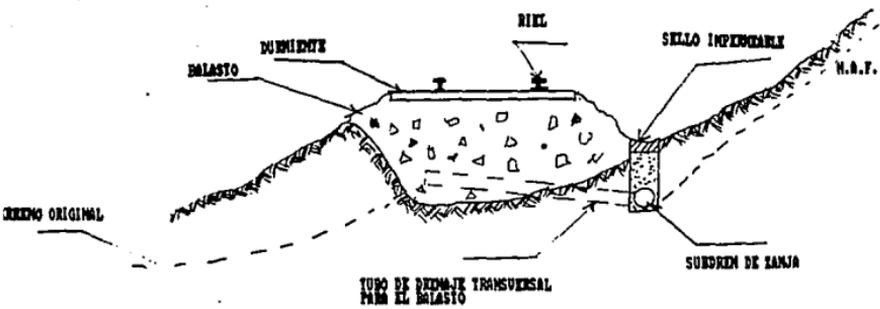
3.11.- SUBDRENAJE EN AEROPUERTOS

Los aeropuertos varían desde una simple pista para aterrizaje de emergencia, hasta los grandes que cubren una superficie de varios kilómetros cuadrados. El subsuelo puede ser favorable para un drenaje natural; pero con frecuencia la localización abarca terrenos pantanosos o de cimentaciones inestables.

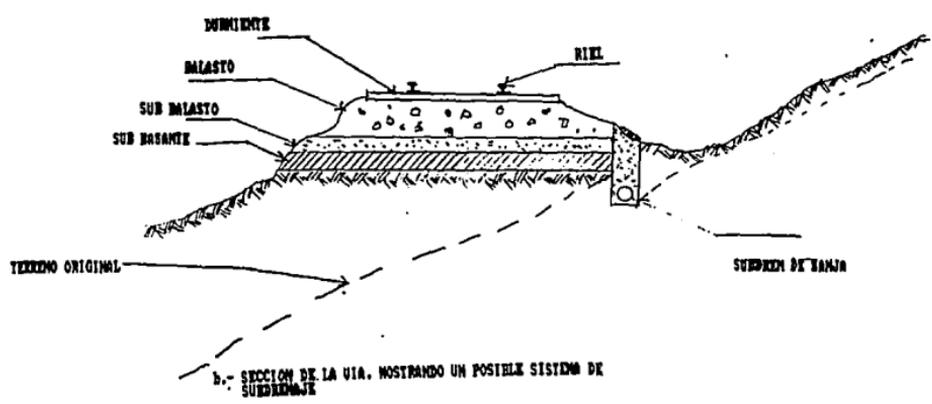
En cualquiera de los casos, la intercepción y remoción de las aguas, tanto superficial como subterránea, constituye un problema importante. El empleo de pavimentos gruesos y de bases o capas estabilizadoras no constituyen ningún sustituto económico comparado con el drenaje apropiado.

El desalojar el agua libre subterránea por medio de los subdrenes es con frecuencia necesario para rebajar suficientemente el manto freático, evitando así la pérdida de estabilidad por saturación de las subrasantes o de las áreas revestidas de césped.

El objetivo principal de un subdren para aeropuertos es rebajar y mantener el manto de agua a la profundidad apropiada que se requiere para estabilidad del suelo. Por lo tanto esta orientado fundamentalmente a la protección de pavimentos, capa subrasante e inclusive, de los niveles superiores de las terracerías. Las obras básicas del subdrenaje serían entonces capas permeables, subdrenes longitudinales de zanja y subdrenes interceptores



a.- SUDRENAJE DEFICIENTE PERO USUAL.



b.- SECCION DE LA VIA, MOSTRANDO UN POSTELX SISTEMA DE SUDRENAJE

PROTECCION CON SUDRENAJE DE LA CORONA DE UNA VIA FERREA

FIGURA No. 58

<p style="text-align: center;"> U N A M E.N.E.P. ACATLAN TESIS PROFESIONAL OBRA DE SUDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES EDUARDO CARRON SOLIS </p>
--

Los aeropuertos se construyen lógicamente en terrenos planos o muy moderadamente ondulados, que tienen grandes áreas expuestas a la infiltración de agua y en ellos se cuenta generalmente con poca pendiente para su eliminación, desde un punto de vista pueden ser zonas críticas para el subdrenaje. La mayor parte de los aeropuertos suelen requerir instalaciones de subdrenaje comparativamente modesta, especialmente cuando está bien resuelto el drenaje superficial del área.

La experiencia indica que la descarga máxima de un sistema de subdrenes generalmente ocurre 4 o 6 horas después de un aguacero fuerte de corta duración. Los registros de precipitación pluvial muestran que las lluvias más fuertes tienen por lo general una duración menor de una hora; por tanto, el sistema de subdrenes debe descargar con su concentración máxima en menos de 45 minutos después de comenzar la lluvia.

La magnitud del escurrimiento subterráneo dentro de los límites del aeropuerto, y descontando el de las cuencas tributarias, es equivalente a la precipitación, menos el escurrimiento superficial, menos el agua pérdida por la evaporación y menos la usada por la vegetación. La naturaleza del terreno, su extensión, forma y declives, así como el carácter y pendientes de los mantos subterráneos son factores determinantes. La magnitud de la corriente subterránea depende en gran parte de la permeabilidad del suelo, la inclinación de los substratos y del área tributaria. Las obras básicas de subdrenaje en los aeropuertos serían entonces capas permeables, subdrenes longitudinales de zanja y subdrenes interceptores.

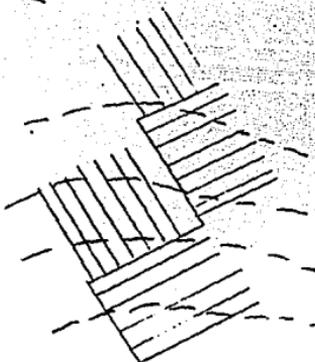
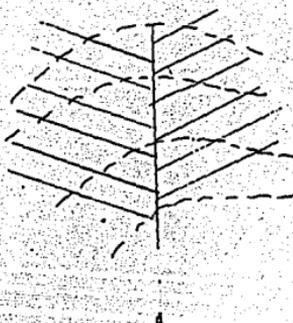
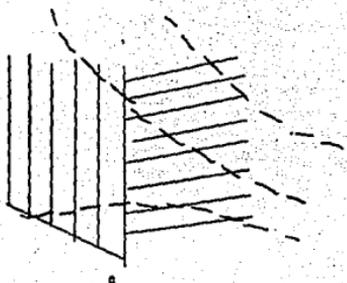
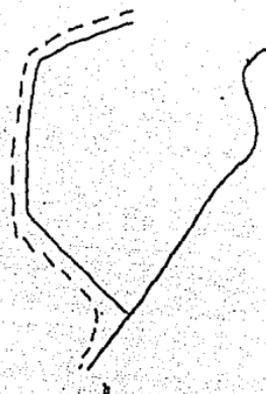
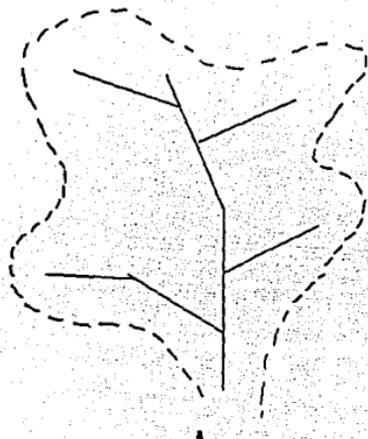
La red de drenaje del subsuelo consta de dos tipos de tuberías: unas, de pequeño diámetro, cuya misión es la absorción directa de agua del subsuelo, y otras de mayor tamaño o colectores, que recogen el agua de los anteriores y la conducen a los emisarios de la red general de evacuación.

Su esquema general responde a alguno de los siguientes tipos (figura 59):

A) Sistema natural.- Aplicable en los casos en que requiere muy poco drenaje el subsuelo. Solamente se drenan algunas zonas aisladas que, en general son las vaguadas naturales del campo de vuelos.

B) Sistema de interceptación.- Cuyo objeto es impedir la entrada en el aeropuerto de las corrientes subterráneas que puedan irrumpir en él. Se sitúan normalmente a estas corrientes, y solamente se emplean cuando no sea posible establecer canales descubiertos, que son más eficaces y económicos.

C) Sistema de parrilla.- En este sistema los colectores recogen el agua de las tuberías pequeñas solamente por un lado, y tiene su mejor aplicación en los terrenos muy llanos, en que



- a) SISTEMA NORMAL
- b) SISTEMA DE INTERCEPCION
- c) SISTEMA DE PARRILLA
- d) SISTEMA DE ESPINA DE PEZ
- e) SISTEMA DE ZIG-ZAG

SISTEMA DE RED SUBTERRANEA

FIGURA No. 59

<p style="text-align: center;"> U N A M E. N. E. P. ACATLAN TESIS PROFESIONAL OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES EDUARDO CARRERON SOLIS </p>

es preciso distribuir las pequeñas pendientes disponibles, entre las tuberías pequeñas y el colector.

D) Sistema en espina de pez.- De aplicación en terrenos de mayores pendientes. Se sitúa el colector en dirección de las líneas de máximas pendientes, con lo que la evacuación por éste se hace rápidamente y no hay necesidad de grandes secciones.

E) Sistema de zig-zg.- De aplicación en los terrenos de fuertes pendientes, en los que los colectores no pueden seguir las pendientes mayores por la excesiva velocidad que tendrían las aguas en ellos.

CAPITULO 3

- 1.- MANUAL DE DRENAJE Y PRODUCTOS DE CONSTRUCCION
ARMCO SECC VII CAP. 41
- 2.- INSTRUCTIVO DE CARRETERAS
DRENAJE MOP (MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS DE ESPAÑA)
NORMAS 5.1-IC
- 3.- SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES (SCT)
NORMAS PARA CONSTRUCCION E INSTALACIONES
CARRETERAS Y AEROPISTAS
ESTRUCTURAS Y OBRAS DE DRENAJE 3.01.02
- 4.- CEDERMANG
FILTER AND DRAIN DESIGN
ED. WILEY INTERSCIENCE CAP. 5
- 5.- HIGHWAY RESEARCH RECORD.
SYMPOSIUM ON SUBSURFACE DRAINAGE
No. 203
- 6.- ALFONSO RICO Y HERMILO DEL CASTILLO
LA INGENIERIA DE LOS SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES
ED. LIMUSA VOL. I CAP. 7
- 7.- MARQUEZ B. GISELA
ESTABILIZACION DE SUELOS CON GEOTEXTILES
VII REUNION NACIONAL DE INGENIERIA DE VIAS TERRESTRES
- 8.- JEAN-CLAUDE BLIVET, PHILIPPE DEIMTS
CARACTERISTIQUES DES GEOTEXTILES
MESURES-SPECIFICATION CONTELES
- 9.- CARLOS ENRIQUEZ RUIZ
BOLETIN DE VIAS No. 45
UNIVERSIDAD DE COLOMBIA SECC MANIZALES
- 10.- HIGHWAY RESEARCH RECORD

REFERENCIAS

- 1.- HIGHWAY RESEARCH RECORD.
SYMPOSIUM ON SUBSURFACE DRAINAGE
No. 203
- 2.- ALFONSO RICO Y HERMILO DEL CASTILLO
LA INGENIERIA DE LOS SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES
ED. LIMUSA VOL. 1 CAP. 7
- 3.- JEAN-CLAUDE BLIVET, PHILLIPPE DEIMTS
CARACTERISTIQUES DES GEOTEXTILS
MESURES-SPECIFICATION CONTELES
- 4.- CARLOS ENRIQUEZ RUIZ
BOLETIN DE VIAS No. 45
UNIVERSIDAD DE COLOMBIA SECC MANIZALES
- 5.- HIGHWAY RESEARCH RECORD
FORST ACTION AND DRAINAGE NATIONAL
RESEARCH COUNCIL
No. 360

4.- DESARROLLO Y APLICACIONES DE LAS SOLUCIONES

4.1.- ANTECEDENTES

El problema de drenaje subterráneo es el de mayor importancia en la construcción de las vías terrestres y se refleja más que cualquier otro en la duración y buen funcionamiento de estas estructuras, así como en los costos de su conservación.

La estabilidad de los cortes, terraplenes y pavimentos de una vía terrestre se ve influenciada por los flujos de agua existentes en el interior de la estructura de suelo, por lo que al paso de los años se han venido desarrollando técnicas y métodos convencionales (Subdrenaje fabricado con materiales naturales) para controlarlas y reducir a un mínimo sus efectos perjudiciales.

Cuando se construye un corte en una vía terrestre se crea una frontera de esfuerzos exteriores nulos, lo que equivale a haber efectuado una descarga en el terreno natural; esta descarga produce una disminución de los esfuerzos normales y aumento de los cortantes en el terreno localizado detrás del talud del corte. La disminución de los esfuerzos normales causa, a su vez, disminución de la resistencia del suelo al esfuerzo cortante, por lo que, todo esto contribuye a comprometer la estabilidad de la estructura del suelo en que se construya el talud. Además, el corte en el talud provoca una frontera a la presión atmosférica, por lo que cualquier flujo interno de agua tenderá a salir por esa superficie y por la cama del corte efectuado. Esto genera dos efectos nocivos: genera fuerzas de filtración en el sentido desfavorable y propicia las expansiones volumétricas de la masa de suelo causadas por la descarga efectuada.

Los métodos de subdrenaje en el caso de cortes tienden a controlar el flujo del agua que trata de brotar en el talud o en la cama de la obra, reorientando el flujo de tal forma que la dirección de las fuerzas de filtración cambie y se haga menos desfavorable o disminuyendo las presiones neutrales en zonas convenientes, aumentando así la resistencia de los suelos al esfuerzo cortante y restringiendo la posibilidad de cambios volumétricos.

En el caso de los terraplenes, el subdrenaje puede aumentar la resistencia al esfuerzo cortante de la ladera de cimentación al abatir las presiones neutrales en el suelo, con lo cual aumentan correspondientemente los esfuerzos efectivos; también se podrá buscar la reorientación de las fuerzas de filtración, con el fin de que sean menos perjudiciales.

Sin embargo el subdrenaje no se necesita en todos los casos. En una carretera, sólo zonas localizadas, en que se concentran las aguas subterráneas requerirán de él; en una aeropista, el buscar una zona libre de este tipo de problemas es uno de los requisitos que se desean en una

buena localización y sólo cuando tal zona no exista entre las ubicaciones posibles y económicas quedará justificado construir la estructura en un lugar con problemas específicos que hagan necesario un subdrenaje de importancia; la razón es el elevado costo de estas obras. Cuando se tiene que construir alguna vía terrestre en zonas que tenga los problemas de un subdrenaje y que además se dificulte encontrar materiales naturales de buena calidad, entonces, se tendrán que hacer uso de otras técnicas que se han desarrollado en los últimos años que emplean materiales artificiales.

La necesidad de tener una suficiente permeabilidad y poder eliminar rápidamente el agua que confluye a los tramos de la vías terrestres, ha obligado a que las obras de ingeniería civil para drenaje tengan generalmente que contener elementos altamente permeables con agregados de abertura graduados; los cuales frecuentemente son fácilmente obstruidos por suelos finos adyacentes y rocas desgastadas que no protegen adecuadamente los filtros finos. Con estas preocupaciones, se han tenido que desarrollar nuevas técnicas de drenaje, empleando nuevos materiales; para ayudar de esta forma a combatir el problema. La moderna fabricación de filtros sintéticos, permite solucionar estos problemas en los drenes para las vías terrestres, con una alta capacidad de drenaje y una buena resistencia para las condiciones adversas en que se construyen estas obras, y frecuentemente con un mínimo costo.

Varios plásticos naturales, nitrocelulosa notables, han sido usadas en la ciencia en la mitad del siglo 19. Inclusive se tiene datos, que los primeros géneros que se utilizaran en trabajos de ingeniería civil datan de varios siglos. Los romanos utilizaban capas de junquillos tejidos al construir carreteras sobre terreno blando. Tales productos compuestos proveían propiedades estructurales superiores a las disponibles de los materiales naturales. Resinas plásticas sintéticas, fueron usadas por primera vez alrededor de 1910, y su uso aumento y se extendió en los años 60. Desde 1957 se empezó a aplicar en algunos tipos de tejidos a la ingeniería; como la geotecnia fue el campo más beneficiado con la aparición de dichos tejidos que se les denominó "GEOTEXTILES" (Conference on the use of fabrics in Geotechnics, Paris 1977).

En función de lo anterior, las diferentes soluciones a los problemas de subdrenaje, las podemos clasificar en tres formas, dependiendo del método a utilizar, son:

- A.- Subdrenaje construido con materiales naturales.
- B.- Subdrenaje prefabricado.
- C.- Subdrenaje construido con geotextiles.

4.2.- SUBDRENAJE CONSTRUIDO CON MATERIALES NATURALES

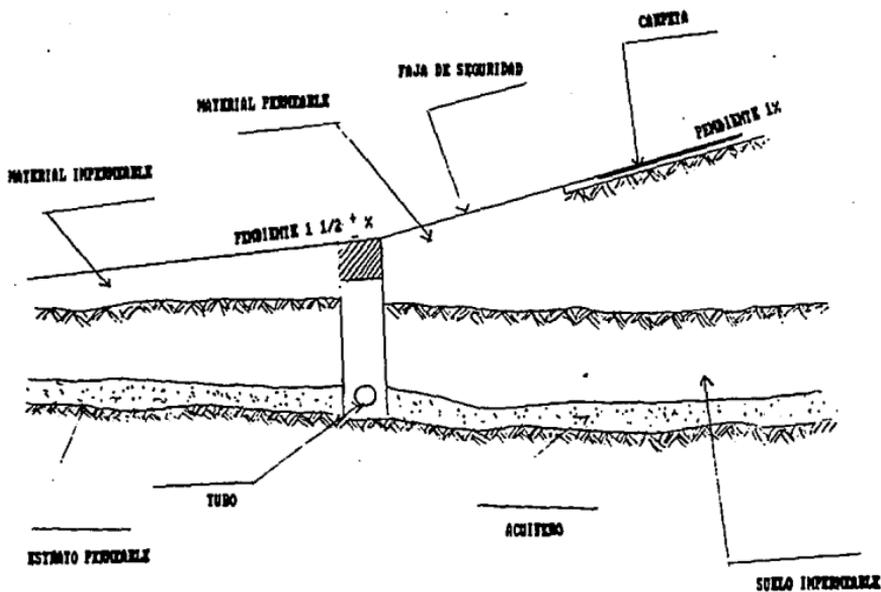
4.2.1.- OBRAS DE SUBDRENAJE SUPERFICIALES

El subdrenaje típico de una aeropista consiste en general en la construcción de drenes interceptores para captar el flujo subterráneo, para drenar capas saturadas y para controlar el contenido de agua de la subbase y base del pavimento, así como en las tercerías y aún en la parte superior del terreno de cimentación. El agua por drenar proviene de filtraciones directas del agua de lluvia, de flujos a través de la masa de suelo, de flujo ascendente por capilaridad y, en menor grado, de condensación de la humedad ambiente.

El tipo de subdrenaje que ha rendido excelentes resultados protegiendo las bases y subbases de las aeropistas de las aguas que fluyen por el subsuelo es el de drenes interceptores. Son recomendables cuando exista un estrato acuífero a relativa profundidad y que se prolongue bajo las áreas cubiertas por las pistas. El subdren es una zanja que se construye transversalmente a la dirección del flujo, a veces lejos de las pistas, y que impiden que el agua penetre a las zonas por proteger; la zanja se rellena de material filtrante cuyos requisitos se comentaron en el capítulo 3, y en su parte inferior llevan un tubo perforado, tal y como se muestra en la figura 60.

Cuando un subdren interceptor se coloca paralelamente a la pista siguiendo la orilla de la misma, recibe el nombre de subdren interceptor longitudinal. Su misión es captar y dar fácil salida a las aguas que se infiltran al pavimento a través de la superficie de rodamiento y los acotamientos o la que llegaría a las capas de base y subbase desde el terreno cercano. También desaloja el agua proveniente de una elevación del nivel freático en época de lluvias. Se construye una zanja rellena de material filtrante y provista de un tubo perforado.

Tanto en el dren interceptor transversal como longitudinal, el agua que sale a través del tubo perforado, o bien va directamente a un arroyo o bajo topográfico o bien a algún sistema colector que la descargue donde sea inofensiva. La construcción de los drenes interceptores longitudinales deberá de hacerse de modo que conceten directamente con las capas de base y de subbase. Cabe mencionar que el material filtrante que rellena la zanja deberá cumplir dos condiciones: ser de una permeabilidad mayor que la del suelo, para facilitar el flujo del agua hacia el tubo perforado y ser de una granulometría tal que impida que partículas del suelo circundante sean transportadas por el agua hacia los vacíos y huecos del material filtrante, impermeabilizándolo. Por esta última razón es totalmente inadecuada la práctica de rellenar la zanja con piedras, que dejan entre sí grandes huecos que permiten ser rellenados por materiales más finos, lo que conduce al sellado de la zanja y a la inutilización del subdren.



SUB-DREN INTERCEPTOR

FIGURA No. 60

148

<p>U. N. A. M</p> <p>E. N. E. P. ACATLAN</p> <p>TESIS PROFESIONAL</p> <p>OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES</p> <p>EDUARDO CARRON SOLIS</p>

El subdrenaje de carreteras y vías férreas es esencialmente el mismo que para las aeropistas y consiste en una zanja de profundidad adecuada, provista de un tubo perforado en su fondo y rellena de material filtrante; el agua colectada se desaloja por el tubo de gravedad a algún bajo o cañada en que su descarga sea ya inofensiva.

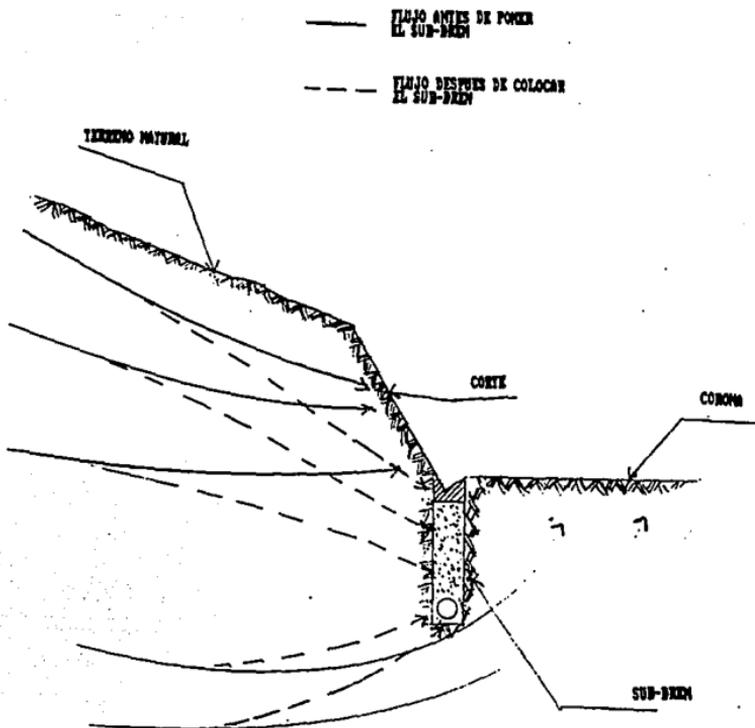
Los subdrenes que se construyen son los interceptores longitudinales, en sus acotamientos y al pie de los cortes; es frecuente su ubicación bajo las cunetas impermeabilizadas. En cortes en cajón pudiera requerirse su construcción en los dos costados de la carretera. Su efectos es desviar las aguas que aflorarían por el talud del corte o en la corona del camino, bajo el pavimento captándolas, con lo que se modifica favorablemente la dirección de las fuerzas de filtración, se alivia las presiones en el agua, al proporcionar a ésta una salida más propicia y se protege debidamente la estructura del pavimento. En la figura 61 se muestra un croquis del subdren de zanja, así como de sus efectos en la sección del camino.

Quando el flujo es importante y la carretera ancha, no puede interceptarse el flujo que aflora por la corona del camino, por lo menos utilizándose los drenes de intercepción a una profundidad razonable. En estos casos es necesario combinar la acción de los subdrenes de intercepción con subdrenes análogos, pero construidos como una capa permeable construida bajo el pavimento, como subbase del mismo, conocido como drenaje del pavimento, que es el caso de que se muestra en la figura 62. Esta capa no requiere de tubos perforados, pues se ha comprobado que en la práctica que el agua captada es conducida al subdren longitudinal y eliminada por el tubo de éste, para ellos será conveniente cuidar las pendientes transversales, de manera que permitan que ese drenaje ocurra rápidamente.

4.2.2.- OBRAS DE SUBDRENAJE PROFUNDAS.

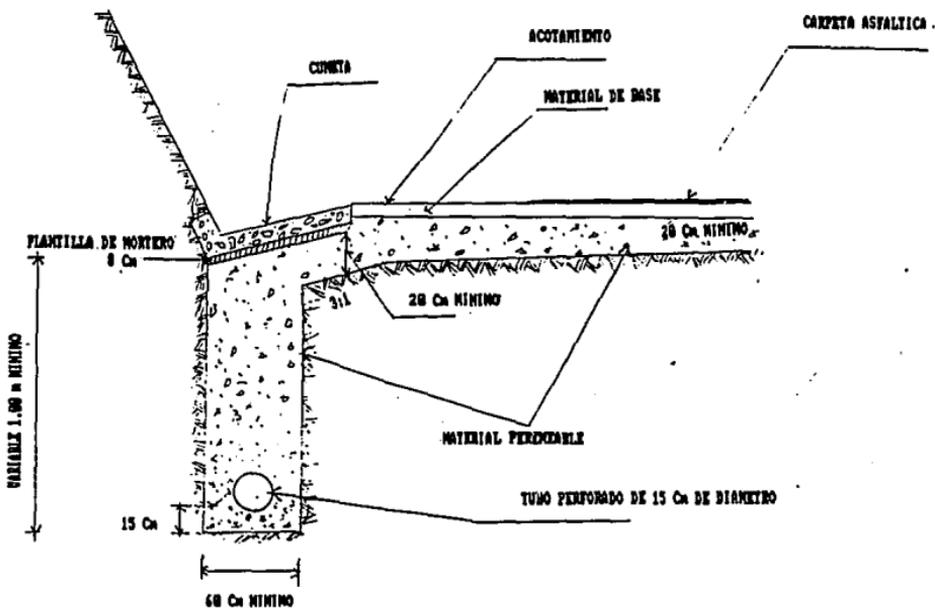
Como ya se ha mencionado, los mecanismos por los que el agua que satura las masas de suelo que quedan a los lados de un corte que se práctica durante su construcción influyen desfavorablemente en la estabilidad de su taludes y comprometen el equilibrio de una ladera natural a través de la que se establece un flujo. También conocemos que la mayor parte de la fallas que son ocasionadas, ocurren algún tiempo después de los periodos de precipitación pluvial intenso, además en general, un corte actúa como un dren en el terreno que se construye.

Un corte puede ser estable bajo ciertas condiciones de agua subterránea y bajo ciertas cargas hidráulicas, pero si una cantidad adicional de agua fluye hacia él, se podrán desarrollar en el interior de la masa presiones neutrales que puedan producir la falla. Es por esto que un



EFFECTOS DEL SUB-DREN EN UN CORTE
 FIGURA No. 61

<p style="text-align: center;"> U. N. A. M. E. N. E. P. ACATLAN TESIS PROFESIONAL OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES EDUARDO CARRON SOLIS </p>



SUB-DREN Y SUB-BASE PERMEABLE
FIGURA No. 62

corte puede fallar muchos años después de su construcción inmediatamente, tras un periodo de precipitación extraordinario.

Los drenes de penetración transversal ó conocidos también como drenes horizontales, son los elementos del subdrenaje profundo que responden adecuadamente 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 de corte. Son tuberías perforadas que penetran en el terreno natural en dirección transversal a la de la vía terrestre, para captar las aguas internas y para abatir las presiones neutrales. Son indicados tanto para mejorar la estabilidad de los cortes como la del terreno de cimentación de terraplenes, su construcción se menciona en el capítulo 2.

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. Como ya se ha mencionado, los drenes de penetración transversal tienen por objeto drenar el agua y/o abatir sus presiones neutrales en grandes extensiones, mayores de las que puede alcanzar cualquier otro método de subdrenaje profundo. También modifican, usualmente en forma favorable, la dirección de las fuerzas de filtración.

Por ello su campo natural de aplicación son los cortes y las laderas naturales, especialmente cuando sirven de apoyo a un terraplén. Se requiere un gran número de ellos para lograr buena eficiencia.

Cuando existe una capa saturada de suelo de mala calidad y de un espesor relativamente pequeño (entre 4 a 5 m) y abajo de ella hay materiales de buena calidad, se puede remover todo el suelo malo en un faja bajo el camino por construir y en un ancho conveniente. Dicha excavación para la remoción podrá entonces recubrirse con una capa de 50 cm. a 1 m de material permeable que actúa como subdren de la zona; esta capa deberá estar provista de tubería perforada de captación y de tubería de desfogue, rellenos con material de buenas características y bien compactado.

La capa drenante evita que el nuevo material colocado y el terraplén del camino sufran los efectos negativos del agua. Además este sistema permite que el terraplén se apoye en un terreno firme, cubriendo el mejoramiento del terreno de cimentación y de la estabilidad general del terraplén.

Cuando en una ladera existe flujo de agua y está formada por grandes espesores de materiales cuya estabilidad se ve amenazada por él y sobre esa ladera ha de construirse un terraplén, la remoción de los materiales malos y su substitución por otros mejores resulta difícil y antieconómica. En estos casos puede pensarse que basta captar el flujo y eliminar el agua en una zona bajo el terraplén de profundidad y ancho suficiente para garantizar la estabilidad local

del terraplén; en la práctica esto se logra eliminando las aguas de una zona que abarque aquella por la que podría desarrollarse el círculo de deslizamiento del conjunto formado por el terraplén y su terreno de cimentación.

La captación se logra construyendo una trinchera excavada bajo el lugar en que se construirá el terraplén como se ve en la figura 63. La construcción y las características de dicha trinchera se comentan en el capítulo 2.

En realidad, una trinchera estabilizadora suele mejorar la estabilidad de un terraplén o de su terreno de cimentación de varias maneras.

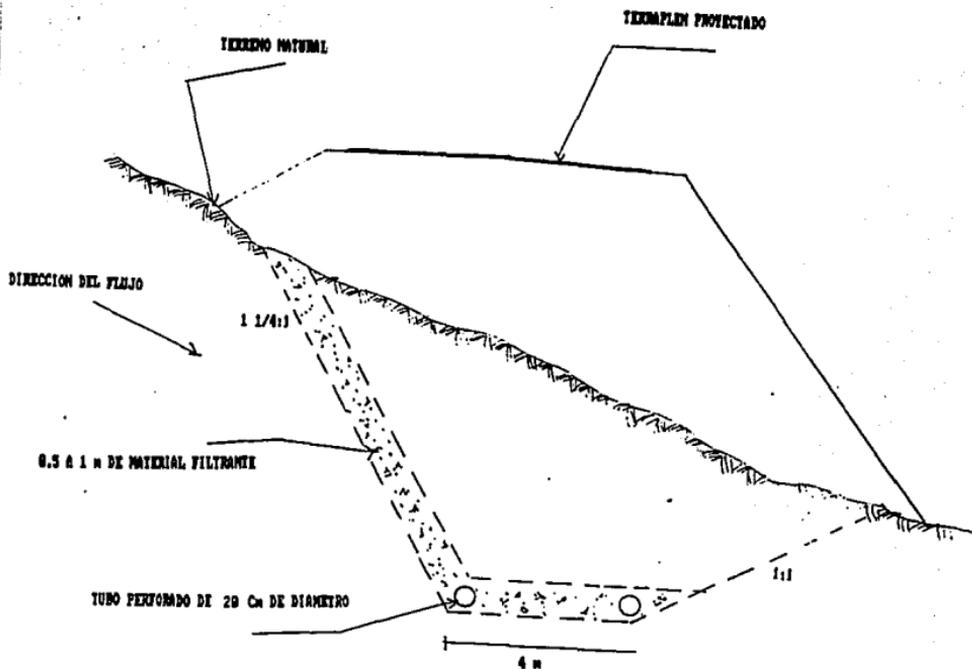
A.- Realizando la función drenante que ha quedado descrita.

B.- Realizando un proceso de sustitución de material, en el cual, se apoya el conjunto terraplén-trinchera en un suelo más firme o se modifica las condiciones de estabilidad de tal modo que cualquier posible superficie de deslizamiento resulta tan larga y tan profunda que hace irrealizable la falla. La calidad del material de relleno de la trinchera debe ser lo suficientemente buena como para que no sea de falla cualquier superficie supuesta de deslizamiento que pueda trazarse a través de dicha trinchera.

Así pues, la función de cualquier trinchera estabilizadora es doble. El subdrenaje que proporciona mejora las características mecánicas del suelo ladera abajo, al cortar físicamente al flujo y también las mejora ladera arriba, abatiendo las presiones en el agua en una importante zona de influencia. Además, el mejoramiento de las características mecánicas del suelo que se substituyen en el relleno crea una restricción mecánica a la falla, que puede ser muy importante en muchos casos. En la referencia 1 y 2 se menciona un ejemplo típico de esta aplicación, para estabilizar la falla 15 + 050 de la Autopista Tijuana-Ensenada.

La técnica de las galerías filtrantes para fines de subdrenaje es más ampliamente usada con relación a presas, se ha utilizado también en problemas de subdrenaje en las vías terrestre. Su uso es particularmente justificado cuando la zona inestable es en grandes proporciones, o 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 interceptores, se recurre a este tipo de soluciones. En tales condiciones esta solución puede competir, económicamente hablando, con alguna otra alternativa que se considere aplicable, de las que ya se han mencionado.

La galería filtrante es un túnel de sección adecuada para permitir su propia excavación, localizado en donde se juzgue más eficiente para captar y eliminar las aguas que perjudiquen la estabilidad de un talud o de una ladera natural que se use como terreno de cimentación. Su construcción se menciona en el capítulo 2. El desagüe de la galería filtrante puede ser muy



TRINCHERA ESTABILIZADORA
FIGURA 63

<p style="text-align: center;">UNAM E.N.E.P. ACATLAN TESIS PROFESIONAL OBRAS DE DRENADAJE EN LAS VIAS TERRESTRES EDUARDO CARRON SOLIS</p>

sencillo cuando la boca de la galería puede ser drenada por gravedad, pero puede complicarse mucho en caso contrario; hay ocasiones en que ha de recurrirse al bombeo. El empleo de estas técnicas se menciona ampliamente en las referencias 1 y 2, en el caso específico de la Autopista Tijuana-Ensenada.

Con respecto a los pozos de alivio, estos constituyen un método no muy utilizado en las vías terrestres ya que resuelven algunos problemas específicos. Los pozos de alivio son perforaciones verticales del orden de 60 cm. de diámetro, dentro de las cuales se introduce un tubo perforado. Presentan varias dificultades para el desalojo del agua captada.

Se colocan de forma tal que capten los flujos perjudiciales, es decir ladera arriba de la zona que se desea proteger. Su misión principal es abatir las presiones del subsuelo, a las que no es económico o posible llegar por excavación, no suele ser muy efectivos desde el punto de vista de eliminar toda el agua contenida en el suelo. El tipo ideal de instalación es el de colocar los pozos en dos pantallas, con dos hileras en cada pantalla y que se dispongan también de una doble línea de drenes transversales para drenaje, como se muestra en la figura 64.

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

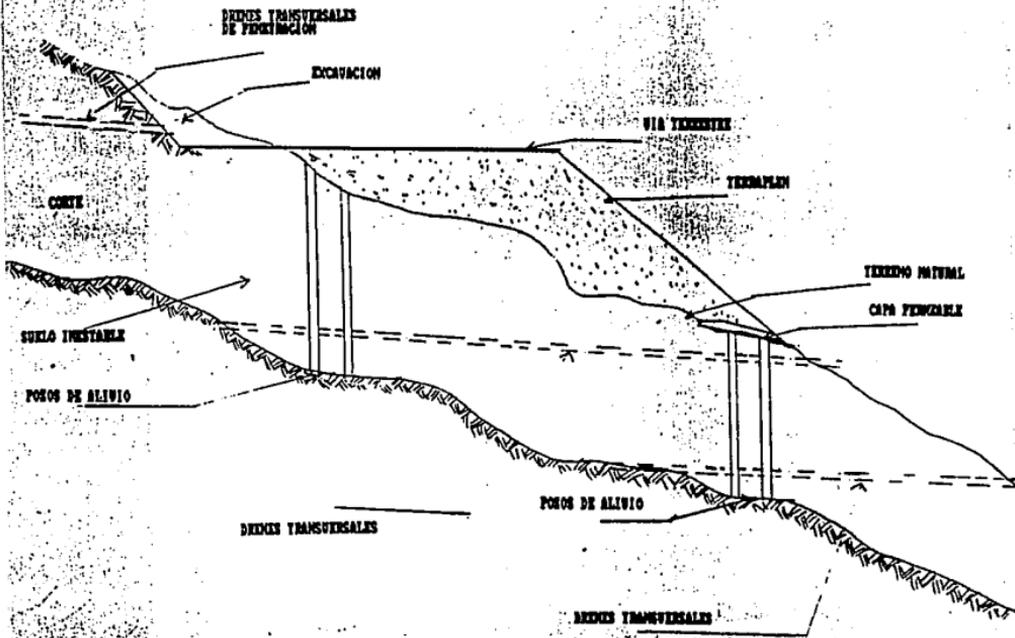
4.3.- DRENAJE SUBTERRANEO PREFABRICADO

El diseño de un sistema de drenaje subterráneo prefabricado, se basa en un buen criterio de cribado. Este drenaje es fabricado usando geotextiles y una pantalla acanalada, lo que asegura la propia filtración y permeabilidad. En el laboratorio y en el campo los resultados dan una muestra que el drenaje subterráneo prefabricado, es un efectivo sustituto para el drenaje subterráneo con agregados minerales.

Un sistema de drenaje subterráneo prefabricado usa materiales sintéticos y estos cumplen con los requerimientos de filtración y de flujo de agua. Para que este sistema pueda ser prefabricado en longitud, y sea de fácil manejo y de instalación en el campo, son eliminados muchos de los problemas que generarían los de drenaje de agregados minerales.

POZOS DE ALIVIO COMBINADOS CON DRENES TRANSVERSALES
DE PENETRACION

FIGURA



U.N.A.M.
E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
OBRAS DE DRENADO EN LAS VIAS TERRESTRES
ENRIQUE CARRON SOLIS

4.3.1.- DESCRIPCION DE DRENAJE SUBTERRANEO PREFABRICADO.

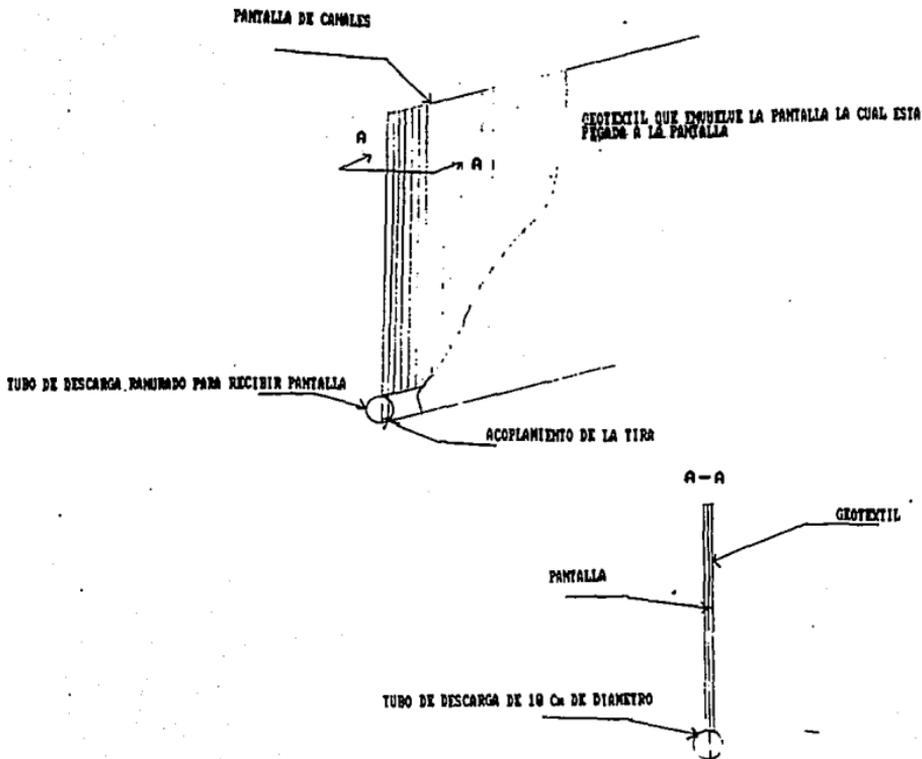
Un drenaje subterráneo prefabricado es el que se muestra en la figura 65 y consiste en un tubo perforado, una pantalla vertical acanalada insertando en el tubo perforado y un geotextil de filtro, de malla de red-fina enredando al tubo y la pantalla. El geotextil retiene al suelo e impide la abertura de la pantalla que canaliza el flujo. El agua freática drenada a través del geotextil, abatiéndose en el canal, dentro del tubo, y fuera del sitio.

La selección del geotextil de filtro, es basada en el criterio establecido por los pozos de pantalla. Una propiedad de diseño de las pantalla de pozo, es retener únicamente las partículas gruesas de un suelo. Estas partículas intentan retener a las partículas finas.

La abertura en la pantalla debe ser bastante pequeña y justa para retener el 20 % de las partículas gruesas (D80) en un suelo bien graduado y el 40 % grueso (D60) en un suelo uniforme. El porcentaje de abertura de área de la pantalla debe ser aproximadamente el mismo que la porosidad del suelo para restringir y prevenir el flujo de agua.

Las pantallas de pozos reúnen estos criterios, teniendo que, permanecer efectivos por muchos años en el suelo con grava ó arena fina.

El filtro de tela usada en el drenaje prefabricado funciona igual que en una via de una pantalla de pozos. Una ventaja de usar geotextiles como filtros es la alta permeabilidad igual con pequeñas aberturas. La tela con malla de red tiene aberturas entre 0.0075 y 0.15 mm. y un mínimo de 15 % de abertura de área. Esta intenta retener más suelo que pueda y ser efectivamente un drenado por gravedad e intentar no restringir el flujo de agua del suelo.



DISEÑO BASICO DE UN SUB-DREN
 PREFABRICADO
 FIGURA 65

<p style="text-align: center;"> U N A M E. N. E. P. ACATLAN TESIS PROFESIONAL OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES EDUARDO CARRIZON SOLIS </p>

4.3.2.-MATERIALES USADOS

Los materiales usados en el drenaje subterráneo prefabricados son los siguientes:

1.- Filtros de tela.- 2 tipos de geotextil tienen que ser probados y usados como filtro (nylón, chifón y un poliéster mariposa) (ver fig. 66).

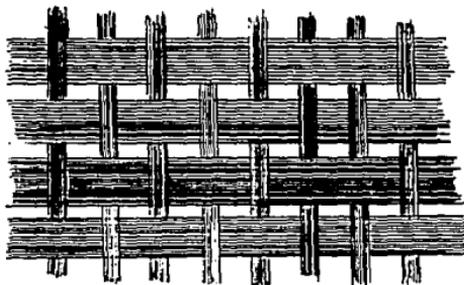
Ambos materiales tienen una buena fuerza de tensión y una resistencia a la descomposición con el suelo. El chifón tiene una abertura de red de malla de 0.15 mm. y una abertura de área del 45 %. La mariposa tiene una red de malla de abertura de 0.075 mm. con una abertura de área del 15 %. Se probarán los modelos, la tela de mariposa con una abertura de área del 15 % tiene una permeabilidad adecuada para los suelos conteniendo limos. El chifón tiene un porcentaje grande de abertura de área, es preferible para drenar un suelo más permeable que 2 in de capa de grava gruesa. La graduación del tamaño de partículas y la permeabilidad del suelo suficientemente filtrable para las telas de nylón y chifón son las que se muestran en la figura 67. Este suelo, desde una arena mediana hasta una tierra glaciaria con un alto porcentaje de limo, son probados en el laboratorio sobre un gradiente hidráulica muy alto, que este puede ocurrir en el campo.

Núcleo.- El núcleo tiene que soportar al geotextil y colocarse a través de los largos canales para conducir el flujo de agua dentro del tubo, tan rápidamente como es el flujo en el suelo. Los siguientes materiales, tienen que, ser usados, como, núcleos en la prueba de campo, ver figura 68.

Tipo 1.- Aluminio extendido con aberturas. Se adquiere en U.S. Steel, teniendo el nombre comercial de "Armorweave" (armadura de tejido) y el tipo 2, valla de tubo de vinil. El núcleo de estos materiales fueron probados por fuerza de compactación y la habilidad para conducir el agua. El de aluminio abierto, muestra un poco de deformación sobre una presión de 200 lb/in², y la valla de tubo de vinil tuvo una fuerza de compactación de 160 lb/sq.in. La introducción de la tela en los canales, disminuyo el área a través del cual el agua puede fluir y es posible mantenerlo. La prueba con la que la valla de tubo de vinil, muestra, sobre la tierra, una presión de 40 Kip/ft²; la tela introducida es menor que 0.0025 in. y esta es 1 ft. de ancho de sección del drenaje, cuando la vertical, debe conducir 2.5 gal/min. Esto es suficiente para drenar un suelo con una permeabilidad de 5×10^{-2} ft/min. Las pruebas en el núcleo del aluminio, muestra características de flujo similar sobre la fuerza.

El tubo es de plástico duro con un diámetro de 4 in y un 1/8 in de espesor, tiene que ser usado en el campo en secciones. Este tubo provechoso en la longitud de 10 ft. desde su construcción, supliendo al componente y teniendo una fuerza de compactación de 0.9 kip/ft.

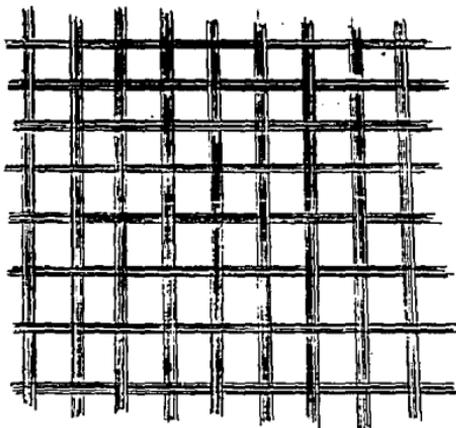
TELA POLIESTER "MARIPOSA"



15% DE AREA ABIERTA

0.075 mm DE ABERTURA

NYLON "CRIFON"



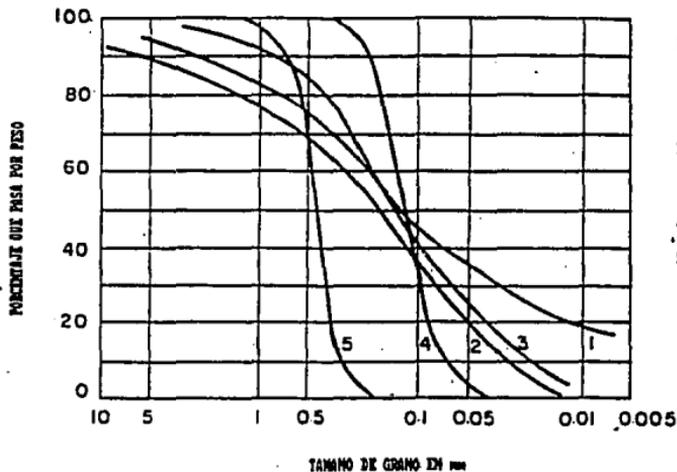
45% DE AREA ABIERTA

0.150 mm DE ABERTURA

CARACTERISTICAS DE TEJIDO Y
POROSIDAD DE LA TELA USADA
FIGURA No. 66

160

U. N. A. M.
E. N. E. T. P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES
EDUARDO CALZADON SOLIS



K - FT./MIN

1. 0.015 10^{-4}
2. 11 10^{-4}
3. 20 10^{-4}
4. 150 10^{-4}
5. 4000 10^{-4}

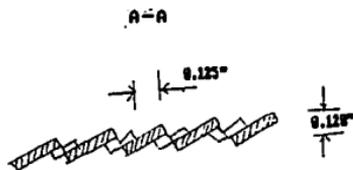
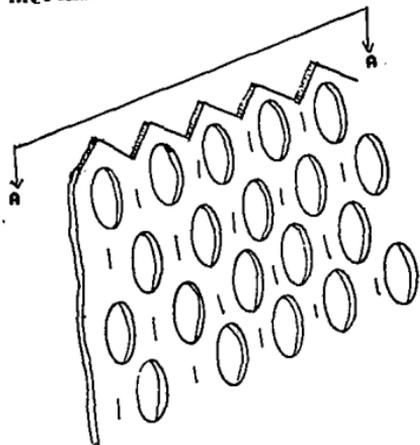
ARENA * BARRA

SUELO PROFICIO FILTRABLE PARA EL NAYLON "CHIFON"

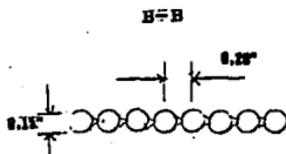
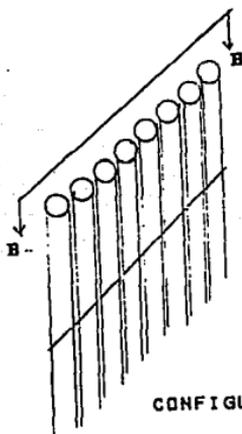
FIGURA No. 67



TIPO 1 ALUMINIO EXPANDIDO



TIPO 2 TUBO DE VITULO



CONFIGURACION DE LAS PANTALLAS

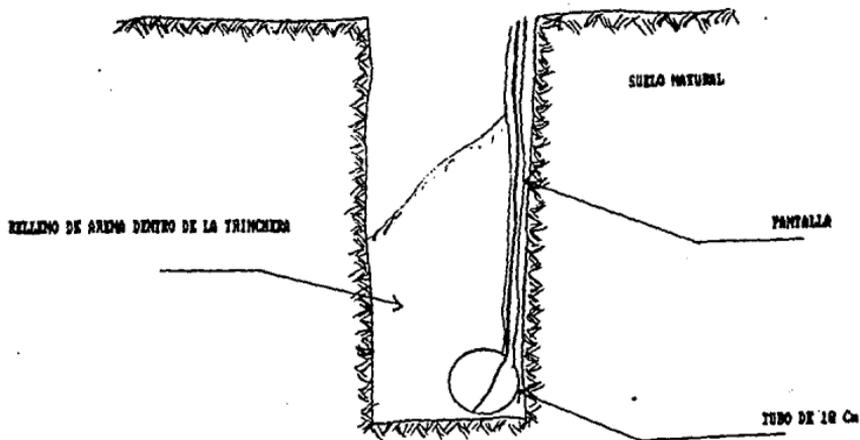
FIGURA No: 68



4.3.3.- METODO DE INSTALACION

El drenaje prefabricado, tiene una instalación fácil en taludes o en trincheras como se muestra en la figura 69. La sección del drenaje es de 10 ft. de longitud de menos de 20 lb. y puede ser colocado y conectado con un acoplamiento deslizable, desde el terreno en la superficie. La trinchera deberá tener el ancho necesario para recibir el dren.

El núcleo es bastante flexible para ser prensado tensamente contra una cara del suelo natural. De esta manera el estrato permeable en el suelo puede ser drenado rápidamente. El tipo de relleno depende del drenaje deseado en el sitio. Si la mayor parte del agua penetra al drenaje desde el borde como en un talud, el suelo natural puede ser usado como un relleno, contra la cara opuesta. Cuando el drenaje recibe agua por ambos bordes, la arena puede ser usada como relleno. Esto para asegura el drenaje natural canalizado en el suelo sin bloquear y hacer fácil la compactación en la sección de la trinchera. El corto flujo que se hace en la arena hacia el núcleo del drenaje no debe impedir el libre movimiento de agua.



INSTALACION DE UN DREN PREFABRICADO DENTRO DE UNA ZANJA

FIGURA No. 69

4.3.4.- APLICACIONES DE DRENAJE SUBTERRANEO PREFABRICADO

Las secciones de drenaje prefabricados aseguran la propia instalación, cuando estos son colocados por gente que no le es familiar. Las secciones de drenaje pueden ser fabricadas en cualquier altura y longitud para su acomodo en la instalación.

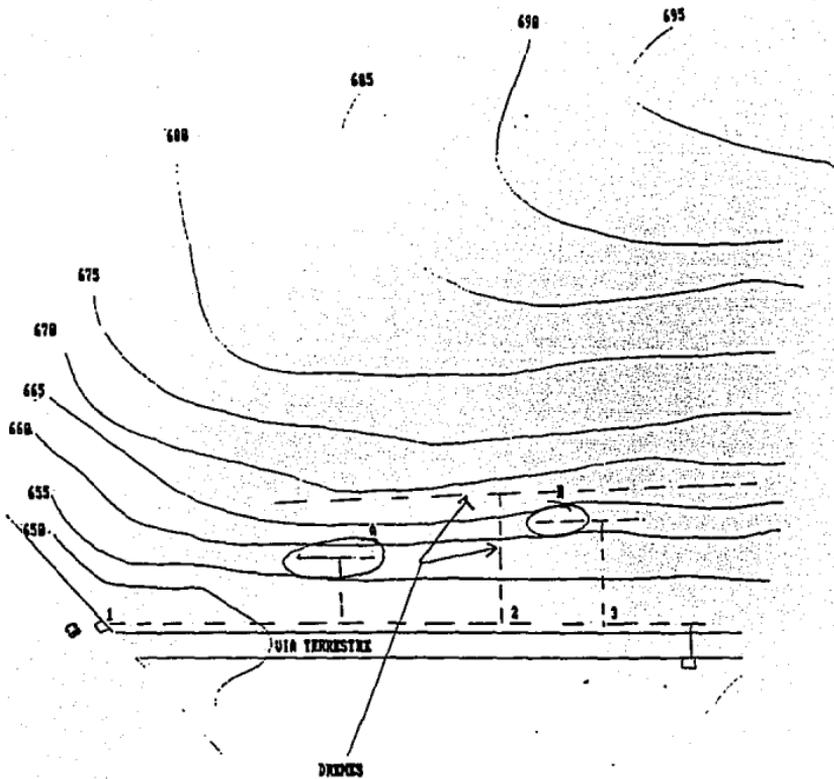
El drenaje subterráneo prefabricado fue instalado en 2 pequeñas áreas húmedas en 1968 y teniendo un buen resultado. En la primavera de 1969, fueron instalados 600 ft. de drenaje prefabricado para estabilizar el corte de un talud, debido al fango, por el exceso de agua.

Durante el verano de 1970, se instalaron en otros tres sitios, una se instaló alrededor de un sistema séptico para controlar en el campo el N.A.F. en la vecindad del sistema. Otra instalación fue hecha para interceptar el flujo del N.A.F. el cual se encontraba en una construcción de una casa. La tercera instalación fue colocada también en un camino para controlar las heladas y bajar el N.A.F.

El talud inestable se muestra en la figura 70, está localizado en el noroeste de la orilla de los campos de la Universidad de Connecticut. Cuando se hizo el corte se formó un talud con la colina un talud natural de 1:3.3, para un talud de 1:2 para conceder el establecimiento de una línea similar a la acera. El talud empezó con el fango después de las lluvias fuertes de la primavera, esto fue continuado y manteniéndose el problema impidiendo el paso libre del barro en la primavera e invierno. El estado natural del suelo era denso bien graduado, con partículas variadas desde arenas hasta partículas de arcilla. El suelo tiene una permeabilidad de aproximadamente 1×10^{-6} ft/min., medida con un Permeámetro de carga decreciente. La natural in situ distribución del suelo es ligeramente cementada, conteniendo numerosos pequeños canales paralelos por la superficie filtrándose el agua abajo en el N.A.F. en un corte abierto.

En Julio de 1969 2 líneas de drenes prefabricados del tipo núcleo de mariposa se instalarán a lo largo del talud como se muestra en la figura 70. La idea original se planeó, para que se instalará una línea de drenes interceptores por el corte de una zanja con un Bulldozer. Sin embargo, con el tiempo, la instalación en el talud fue también humedeciéndose y la zanja fue obstruida. En la figura 71, se muestra un corte típico de la sección y el método usado para colocar el drenaje.

Una trinchera fue abierta para el drenaje más bajo y fue rellena con arena para facilitar la compactación. En áreas de gran humedad, la sección de drenaje superior tuvo que ser rellena particular, inmediatamente después de establecerse para prevenir el deslizamiento local.

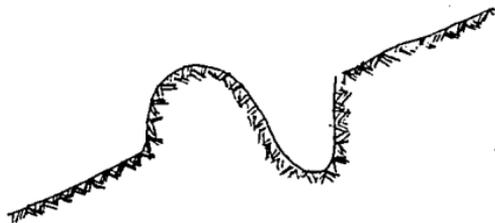


PLANO DE INSTALACION EN EL CAMPO

FIGURA No. 78

UNAM
E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
 OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES
 EDUARDO CARRERON SOLIS

SECUENCIA DE INSTALACION DE UN DREN PREFABRICADO



1.- EXCAVACION DE LA ZANJA



2.- COLOCACION DEL DREN



3.- RELLENO CON PRODUCTO DE LA EXCAVACION



SECUENCIA DE LA INSTALACION DEL
DREN PREFABRICADO

FIGURA No. 71.

UNAM
E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
OBRAS DE SUDRENADO EN LAS VIAS TERRESTRES
EDUARDO CHAZCON SOLIS

A finales de 1969, las fuertes lluvias causarán una erosión en la superficie, en dos áreas, marcadas con las letras A y B en la figura 70, los canales de drenaje natural formados por el agua fueron extinguiéndose por debajo del drenaje superior, causando deslizamientos entre ambos. Con la adición de 6 metros de longitud de drenaje instalados para manejar en la parte final del sur del área B, del camino arriba del talud, con estas mejoras se estabilizó el talud. En la primavera de 1970 25 mts. de drenaje prefabricado del tipo núcleo, y un geotextil de filtro (chifón) fue instalado con una cavadora y buldozer en la porción del área B, y 6 mts de drenaje prefabricado en el área A. Se observó que los tubos instalados en los puntos marcados en la figura 70 con 1, 2 y 3, el flujo de agua en los tubos de drenaje pudieran ser medidos con estos puntos para usarse como pruebas de calibración.

Evaluación de la instalación en el campo.

Algunos piezómetros fueron instalados, pero estos no reflejarán las condiciones de agua aparentes correctamente. Estos pudo ser propio de las características de la permeabilidad y la no homogeneidad del suelo. La evaluación de la instalación en el campo tuvo que ser evaluada, en la estabilidad del talud, con las medidas del flujo del agua fuera del drenaje instalado.

El talud, el cual fue esencialmente inestable en toda la longitud, teniendo que estabilizarse, debido a que recién instalado el drenaje hubo fuertes lluvias teniendo que eliminar las filtraciones de la superficie.

El flujo de agua del drén, tuvo que ser observada continuamente, antes de la instalación de los 76 m superiores de drenaje, removiendo el agua del suelo a razón de 2 gal/min durante periodos de humedad. Cálculos asumen un gradiente hidráulica en el suelo de 0.20, muestras en el campo de la permeabilidad arrojarán 1.6×10^{-3} . Esto incrementó 1000 veces toda la permeabilidad de las pruebas de laboratorio sobre muestras distribuidas, pudo ser ocurrido por los canales naturales ocurriendo en el depósito. Esto tuvo que indicarnos que los finos comenzará a reverse, sin embargo nos habla de como el geotextil efectivamente funciona como un filtro.

4.4.- LOS GEOTEXTILES EN LAS APLICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE VIAS TERRESTRES

Hay cuatro categorías que abarcan la mayoría de las aplicaciones de geotextiles en la construcción de vías terrestres, estas categorías son:

Separación.

El empleo más importante de los geotextiles en la construcción de vías terrestres es formar una barrera entre dos tipos de materiales. El geotextil evita la mezcla de los dos materiales bajo cargas estáticas y dinámicas.

Las propiedades más importantes en este tipo de aplicación lo constituye la relación tensión/tirantes y las propiedades de filtración (tamaño de las aberturas, permeabilidad) del género que tiene que coordinar con la clase, y propiedades, del suelo nativo y el material de basalto. El ejemplo más corriente lo tenemos en los caminos de acceso, ya sea que están pavimentados o no. La membrana se coloca sobre la base de grava, directamente sobre el suelo nativo, evitando, por lo tanto, que la grava empuje hacia abajo el suelo nativo. Estas aplicaciones son descables especialmente cuando las condiciones de la subrasante influyen cantidades significativas de arcilla, piedra caliza o fracciones orgánicas. Debido a sus bien conocidas propiedades para soportar grandes deformaciones locales, y por poseer una excelente resistencia a los pinchonazos (sin deterioro perceptible de sus propiedades de filtración), las membranas no tejidas hechas a punta de aguja son superiores a las hiladas adheridas por medio de calor y, las telas tejidas.

Filtración.

La membrana debe retener el suelo mientras libera presiones hidrostática que actúan debajo de la rasante hidráulica. Los dos ejemplos más comunes de la construcción de vías terrestres son los siguientes:

- A. La instalación entre suelos de terraplenes y los materiales de cubierta en revestimientos, y
- B. La instalación entre el suelo nativo y la sección de basalto.

En el primer ejemplo la tela debe liberar una cabeza hidrostática, mientras que en el segundo, el género debe evitar la contaminación del basalto por los suelos de la subrasante a pesar del incremento de bombeo bajo las grandes cargas dinámicas actuales. Las membranas tejidas (no tejidas) hechas a punta de aguja rinden más en este sentido a la resistencia de obstrucciones, por su alta permeabilidad y sus excelentes características de retención de suelo. Los géneros hilados no tejidos adheridos por medio de calor se pueden clasificar entre telas preferidas no tejidas cosidas a punta de aguja y los géneros tejidos.

Permeabilidad lateral.

En algunos casos, es necesario transportar los fluidos paralelos al plano de la tela dentro del grosor del género mismo. Es obvio que esto requiere un género grueso con permeabilidad estable in situ. Algunas de las muy gruesas membranas no tejidas a punta de aguja, dan mejores resultados en este aspecto.

Mejora de la sub-base.

En este tipo de aplicación una tela no tejida participa según los requerimientos de la estructura.

Evita la contaminación de la sub-base o base que podría disminuir la capacidad de soporte.

Bajo los efectos de cargas verticales producidas por el tráfico, hay una mejora debida a la eliminación de los poros de agua contenidos en el suelo fino, esta mejoría por un lapso de tiempo es apreciable, especialmente durante la construcción del pavimento, pues el tráfico que la sub-base tendrá que soportar es limitado para mejorar el comportamiento de las estructuras bajo el efecto de la compactación dinámica. Además, las propiedades hidráulicas de los geotextiles son ventajosas pues evitan la contaminación perjudicial del agua.

Repavimentación.

Con el uso las vías se fisuran, el geotextil se emplea entonces con el fin de uniformizar la superficie y lograr que el nuevo pavimento no presente discontinuidades.

Para lograr una perfecta interacción entre el pavimento antiguo, el geotextil y el pavimento nuevo debe imprimirse antes y después de colocado el geotextil.

El mejor trabajo del geotextil se logra si la manta se estira para evitar las arrugas.

El geotextil garantiza una prolongación de la vida útil del pavimento impidiendo la propagación de las fisuras y la acción nociva del agua que las penetraría, también aumenta la resistencia a la cizalladura y brinda resistencia a la fatiga. Además, constituye una capa de bloqueo al material fino.

4.4.1.- APLICACIONES DE DRENAJE SUBTERRANEO CON GEOTEXTILES

En el departamento de Transporte de Illinois ha usado geotextiles en conexiones con los demás drenajes subterráneos en los caminos.

1.- En el condado de Sta. Clara en una sección de corte propuesto deben colocar un volumen alto de agua y una arcilla lodosa y arenosa, que el constructor que eligió para dejar el camino 2" más alto que la elevación final para obtener una mayor estabilidad durante la construcción. Esto presentó un problema para la estabilidad en la zanja del drenaje subterráneo el cual era 2" más profundo.

Se necesitaron de una tubería de metal de 10" corrugado con piedras más gruesas alrededor de la tubería y un geotextil alrededor de todo el sistema. Pero los tubos no se pudieron colocar ya que la excavación perdió su estabilidad derrumbándose antes de que las tuberías pudieran ser colocadas. Se decidió suprimir la tubería por los gradientes existentes. El geotextil que cubre las piedras sigue trabajando bien.

2.- En la interestatal No. 55 de Chicago existe un tramo de carretera que por años ha tenido un historial de agua en la estructura del pavimento. El drenaje en la estructura del pavimento parecía ser muy importante en cualquier plan de reconstrucción, ya que ningún sistema de drenaje había sido basado en la mejora originales. La severidad fue complicada por la importancia de la autopista y por el tráfico diario que tiene. Estos factores requerían del diseño rápido de una solución, sin completar la reconstrucción del pavimento, ya que este trabajo estaba siendo hecho bajo tráfico. El método seleccionado consistiría de un sistema de drenaje longitudinal instalado a través de los bordes. La zanja del drenaje, que fue forrada con un geotextil (Mirafi 140) luego con una tela de fibra bituminizada con 6 in de perforaciones, colocándose en la parte más profunda y lo que quedó en la zanja fue llenado con agregados más gruesos y una abertura graduada. La tela se doblo para forrar completamente el agregado.

En este caso la tubería fue considerada necesaria para dar un drenaje apropiado por los planos de gradiente que había.

4.4.1.1.- FUNCIONAMIENTO DE LOS GEOTEXTILES COMO UN REEMPLAZO POR LOS MATERIALES GRANULARES.

A principios de 1967 únicamente se utilizaban 2 tipos de geotextiles en U.S., y este uso se hizo esporádicamente. Para que el funcionamiento de estos geotextiles fueran satisfactorios, el Cuerpo de Ingenieros (C.E) especificó requerimientos generales para los mismos por nombres ó algunas otras geotextiles con propiedades físicas iguales. Alrededor de 1967 otros geotextiles comienzan a ser usados, obligando al C.E. y la División de Ingenieros de la Armada de los U.S., autorizar un estudio para la Estación de Experimentos de Caminos de Aguas (W.E.S) de la Armada de los U.S., para desarrollar y adoptar especificaciones por el C.E. usando 8 diferentes tipos de geotextiles.

Descripción de los geotextiles y los resultados de las pruebas de laboratorio.

En la tabla 4-1 se muestran algunas propiedades físicas de las 7 geotextiles investigadas. Las telas debieran de ser referenciadas por letras y símbolos como se ve en la tabla 4-1.

Con la excepción de la tela G, todas las telas fueron fabricadas en los U.S.. Las telas A,B y C fueron hechas por un mismo fabricante, las otras 4 por diferentes fabricantes. 6 telas fueron hechas predominantemente de hilo poli propileno y una fue hecha de hilo de cloruro de polivinilidénico. Los hilos usados en la fabricación de las telas fueron variados. Tres telas fueron de fibras perfeccionadas y 3 fueron de fibras débiles. Las fibras perfeccionadas en diámetro fueron desde 0.003 a 0.015 in. Las dimensiones de las fibras débiles fueron alrededor de las mismas en todas. La tela F, la única no tejida fue hecha por fibras mezcladas por agujas punzantes y trabas por fusión de calor. La tela E fue hecha de hilo mono filamento en la dirección de la fabricación y el tipo de hilo multifilamento en la dirección paralela.

La tela F tiene apariencia de fieltro, no teniendo diferentes aberturas. Las otras telas fueron tejidas con hilo mono filamentos teniendo distintas aberturas rectangulares. Debido a las variaciones de las aberturas de cada una de las telas, y que esta fue generalmente rectangular, el promedio de tamaño de la abertura no fue necesariamente indicativo de los tamaños de las partículas de suelo que debieran pasar en la tela. Para que una prueba pudiera ser valida en este caso, se estableció en cada una de un tamaño equivalente de abertura (E.O.S.), esta expresado en términos de números de cribas standard de U.S. El procedimiento es el siguiente: aproximadamente 150 gr de cada una de las fracciones siguientes de una arena se obtuvo (ver tabla 4-2).

Empezando con las fracciones de tamaños más pequeños, de los cuales más del 5 % de la arena paso a través de la tela; así sucesivamente hasta pasar la fracción gruesa en un cribado con desagüe durante 20 min, de la cual el 5 % o menos paso la tela. La equivalencia del tamaño de abertura vario desde 4.3 a 36 %.

La fuerza de tensión de las telas varió considerablemente. La débil tuvo una fuerza de 13 lb en la dirección paralela a la de la fabricación, mientras tanto, la fuerte tuvo una fuerza de 399 lb en la misma dirección. El esfuerzo de la tela vario desde 180 a 625 psi. La absorción del agua fue menor que el 1 % para las todas las telas.

Las pruebas fueron conducidas para determinar los efectos de temperatura (-60 a 180 F), ácidos y alcalinos, oxidación, derrame de combustible y la luz del sol (camara de resistencia a la intemperie). Todas las telas fueron adversarias y afectadas por la luz del sol, particularmente la tela F, también fue afectada adversamente por el derrame de aceite, mientras que la tela A fue afectada por la alcalinidad. Todas la telas resistieron las otras pruebas satisfactoriamente.

Las pruebas de filtración indicarán que todas las telas fueron evaluadas eficientemente teniendo la arena o suelo limoso en aplicaciones tales como abajo de un pedraplén, aunque estas fueron siempre de algunas infiltraciones de finos. En estas pruebas las telas fueron asegurándose en un parámetro y el suelo fue aflojándose al colocarse sobre la tela como remate. Concediéndose que fluyera el agua a través del suelo y el filtro de tela. Los obstáculos especiales de las pruebas fueron conducidos en el suelo encima de la tela. Estos obstáculos estaban compuestos por arena limpia y con varios porcentajes de limo añadidos por varias pruebas.

Estas pruebas indicarán que las telas E y F guardarán obstáculos debido a la migración de los finos y el suelo arenoso. Esta tendencia fue medida para determinar la relación de : A) el gradiente hidráulica a través de la tela y una pulgada de suelo adyacente con la tela, B) el gradiente de la muestra entera. Para la muestra con la arena contuvo el 5 % de limo. Las telas A y E no mostrarán medidas de tendencias a obstáculos.

Las pruebas de filtración fueron también conducidas en los criterios de filtro desarrollados, para las telas usadas. Estas pruebas indicarán que la arena no debió pasar en la tela un 85 % del tamaño de la arena, siendo igual principalmente para el E.O.S. de la tela

TABLA 4-2

NUMERO DE CRIBA STANDARD U.S.	
PASA	RETENIDO
10	20
20	30
30	40
40	50
50	70
70	100
100	120

U N A M
E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
OBRAS DE SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERESTRES
EDUARDO CARREON SOLIS

4.4.1.2.- SISTEMA DE SUBDRENAJE

Entre Los Angeles y el distrito Forth Worth se reportó el uso de las telas de filtro en tubos de subdrenaje envueltos. En el distrito de Los Angeles, la tela B fue usada para envolver juntas individuales de juntas abiertas con tubos de subdrenaje (1967) y en el distrito de Forth Worth tubos perforados envueltos con la tela A (1966). En ambos casos el uso de la tela elimino la necesidad de filtros graduados. Una sección del subdren en el distrito de Forth Worth, fué removida en febrero de 1970 y la tela no mostraba signos de deterioro o obstrucciones, aunque los tubos perforados fueron encontrados con obstáculos por lodo de hierro. En las otras instalaciones, el sistema de subdrenaje funcionaba perfectamente.

El servicio de conservación de suelo del Departamento de Agricultura de los U.S., instalarán subdrenes en Nuevo Orlando Florida para bajar el N.A.F.. Aunque no lo instalo el C.E., este proyecto es importante debido a la diferencia significativa en el funcionamiento de dos filtros de tela sujetos por condiciones de altas concentraciones de hierro. Los dos filtros de tela usados fueron la tela A y una tela no incluida en las pruebas, pero similar en apariencia a la no tejida tela F.

Se realizó una trinchera la cual fue rellena con la excavación del suelo, la cual fue arena fina (90% que paso la criba No. 50). El flujo del N.A.F. decreció debido a los dos sistemas instalados. La tela similar a la tela F empezó a obstruirse en semanas con un lodo de hierro. El lodo en la tela empezó a formar bacterias de hierro. En la construcción de la tela A no se encontró lodo, aunque en algunos casos de la construcción, dentro del tubo. Este sistema con la tela A continúa funcionando.

CAPITULO 4

- 1.- CARLOS ENRIQUEZ RUIZ
BOLETIN DE VIAS No. 45
UNIVERSIDAD DE COLOMBIA SECC MANIZALES
- 2.- HIGHWAY RESEARCH RECORD
FORST ACTION AND DRAINAGE NATIONAL
RESEARCH COUNCIL
No. 360
- 3.- CEDERMANG
FILTER AND DRAIN DESIGN
ED. WILEY INTERSORTEO CAP. 7
- 4.- JEAN-CLAUDE BLIVET, PHILLIPPE DEIMTS
CARACTERISTIQUES DES GEOTEXTILS
MESURES-SPECIFICATION CONTELES
- 5.- CHARLES C. CALHOUN JR.
U.S. ARMY ENGINNER WATER WAY
EXPERIMET STATION WICKSBURG MISSISSIPPI
PERFORMANCE OF PLASTIC FILTER CLOTHS AS A REPLACEMENT FOR
GRANULAR FILTER MATERIALS

REFERENCIAS

- 1.- DESLIZAMIENTO DE LA CARRETERA TIJUANA ENSENADA
BOLETIN INFORMATIVO S.O.P. (AHORA S.C.T.)
- 2.- LA INGENIERIA DE LOS SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES
ALFONSO RICO Y HERMILO DEL CASTILLO
ED. LIMUSA VOLUMEN 1 CAP 7
- 3.- JEAN-CLAUDE BLIVET, PHILLIPPE DEIMTS
CARACTERISTIQUES DES GEOTEXTILS
MESURES-SPECIFICATION CONTELES
- 4.- CHARLES C.CALHOUN JR.
U.S. ARMY ENGINEER WATER WAY
EXPERIMENT STATION WICKSBURG MISSISSIPPI
PERFORMANCE OF PLASTIC FILTER CLOTHS AS A REPLACEMENT FOR
GRANULAR FILTER MATERIALS

CONCLUSIONES

El presente trabajo ha tratado de remarcar la importancia de las técnicas destinadas a recoger, canalizar y eliminar las aguas susceptibles de perjudicar de cualquier modo a una vía terrestre. Estas técnicas llamadas subdrenaje logran dicho objetivo, también de gran importancia, es la relación que guardan las características y reacciones del suelo con o sin la presencia del agua.

El agua es perjudicial, como acabo de mencionar, y tiene que eliminarse porque la resistencia y estabilidad de la vía terrestre se vería afectada. Por lo tanto el subdrenaje no solo elimina el agua, sino que modifica un estado de presiones neutrales que sea poco favorable para la estabilidad de una masa de suelo y cambia la dirección de las fuerzas de filtración para que sus efectos sean menos perjudiciales, lográndose con esto una vía terrestre más segura y al plantear la relación beneficio costo sea mucho más aceptable.

El planteamiento de un buen sistema de subdrenaje apropiado depende de la buena información sobre la disposición y naturaleza de los materiales que se estén manejando. dependiendo de la clase de suelo, el agua capilar, por ejemplo, puede subir cuando se presente una filtración en ladera o con el nivel de agua freáticas, afectando a la vía terrestre en su subsiguiente, en el caso de un camino o vía férrea.

Las filtraciones en ladera deben ser interceptadas, de preferencia antes que el agua entre en el camino. Para la condición de nivel freático, puede abatirse el nivel más allá del límite capilar por medio de subdrenes longitudinales de zanja. Cuando se presentan escurrimientos superficiales se recomienda drenar la base con capas permeables.

Cuando los terraplenes no han sido ~~construidos~~ en forma apropiada, sin las consideraciones de suelo subdrenaje, pueden producirse bolsas de lodo, bombeo del mismo lodo y porciones del terraplén blando. ~~Estos terraplenes están~~ expuestos a asentamientos excesivos o destrucción completa. Un caso ~~más común~~, tratándose de caminos o vías férreas, consiste en que los terraplenes reciben agua libre por mantos subterráneos y proveniente de algún tramo adyacente de corte. Si es posible, el origen de esta agua debe localizarse para interceptarla; cuando el mal no puede ser localizado, puede requerirse el empleo de drenes transversales a varias profundidades e intervalos, para drenar eficazmente la misma.

Tratándose de filtraciones en ladera o laterales, se consideran 2 condiciones: una cuando la zona de escurrimiento cae en el talud del corte y la otra cuando pasa bajo de la vía terrestre. La zona puede estar constituida por una grieta angosta o por una amplia y profunda capa

permeable. Para un talud relativamente bajo el remedio puede ser un dren interceptante en la parte alta, cambiando la dirección de las fuerzas de filtración, evitando que esta llegue a la cara del talud, manteniéndose en buenas condiciones de estabilidad.

Cuando las zonas de escurrimiento se encuentran bajo el camino puede que la zona de escurrimiento este cerca de la superficie de la vía terrestre o este más profunda. Puede haber agua libre en el subrasante, la que es bombeada por el tránsito. Por otra parte, el agente perjudicial puede ser el agua capilar que origina una subrasante inestable o abundamiento producido por heladas.

La solución recomendable consiste en instalar un dren interceptante, ya sea en la banquetta o en la línea de cuneta para desviar el agua libre antes de que penetre en la zona de la vía terrestre.

En el segundo caso, o sea con una zona de filtración amplia, el problema consiste en abatir el nivel freático lo suficientemente para reducir la altura efectiva que alcanza el agua capilar. El dren probablemente deberá colocarse a una profundidad suficientemente efectiva para captarla.

La transición de sección de un corte a sección de terraplén presenta con frecuencia desperfectos con la parte final de la vía terrestre como puede ser una rotura en el pavimento de un camino. El agua del terreno generalmente corre por la parte superior de un estrato impermeable, o es retenida en suelo no drenable, o bien formando depósitos en la roca.

El remedio consiste en colocar un subdren a través del camino en el corte para interceptar estas filtraciones, y usar una base permeable a una profundidad suficiente bajo la rasante en el área de transición.

Donde exista un estrato débil de suelo en la zona en que se vaya a construir un terraplén y el estrato este próximo a la superficie, seguramente la sustitución proporcione la solución más económica. Donde la profundidad en que se localice el estrato blando sea más grande, podrá pensarse en trincheras estabilizadoras. La galería filtrante encuentra su aplicación más prometedora en los casos en que la profundidad del agua subterránea es tal que no se pueda pensar en la sustitución y que las trincheras estabilizadoras resultan antieconómicas. El papel de los drenes de penetración transversal, el de los subdrenes longitudinales de zanja o el de los mantos permeables es importante resaltar la gran versatilidad que tienen de combinarse para dar soluciones más efectivas.

El planteamiento de un adecuado sistema de subdrenaje requiere de buena información sobre la disposición y naturaleza de los materiales naturales involucrados. Esta puede provenir

de una inspección campo, de estudios geológicos o de sondeos con muestreo, seguido de pruebas de laboratorio. Los estudios geológicos constituyen una arma de valor fundamental. Deberán definirse las formaciones existentes y su secuencia, así como todo tipo de accidentes, como plegamientos, fisuras, fracturas, fallas. La permeabilidad de los estratos y las formaciones ser importante para definir el panorama general.

Se revisarán las soluciones que hasta el momento se han desarrollado y se han manifestado sus características, para que se pueda tener un panorama más completo de dichas soluciones para tener una idea más clara y precisa cuando se presente algún problema relacionado con el subdrenaje.

Actualmente en nuestro país se construyen un gran número de vías terrestres (caminos, aeropuertos y vas férreas) y además se les da un mantenimiento impresionante a las que ya existen. Una de las causas por las que en la actualidad varias vas terrestres resultan inadecuadas es debido a que fueron proyectadas para necesidades de hace 3 ó 4 décadas ó más; cuando la intensidad del tránsito era muy baja y no se alcanzaban las velocidades actuales. Por otra parte muchas de las vías terrestres que se han construido en los últimos años, por la falta de un buen estudio geotécnico y un buen proyecto de drenaje, fracasan, después de la época de lluvias, presentando problemas como: asentamientos, reparaciones de carpetas reconstrucciones de la base, asentamientos de taludes, deslaves de terraplenes, etc., que sumados a los costos naturales de conservación elevan el costo de la operación.

El problema que presenta el subdrenaje es complejo y cada caso en particular requerirá su estudio a fondo, para darle una solución particular; y cabe recalcar que si no se tiene un buen estudio geotécnico y no se contemplan los problemas que se le pueden atribuir al subdrenaje resultará inútil su utilización; siguiendo los lineamientos generales del estudio y atacando el problema en la causa de éste y no en el efecto que produzca, esto puede resultar costoso pero a la larga más económico.

El presente trabajo ha intentado reunir la mayor información posible, tanto en los diferentes problemas que se le pueden atribuir al subdrenaje, los materiales empleados, normas, especificaciones, diseño de las estructuras más importantes, así como las alternativas de nuevas técnicas como es el subdrenaje prefabricado y los geotextiles, que son una herramienta auxiliar en casos donde los materiales convencionales como pueden ser los materiales granulares o el mismo tubo perforado, no existieran en la región o fueran de muy mala calidad. Toda esta información ordenada esquemáticamente, puede dar criterios básicos para solucionar dichos problemas tanto en obras existentes donde persisten como en proyectos nuevos.