

**ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE SUBDRENES HORIZONTALES Y
PLANTEAMIENTO DE UNA METODOLOGÍA PARA REALIZAR PRUEBAS DE
MEDICIÓN DE LA CAPACIDAD DE DRENAJE**

JUAN SEBASTIÁN JAIMES PICO

PAULA ANDREA MACÍAS LEÓN

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

Informe final del trabajo de grado en modalidad de investigación

**ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE SUBDRENES HORIZONTALES Y
PLANTEAMIENTO DE UNA METODOLOGÍA PARA REALIZAR PRUEBAS DE
MEDICIÓN DE LA CAPACIDAD DE DRENAJE**

JUAN SEBASTIÁN JAIMES PICO

PAULA ANDREA MACÍAS LEÓN

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de ingeniero
civil

Directora:

HEBENLY CELIS LEGUIZAMO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a nuestras familias por su amor y apoyo incondicional.

A los profesores y profesionales en el área que nos orientaron en el proceso para desarrollar satisfactoriamente esta investigación.

A nuestros amigos y compañeros que de alguna forma afectaron positivamente el avance de este proyecto.

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	14
1. FUNCIONAMIENTO DE LOS SUBDRENES HORIZONTALES.....	15
1.1 Condición inicial	16
1.2 Condición final con los subdrenes horizontales instalados	17
2. DISEÑO.....	18
2.1 Estudio geotécnico e hidrogeológico	18
2.2 Especificaciones de los subdrenes de penetración	18
2.2.1 Longitud	19
2.2.2 Pendiente.....	19
2.2.3 Ubicación	20
2.2.4 Separación.....	21
2.2.5 Método observacional	24
3. PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN	27
3.1 Perforación.....	27
3.2 Control del alineamiento y posición del subdren.....	29
3.3 Instalación del subdren	30
3.4 Tipos de geotextil y materiales filtrantes.....	32
4. MANTENIMIENTO	34
5. SISTEMAS DE SUBDRENAJE HORIZONTAL INSTALADOS ACTUALMENTE	36
6. DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA MEDICIÓN DEL DRENAJE DE SUBDRENES	40

6.1 Especificaciones para la realización del ensayo	40
6.2 Procedimiento de la prueba de laboratorio	43
CONCLUSIONES	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
FUTURO	49

Lista de tablas

Tabla 1 Pendiente mínima del subdren	20
--	----

Lista de figuras

Fig 1 Condición inicial del talud.....	16
Fig 2 Efecto del subdrenaje horizontal en el talud	17
Fig 3 Parámetros de la fórmula de hooghoudt.....	22
Fig 4 Separación de subdrenes horizontales en muro de contención.....	25
Fig 5 Equipo de perforación por rotoperCUSión con aire a presión.....	28
Fig 6 Drenes en PVC ranurados en obra.....	31
Fig 7 Diagrama esquemático de varios tipos de unión de fibras en geotextiles no tejidos	33
Fig 8 Sedimentación del finos dentro del subdren horizontal.....	35
Fig 9 Estabilización de talud por medio de anclajes pasivos y subdrenes horizontales vía Bucaramanga-Cúcuta Km. 15.....	37
Fig 10 Subdren horizontal ubicado al pie del talud con flujo constante de agua vía Bucaramanga-Cúcuta Km. 9.....	38
Fig 11 Subdren de penetración con sedimentos y desechos acumulados	39

RESUMEN

TÍTULO ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE SUBDRENES HORIZONTALES Y PLANTEAMIENTO DE UNA METODOLOGÍA PARA REALIZAR PRUEBAS DE MEDICIÓN DE LA CAPACIDAD DE DRENAJE*

AUTORES Paula Andrea Macías León, Juan Sebastián Jaimes Pico.**

PALABRAS CLAVE Subdren horizontal, talud, estabilización, drenaje.

Descripción:

Los subdrenes horizontales son un método de estabilización de taludes muy eficiente y económico que tiene como finalidad el control de aguas subterráneas mediante la disminución del nivel freático y de la presión de poros del suelo. En Colombia, los subdrenes de penetración son un método de prevención y mitigación de desastres que a pesar de ser utilizado con gran frecuencia, no se tienen en cuenta parámetros importantes para su proceso constructivo y para el mantenimiento del sistema. Diferentes casos de fenómenos de remoción en masa podrían ser evitados de instalarse un buen sistema de subdrenaje y de hacer un correcto diseño del mismo. En esta investigación se presenta un análisis detallado del diseño, instalación, funcionamiento y mantenimiento de un sistema de subdrenes de penetración. Igualmente contiene una síntesis del trabajo de observación en campo en donde se muestra el estado actual y la metodología de construcción de estos sistemas de drenaje en zonas colindantes a la ciudad de Bucaramanga, el proyecto de la realización de la doble calzada en la vía Bucaramanga – Cúcuta y diferentes taludes ubicados sobre los cerros orientales de la ciudad. Finalmente, se muestra una propuesta de diseño para la realización de pruebas de laboratorio en las que se determinen los factores que hacen más óptimo un sistema de subdrenes horizontales comparando dos modelos.

* Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil.

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela De Ingeniería Civil, Director Hebenly Celis Leguízamo

ABSTRACT

TITLE ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE SUBDRENES HORIZONTALES Y PLANTEAMIENTO DE UNA METODOLOGÍA PARA REALIZAR PRUEBAS DE MEDICIÓN DE LA CAPACIDAD DE DRENAJE*

AUTHORS Paula Andrea Macías León, Juan Sebastián Jaimes Pico.**

KEY WORDS Horizontal drain, slope, stabilization, drainage.

Description:

Horizontal drains are a method of stabilizing slopes very efficient and economical which aims groundwater control by lowering the water table and pore pressure from the soil. In Colombia, the penetration subdrains are a method of prevention and mitigation of disasters that despite being used very often do not take mind important parameters for the construction process and system maintenance. Different cases of landslide phenomena could be avoided settling a good subdrainage system and make the proper design of it. A detailed analysis of the design, installation, operation and maintenance of a system of underdrains penetration is presented in this research. Also contains a summary of field observations where shows the current status and methodology of construction of these drainage systems in areas adjacent to the city of Bucaramanga, the project of the embodiment of the dual carriageway at the Bucaramanga – Cucuta road and different slopes located on the eastern hills of the city. Finally, a design test proposal is shown for carrying out laboratory tests in which the factors that makes the underdrains system works as best as possible are determined by comparing two models.

* Graduate work for the degree of Civil Engineer.

** Faculty of Physical Engineering Mechanics, Civil Engineering School, Director Hebenly Celis Leguizamo

INTRODUCCIÓN

Colombia se encuentra ubicado en una zona tropical en donde el clima varía de manera natural en períodos cortos, y puede llegar a eventos extremos como el fenómeno del niño y de la niña ^[1]. Santander, uno de sus principales departamentos, debido a su abrupta geografía y diversidad geomorfológica, al estar situado sobre la cordillera oriental, presenta fallas geológicas a lo largo de todo su territorio, movimientos sísmicos permanentes, alta pluviosidad, factores que definen un territorio completamente heterogéneo ^[2]. El suelo de esta zona se compone principalmente por conglomerados, limolitas, arcillas, areniscas y gravas ^[3].

Los factores mencionados anteriormente, hacen de Santander una región vulnerable contra fenómenos de remoción en masa, y las condiciones socioeconómicas, políticas y de corrupción crean dificultad a la hora de atender emergencias de esta índole, suceso que se ha hecho muy visible en los últimos años.

El agua es el elemento que más se relaciona con las fallas de los taludes en zonas tropicales, puesto que la mayoría de los deslizamientos ocurren después de fuertes precipitaciones o durante largos períodos pluviosos. Los subdrenes horizontales son un método de estabilización de taludes, usados como un sistema de remediación o prevención, que a pesar de que no se le dé un correcto uso en la mayoría de casos, es una técnica que resulta ser muy económica y eficiente en el control de desastres como deslizamientos. Su función principal es disminuir el nivel freático y desactivar la presión de poros, considerado como el principal elemento desestabilizante en los taludes. El drenaje reduce el peso de la masa, al mismo tiempo aumenta la resistencia al corte del material y mejora el factor de seguridad de la superficie de falla ^[4].

Ya que esta metodología de estabilización resulta tener suficientes ventajas, se presenta en este trabajo un análisis del funcionamiento de este sistema y se propone extender la investigación al uso de nuevos recursos y tecnologías en cuanto a los diferentes insumos necesarios y el diseño de subdrenes horizontales, mediante ensayos que permitan comparar la eficiencia de diferentes drenes y materiales filtrantes para diversas condiciones del suelo y de la humedad del mismo.

1. FUNCIONAMIENTO DE LOS SUBDRENES HORIZONTALES

El subdrenaje es una metodología de remediación o prevención de deslizamientos muy eficiente y su diseño se basa en la captación del flujo de agua subterránea y del agua infiltrada en el suelo ^[5].

Teniendo el talud problema, es necesario realizar el respectivo estudio geotécnico y determinar así las condiciones del mismo. Una vez determinados los parámetros primordiales a tener en cuenta se debe realizar un diseño del sistema de subdrenaje. Instalados los subdrenes necesarios, empieza el proceso de captación de agua subterránea y en ciertos casos de aguas lluvias conducidas por infiltración.

Es necesario saber que el volumen de agua recolectada por los sistemas de drenaje no es el único indicativo de la efectividad que este tenga ^[5]. En suelos poco permeables como los arcillosos se puede obtener muy poco flujo de agua por medio de los subdrenes y sin embargo tener una reducción significativa de las presiones intersticiales. En suelos permeables es más común ver un mayor volumen de agua evacuado por los subdrenes.

Al trabajar en zonas de alto riesgo de deslizamiento, especialmente en vías a media ladera con terreno susceptible y de poca estabilidad, se hace completamente necesario el drenaje subterráneo. Los subdrenes horizontales de penetración son un sistema efectivo, además de ser sencillos y de fácil instalación. Estos drenes funcionan constantemente cuando hay presencia de agua a niveles superiores al que este se encuentre instalado. El objetivo es mantener el nivel de agua por debajo de la superficie potencial de falla del talud y evacuar el agua retenida por infiltración. Lo ideal es realizar un sistema de drenaje para agua de escorrentía, sin embargo, en algunos casos este drenaje es precario o no es suficiente para hacer la total evacuación de aguas lluvias, lo que hace que la rata de infiltración sea mayor.

1.1 Condición inicial

Inicialmente se tiene un talud con una superficie de falla conocida con los estudios previos y un alto nivel freático que se intersecta con esta superficie, condición crítica y estado de alta probabilidad de deslizamiento.

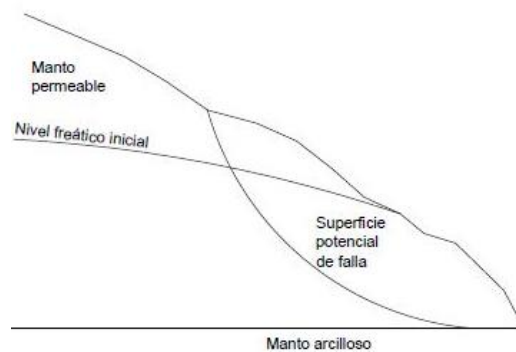


Figura 1. Condición inicial del talud

1.2 Condición final con los subdrenes horizontales instalados

Según sean las condiciones de agua subterránea y de ubicación del nivel freático del talud, se determina la configuración de perforaciones o ranuras de los drenes. La efectividad de este sistema de estabilización depende en gran parte del diseño de colocación de los drenes necesarios y del buen mantenimiento de los mismos.

El objetivo general de los subdrenes finalmente es reducir lo más posible la presión de poros, manteniendo el nivel freático por debajo de la superficie potencial de falla y mejorando el factor de seguridad. De esta forma los subdrenes están cumpliendo su función efectivamente.

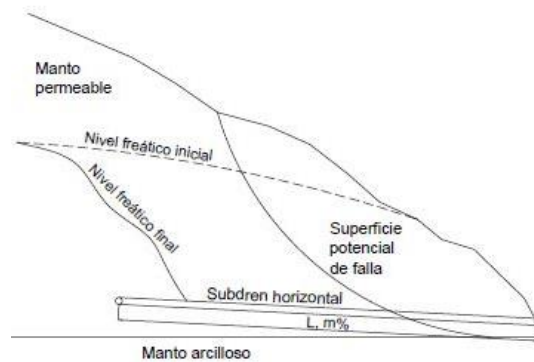


Figura 2. Efecto del subdrenaje horizontal en el talud

2. DISEÑO

2.1 Estudio geotécnico e hidrogeológico

En primer lugar, es de vital importancia realizar el pertinente estudio hidrogeológico que es el que finalmente arrojará información sobre el almacenamiento, circulación y distribución de aguas subterráneas según la formación geológica del lugar en estudio. Así mismo, una caracterización geotécnica es indispensable puesto que con esta se obtiene la información necesaria del tipo o los tipos de material presentes y predecir el posible comportamiento, la superficie y forma de falla del talud en estudio.

Es recomendable que los patrones de lluvias y estudios hidrológicos sean tenidos en cuenta puesto que la mayoría de problemas de inestabilidad de taludes se presentan en épocas de invierno o eventos de fuertes precipitaciones.

Es común encontrar drenes que no trabajan por estar colocados debajo del fondo de un acuífero suspendido ^[5], por lo que es de gran importancia un completo estudio geotécnico.

2.2 Especificaciones de los subdrenes de penetración

Una vez obtenidos los estudios requeridos, se deben establecer los parámetros para realizar el diseño completo del sistema. En muchos casos, no se realizan diseños previos y simplemente se instalan con criterios experimentales y con los materiales o insumos de fácil acceso. Para construir un buen sistema de subdrenaje se debe hacer un diseño respectivo de:

2.2.1 Longitud

La longitud de los subdrenes se debe determinar teniendo un perfil con la información completa del talud que contenga datos de acuíferos, nivel freático y corrientes de agua subterránea. Dependiendo de la magnitud de la masa y de la ubicación de la superficie potencial de falla se determina la longitud necesaria para que el drenaje actúe de manera eficiente.

Comúnmente sus longitudes varían de 10 a 40 metros, pero se conoce de drenes instalados de 120 metros de longitud ^[5].

En caso de tener en el mismo talud un sistema de estabilización con pantallas ancladas, los subdrenes de penetración deberán tener una mayor longitud que los anclajes. Esto con el fin de mantener el nivel freático por debajo de los anclajes, de tal forma que el agua no genere inconvenientes con ese sistema de estabilización.

2.2.2 Pendiente

El sistema de drenaje de subdrenes horizontales funciona por gravedad, por lo tanto es necesario colocar los drenes con una pendiente adecuada de tal forma que el extremo profundo no esté sobre el nivel de agua sino por debajo de este.

Igualmente es preciso colocar los tubos con una pendiente de por lo menos 5% puesto que en el proceso de instalación es muy frecuente que las perforaciones no lleven la pendiente exacta propuesta en el diseño sino que esta sea menor.

En caso de ser un dren de gran longitud puede ocurrir que este se flecte y la pendiente se reduzca considerablemente, o que llegue a tener una pendiente negativa, lo que obstruiría el paso de agua y permitiría la sedimentación de finos

o de material infiltrado, creando un taponamiento que finalmente resultaría en el nulo funcionamiento del dren.

La pérdida de altura por deformación de la tubería es de aproximadamente el 5% en tramos de 50 metros de longitud ^[6]. Esta pérdida depende también de las condiciones topográficas y es un porcentaje estimado que es muy variable según sea el caso. La pendiente se escoge teniendo en cuenta como parámetro principal la longitud del dren ^[7].

Tabla 1. Pendiente mínima del subdren

Longitud	Pendiente
Corto (0m – 15m)	> 5%
Mediano (15m – 40m)	>10%
Largo (> 40m)	>16%

2.2.3 Ubicación

Los propósitos principales de instalar subdrenes horizontales en un talud son: la disminución del nivel freático y la reducción de presión de poros ya sea como medida de mitigación ante posibles fallas por eventos de remoción en masa o para mejorar el factor de seguridad de un talud existente.

Los subdrenes se pueden instalar en todo lo ancho y alto del talud, dependiendo del lugar en que se ubiquen están más enfocados a cumplir un papel diferente en el sistema de drenaje general. Los drenes que se ubican en la parte alta cerca de la corona del talud sirven para captar tanto agua de nivel freático presente como aguas lluvias infiltradas por la superficie del talud, también se

pueden instalar solo como medida de seguridad durante el proceso de contención del talud, los cuales captan el agua presente dentro del talud hasta el punto en que disminuyen el nivel freático y dejan de drenar. Sin embargo, estos drenes quedan instalados por seguridad debido a que la hidrología de una zona es muy variable con el tiempo, nuevas corrientes de agua pueden aparecer y poner en funcionamiento de nuevo estos drenes instalados previamente. Aquellos que se encuentran ubicados desde la zona media baja hasta llegar al pie del talud están más enfocados a drenar el agua del nivel freático y su afectación con eventos de precipitación es despreciable siempre y cuando existan otros subdrenes instalados a mayor altura. Estos últimos drenes generalmente son los que a futuro funcionan continuamente y que en zonas aledañas a pequeñas cañadas drenan constantemente.

Es más efectivo colocar pocos subdrenes en los lugares apropiados guiándose de la hidrología y estudio de suelos del lugar que colocar más drenes en lugares aleatorios del talud ^[8].

Los subdrenes horizontales ubicados lo más bajo posible sin salirse de la zona saturada son los que mayor captación de agua van a tener, entre mayor sea la cabeza de agua sobre el dren mayor será su efectividad y no se comparan en capacidad con los ubicados en la parte más alta ^[9], no se deben instalar drenes por debajo de la cota más baja del nivel freático arrojado por el estudio hidrológico y de suelos dado que en este punto el dren no va a drenar nada.

2.2.4 Separación

Existen diferentes metodologías para el diseño del espaciamiento entre los subdrenes horizontales. La mayoría de estos lo hacen por medio de modelos de

flujo subterráneo, sin embargo el suelo generalmente es heterogéneo y por lo tanto difícil de modelar con precisión.

Algunas de las teorías de mayor aceptación son:

- Fórmula de Hooghoudt:

$$L = \sqrt{\frac{8 \times K_2 \times h \times d}{R} + \frac{4 \times K_1 \times h^2}{R}}$$

En donde:

L= Espaciamiento entre drenes [m]

K1= Conductividad hidráulica sobre el nivel del dren [m/día]

K2= Conductividad hidráulica sobre el nivel del dren [m/día]

h= Carga hidráulica en el punto medio entre drenes [m]

d= Espesor del estrato equivalente de Hooghoudt [m]

R= Cantidad de agua que hay que drenar [m/día]

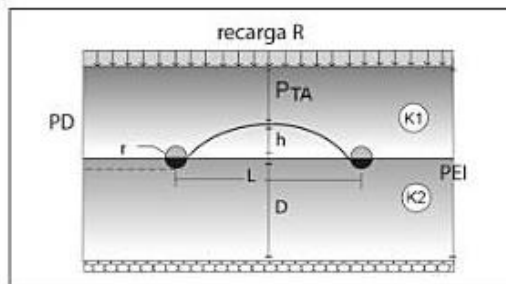


Figura 3. Parámetros de la fórmula de Hooghoudt ^[10]

La teoría está formulada para dos estratos, sin embargo se puede realizar para un solo estrato usando un único coeficiente de conductividad hidráulica. Se debe tener en cuenta que la metodología parte de la suposición de un flujo permanente, horizontal y radial.

- Fórmula de Maasland:

$$L = \sqrt{\frac{h \times D \times M}{0.125 \times i \times (H + D)}}$$

En donde:

L= Espaciamiento entre drenes [m]

h= Sobre nivel freático permisible con relación al dren [m]

D= Altura promedio desde el suelo impermeable hasta la boca del dren [m]

M= Longitud tipo del dren [m]

i= Gradiente de la línea de agua antes de llegar a la zona del dren

H= Altura media del dren hasta la tabla de agua [m] ^[11].

Esta ecuación fue desarrollada para modelar el flujo de aguas lluvias teniendo en cuenta previamente la rata de infiltración y el coeficiente de permeabilidad del suelo, por lo que es preferible tener en cuenta las condiciones hidrológicas de la zona.

- Fórmula de Kozeny:

$$S = 2 \times h \times \sqrt{\frac{K}{q}}$$

En donde:

S= Separación entre drenes

h= Altura del nivel freático por encima del nivel de los drenes

K= Permeabilidad de la formación

q= Caudal unitario del subdren

Esta es otra de las metodologías para calcular el espaciamiento entre drenes, aunque la aplicabilidad de esta fórmula no es muy confiable ^[5].

2.2.5 Método observacional

Generalmente para determinar el número, longitud y espaciamiento de los subdrenes se toma únicamente el criterio del geotecnista, basándose en los estudios previos geológicos, geotécnicos e hidrológicos conjunto a la experiencia y conocimiento del terreno contiguo a la zona a intervenir.

El uso de este método va muy ligado al monitoreo constante del talud por medio de piezómetros instalados para cuantificar el efecto del sistema de subdrenaje a medida que se va construyendo, y de esta manera poder optimizar el diseño y determinar en qué momento no se necesitan instalar más drenes, economizando así el proyecto.

El número de piezómetros instalados debe ser suficiente para obtener un diagnóstico confiable, se recomienda un número mínimo de 4 piezómetros para un deslizamiento típico ^[12].

El criterio para determinar la primera fila de drenes horizontales se da de manera heurística basado en el análisis e interpretación de las características geotécnicas del talud o deslizamiento.



Figura 4. Separación de subdrenes horizontales en muro de contención.

Se recomienda utilizar como un primer parámetro para el espaciamiento la fórmula ^[5]:

$$S_1 = \frac{L_d}{2}$$

En donde:

S₁= Separación entre drenes de la primera etapa [m].

L_d= Longitud del dren a instalar [m].

En esta primera etapa se acostumbra a colocar un tercio de la cantidad de drenes proyectados de acuerdo con el presupuesto.

Luego de instalada la primera fila de subdrenes y con las lecturas de los piezómetros se determina si se necesita una segunda fase de instalación para alcanzar la disminución de nivel freático deseada al igual que la disminución de la presión de poros. Este proceso requiere de la inspección de un ingeniero especialista durante todo su proceso de construcción que conjuntamente determine la cantidad de drenes que se necesitan poner en cada etapa, en este caso se procede a instalar una segunda fila de subdrenes ahora espaciados según la fórmula ^[5]:

$$S_2 = \frac{S_1}{2}$$

En donde:

S₂= Separación de los drenes de la segunda etapa [m].

La experiencia muestra que generalmente se necesita un mayor número de subdrenes que los que se proponen en los diseños iniciales debido a que durante su construcción se observa que en algunas zonas los drenes captan muy poca o nula cantidad de agua y que en otras zonas el caudal de drenaje es mucho mayor. Esto se debe principalmente a la heterogeneidad del suelo.

3. PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN

El control de calidad durante el proceso constructivo es un componente decisivo para garantizar el correcto funcionamiento del diseño del sistema de subdrenaje previamente realizado para evitar problemas que puedan generar daños y costos no previstos en actividades que pueden ir desde reparaciones pequeñas hasta el remplazo total del subdren.

El rendimiento en la instalación depende del equipo empleado, de los diferentes estratos y tipos de suelo presentes en el talud, los cuales definen el rendimiento de las perforaciones que pueden estar en un rango de entre 10 metros/día hasta 50 metros/día ^[5]. Existen diferentes equipos para realizar las perforaciones, la selección del más óptimo depende de factores como: ubicación del proyecto, accesibilidad a la zona de trabajo, geometría del talud, pendiente, tipo de suelo y recursos económicos.

3.1 Perforación

Ya que comúnmente los subdrenes horizontales se instalan en suelos relativamente blandos, se recomienda utilizar una tubería de revestimiento en cualquiera de los métodos mencionados a continuación para evitar que las paredes internas de la perforación colapsen provocando obstrucciones a lo largo de la perforación y dificultades al momento de instalar el sistema de drenaje seleccionado en el diseño.

Rotopercusión con aire a presión: Es el método más eficiente debido a la capacidad de percusión, que le permite perforar rocas que se encuentren en el camino y la rotación que ofrece un corte y avance constante dentro del suelo. Es

el equipo ideal para subdrenes profundos pero su uso es limitado debido a que necesita grandes compresores de aire.

No es eficiente en suelos arcillosos debido a que se forman masas que obstruyen el paso del aire, el equipo tiene un elevado costo de operación y el equipo rotopercutor está montado sobre orugas metálicas, lo que dificulta la entrada a lugares montañosos donde se debe realizar la perforación.



Figura 5. *Equipo de perforación por rotopercusión con aire a presión.*

La altura efectiva de perforación desde el suelo de apoyo de las orugas está relacionado con la longitud del brazo de perforación según la referencia del equipo. Para alturas mayores a 5 metros aproximadamente se puede utilizar el mismo equipo de rotopercusión apoyado en una plataforma anclada a un punto del talud por medio de cables de acero que le permite descender y alcanzar cualquier altura para realizar la perforación.

Rotación hidráulica: Es el mismo equipo usado en perforaciones verticales para hacer muestreo de suelos pero con una variante que le permite ubicar el equipo horizontalmente. Utiliza una inyección de agua constante a una rata de 5

a 40 galones por minuto para enfriar la punta del tricono comúnmente que se encarga de la perforación, la cual está sometida a una alta fricción con el suelo.

Es fácil de transportar porque puede ir montado sobre patines o llantas neumáticas lo que lo convierte en el sistema más usado en el país debido a su disponibilidad, bajo costo y fácil transporte a través de la montañosa topografía colombiana.

Rotación simple (Auger): Este equipo tiene una aplicación limitada a subdrenes poco profundos, suelos blandos y cenizas volcánicas.

Solo percusión: No es el equipo más utilizado para la perforación de subdrenes debido a que no garantiza una pendiente constante durante la perforación al momento de encontrarse con rocas duras que debe romper con varios golpes fuertes, los cuales desnivelan la posición inicial del equipo. Es más utilizado en perforaciones verticales para muestreos o para la instalación de drenajes verticales en taludes.

3.2 Control del alineamiento y posición del subdren

Los subdrenes horizontales extraen el agua subterránea de los taludes por medio de gravedad, por esto se deben instalar con pendiente baja hacia la parte externa para que el agua recolectada pueda ser evacuada fácilmente. Para que esto se cumpla es necesario tener en cuenta que el equipo con el cual se esté realizando la perforación esté debidamente calibrado y pueda ajustarse al ángulo requerido según el diseño del subdren.

El peso propio del subdren hace que entre más grande sea su longitud mayor sea la tendencia a doblarse, formando valles y crestas que alteran el

funcionamiento óptimo del drenaje puesto que en estos puntos críticos el agua va a presentar resistencia al flujo libre y se generarán posibles estancamientos tanto de la misma agua captada como de sólidos y finos que logren atravesar el geotextil o material filtrante.

Drenes que tengan longitudes de hasta 60 metros pueden quedar instalados 2 metros por debajo de su línea de pendiente teórica e inclusive podrían quedar con pendiente negativa por desviaciones que puedan surgir durante la perforación como obstáculos, bloques o cantos de roca ^[5].

Existen diversos equipos de control en la industria petrolera con sensores y ondas que arrojan la ubicación e inclinación de manera muy precisa, pero en el campo de la estabilidad de taludes no se requiere un nivel de precisión tan alto para que los subdrenes trabajen de manera adecuada. Uno de los equipos más utilizados es el instrumento medidor de direcciones, que es una combinación de inclinómetro y una brújula que permiten realizar un levantamiento interno de la perforación que se está realizando ^[5].

3.3 Instalación del subdren

Luego de tener perforado el talud al cual se le va a instalar el sistema de drenaje se deben tener los subdrenes horizontales listos para su proceso de colocación. Estos tubos son generalmente hechos en PVC y fabricados bajo estándares de calidad que garantizan sus dimensiones y correcto funcionamiento, teniendo como guía la norma estadounidense ASTM D1785 “Standard Specifications for polyvinyl chloride (PVC) drainage pipe” ^[13], relacionada a las especificaciones estándar para tubos PVC o con la norma AASHTO M 278-02 “Class PS46 polyvinyl chloride (PVC) pipe” ^[14].

La tubería de drenaje debe tener ranuras u orificios que pueden ser realizados en la fábrica durante su proceso constructivo o en obra manualmente haciendo uso de una cortadora o un taladro. Las ranuras deben estar en sentido transversal al dren y para el caso de los orificios generalmente son de 1.5 a 5 milímetros de diámetro con una densidad de 15 a 30 agujeros por metro. La ubicación de estas ranuras u orificios no tiene mucha importancia aunque la mayoría de especificaciones recomiendan que el dren tenga ranuras únicamente en la mitad superior, para evitar la pérdida del agua captada por la parte de abajo del dren.

Las ranuras y perforaciones del subdren pueden actuar como filtro evitando la necesidad de colocar geotextil siempre y cuando se hagan los cortes y/o perforaciones teniendo en cuenta una ecuación desarrollada por el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos, la cual se rige por la granulometría del suelo donde se vaya a instalar el dren.

$$d_{85} > 1.2 \times \text{ancho de la ranura}$$



Figura 6. Drenes en PVC ranurados en obra ^[5]

En varios casos colocar geotextil genera más problemas de taponamiento que no colocarlo. El geotextil cuenta con fibras muy densas que actúan muy bien como filtro, pero a largo plazo las partículas de finos se van acumulando dentro de las fibras e impiden el paso del agua a través de las ranuras del dren.

En la práctica, al instalar subdrenes de gran magnitud, la torsión que se genera hace que este gire sobre su eje ^[5], efecto que es casi imposible de controlar y corregir durante su instalación, pues la alta fricción que genera toda la superficie del tubo en contacto con el suelo hace que si se intenta girar el tubo manualmente para corregir la posición pueda generar que este se fisure, se doble o se parta.

En obra se puede mitigar el efecto torsional y de fricción del dren con las paredes del suelo de dos maneras: la primera es hacer una camisa metálica recuperable con un diámetro de aproximadamente media pulgada mayor al diámetro de la broca de perforación para que la camisa evite el colapso interno del suelo, la segunda opción es perforar con una broca de diámetro media pulgada mayor al diámetro externo del tubo para que al momento de ser colocado el dren se pueda instalar manualmente.

3.4 Tipos de geotextil y materiales filtrantes

Los geotextiles son telas permeables, filtrantes, constituidas con fibras sintéticas, especialmente polipropileno, poliéster, nylon y polietileno sujetado por alambre anticorrosivo en todo el perímetro del dren para evitar que se suelte durante el proceso de instalación y para garantizar que recubra toda la superficie y así evitar zonas descubiertas que quedan propensas a la entrada de material fino. Los diferentes geotextiles del mercado se clasifican en dos grandes grupos: los tejidos y los no tejidos.

Los geotextiles más usados como materiales filtrantes para subdrenes de penetración son los no tejidos, los cuales se deben diferenciar si son punzonados por agujas, ligados por calor (termosoldados) y ligados mediante el uso de químicos o resinas.

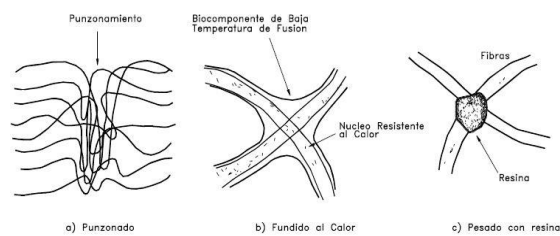


Figura 7. Diagrama esquemático de varios tipos de unión de fibras en geotextiles no tejidos ^[5]

La durabilidad de los geotextiles depende en gran parte de dos factores: La composición de sus fibras poliméricas y las resinas a los ataques ambientales. Se conocen en Colombia geotextiles no tejidos instalados hace más de 20 años trabajando de forma eficiente. Los principales problemas de las telas filtrantes corresponden a su baja resistencia a la exposición a los rayos solares los cuales la descomponen a altas temperaturas y a los agente químicos ^[15].

4. MANTENIMIENTO

El mantenimiento comúnmente no se tiene en cuenta en los proyectos aunque este es un elemento clave para prologar la vida útil de los subdrenes horizontales. Sin embargo es de gran importancia planificar previamente desde la fase de diseño el tipo de mantenimiento necesario para los subdrenes dependiendo de la longitud de los drenes, el tipo de geotextil o material filtrante que se va a usar, si se van hacer perforaciones o ranuras, se debe conocer el ancho y diámetro de estas perforaciones para determinar si es realmente necesario el uso de geotextil o si las ranuras pueden actuar como filtro y captador de agua al mismo tiempo.

Las revisiones periódicas se pueden realizar por medio de inspección visual por una persona calificada, ya que fácilmente se pueden identificar taponamientos por sedimentación o invasión de material vegetal dentro del dren a simple vista.

Los drenes se pueden ver afectados hasta tal punto que se debe cambiar por completo el dren volviendo a realizar la perforación y colocando un dren nuevo. Para mitigar los efectos del material vegetal que se introduce en los drenes, los cuales se presentan con mayor intensidad cerca a la cara del talud debido a raíces de árboles y arbustos que invaden la cavidad interna y rompen las paredes del dren. Para evitar este fenómeno se recomienda embeber el primer tramo de aproximadamente 3 metros del subdren en concreto para crear una capa protectora.



Figura 8. *Sedimentación de finos dentro del subdren horizontal.*

El sistema de mantenimiento consiste en la inyección de agua a presión para remover el material sedimentado y cortadoras con brazo extensivo para raíces o material vegetal presente. A este proceso se le conoce como “desarrollo del subdren” [5].

El tiempo entre mantenimientos que se le deben realizar a los drenes depende del tipo de suelo en el que fueron instalados. Se recomienda realizar mantenimientos de los drenes cada cinco a ocho años, donde existan materiales finos que se puedan sedimentar o raíces que puedan crecer dentro del dren. No obstante, se han reportado casos en los cuales el crecimiento de raíces puede requerir el cambio de los drenes cada dos años. Algunas veces, la tubería se rompe o se deforma y es necesario rehacer por completo los drenes [16].

Otro método de mantenimiento sugerido por Forrester dice que se deben limpiar los subdrenes cada tres meses desde el primer día de instalación, luego al año y posteriormente a los 4 años en forma sucesiva cada 4 años ^[17].

5. SISTEMAS DE SUBDRENAJE HORIZONTAL INSTALADOS ACTUALMENTE

El diseño, materiales y equipos a usar para la realización de un sistema de subdrenes de penetración dependen de factores técnicos, económicos y de accesibilidad del proyecto.

En Colombia no se ha desarrollado una norma técnica puntual y estricta que rijan los parámetros para llevar a cabo una metodología de estabilización o de control de aguas subterráneas en taludes por medio de subdrenes horizontales. Sin embargo, existe una especificación del INVIAS para drenes horizontales en taludes ^[18] menores a 10 metros y otra para drenes mayores a 10 metros de longitud con el fin de dejar unos criterios mínimos en el uso de este método de estabilización en todos los proyectos viales a nivel nacional que requieran soluciones de control de aguas, generalmente en proyectos ubicados a media ladera en zonas de geología inestable.

El INVIAS sugiere el uso de PVC para las tuberías de drenaje, geotextil como material filtrante y un equipo ligero rotatorio o a percusión para realizar las perforaciones. No obstante, el geotecnista encargado del proyecto y el contratista tendrán la opción de seleccionar los materiales y equipos que mejor se adecuen al presupuesto y a las necesidades del proyecto siempre y cuando se garantice la efectividad del sistema.

Generalmente, para llevar a cabo el sistema de drenaje con subdrenes de penetración se hace usando el método observacional. De esta forma el

geotecnista encargado, con los resultados del estudio de suelos realizado previamente decide la cantidad, longitud, pendiente y distribución de los drenes requeridos. Una vez instalados, se observa el comportamiento del sistema de drenaje y se instalan tantos subdrenes como sea necesario ubicados en los puntos más críticos de acumulación de agua subterránea.

Para proyectos de gran envergadura se lleva un mejor control técnico en todas las actividades a realizar. Para métodos de estabilización con subdrenes se hace un análisis de los mejores parámetros para que el sistema de subdrenaje funcione óptimamente y tenga un buen comportamiento a largo plazo.

En Santander se desarrolla actualmente un amplio proyecto que comprende la estabilización de taludes de gran altura y pendiente, y que además presenta suelos poco competentes, ubicado en la zona de la vía Bucaramanga – Cúcuta, en donde se lleva a cabo el plan de la doble calzada.



Figura 9. Estabilización de talud por medio de anclajes pasivos y subdrenes horizontales vía Bucaramanga-Cúcuta Km 15

En este proyecto se realizaron los drenes con el criterio del geotecnista encargado sin usar un diseño específico para el cálculo de la separación de estos. Se tomó como referencia la especificación del INVIAS, usando drenes de PVC de 18, 24 y 30 metros de longitud según fuera la necesidad del caso, con ranuras diagonales realizadas en obra, usando geotextil como material filtrante y ubicados todos con 15° de pendiente utilizando la beretta como equipo de perforación.

La mayoría de estos subdrenes no ha arrojado agua, sin embargo ha aliviado la presión de poros en los taludes. Algunos solo se realizaron como método de control de aguas mientras el proceso constructivo. Otros drenan agua solo en ciertos momentos y algunos lo hacen constantemente, que son por lo general, aquellos que están ubicados en el pie del talud.



Figura 10. *Subdren horizontal ubicado al pie del talud con flujo constante de agua vía Bucaramanga-Cúcuta Km 9*

Casos contrarios en zonas aledañas a la meseta de Bucaramanga se encuentran ubicados en los cerros orientales, en donde existe igualmente la

necesidad de usar subdrenes de penetración, pero que son proyectos de menor escala que no tienen muy en cuenta los factores de diseño, riesgo o estudios de suelo, y que tampoco se les hace algún tipo de mantenimiento.

En ciertos lugares de esta zona se encuentran subdrenes con sedimentos y desechos que no realizan ninguna función de drenaje, a pesar de encontrarse en una zona abrupta que ha presentado fallas por deslizamiento en épocas invernales.



Figura 11. *Subdren de penetración con sedimentos y desechos acumulados*

Esta misma situación se presenta en diversos proyectos a nivel nacional puesto que se hace la instalación de subdrenes en muchos casos sin estudios previos, sin un diseño realizado por un especialista en el área y sin ningún tipo de mantenimiento, razones que crean un riesgo de deslizamiento.

6. DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA MEDICIÓN DEL DRENAJE DE SUBDRENES

Con el fin de comparar la capacidad de drenaje de los subdrenes de penetración se presenta una propuesta de modelo de laboratorio con especificaciones técnicas determinadas y dejando parámetros variables de tal forma que mediante el cambio o la variación de una de estas se realice una comparación en la medición del caudal drenado.

El banco de pruebas se plantea como dos depósitos unidos a escala con la masa de suelo a probar en estos, y en cada uno de ellos un subdren.

El objetivo principal es determinar un caudal y la cantidad total de agua drenada en cada uno variando los factores de humedad, tipo de suelo, subdren, perforaciones o ranuras del subdren, geotextil, pendiente y diámetro del subdren.

6.1 Especificaciones para la realización del ensayo

Depósito de prueba: Se construirá un depósito cúbico en policarbonato transparente de un centímetro de espesor con una lámina del mismo material que fragmente el cubo en dos secciones de igual tamaño. Cada fragmento del depósito tendrá 150 centímetros de ancho, 150 centímetros de longitud y 80 centímetros de altura. Ambos depósitos para realizar las pruebas tendrán un agujero en la parte inferior de la cara de menor área de 4.5" para introducir el subdren ubicados a una altura de 10 centímetros desde el borde inferior del cubo y contarán con dos discos ajustables de 5" de diámetro externo y diámetros internos de 2.5" y 3.5" del mismo material para permitir la variación del diámetro del subdren para cada uno de los depósitos. Las medidas de estos diámetros se toman con el fin de dejar un margen de 0,5" para introducir los drenes teniendo

en cuenta su diámetro exterior y el grosor del geotextil, en caso de usarlo. El cubo tendrá también unas bases de apoyo para estos discos, además de unas bases de apoyo en la parte interna de las caras paralelas a las caras de los orificios para sostener el subdren en la parte posterior permitiendo variar la pendiente del mismo entre 0% y 20% aumentando consecutivamente 5% en cada apoyo. En cada fragmento del depósito se realizará un agujero de 1" de diámetro para efectos de limpieza de los cubos de policarbonato que se sellarán con un tapón al momento de realizar las pruebas. Los depósitos del cubo contarán con tapas o placas superiores con orificios de 0,5" de diámetro ubicadas en forma de cuadrícula cada 15 centímetros con el fin de distribuir de manera uniforme el agua a infiltrar.

Subdrenes: El modelo de laboratorio se diseña con el fin de realizar la prueba y comparar diferentes tipos de subdrenes. Estos deberán ser de diámetros de 2", 3" o 4", independientemente de la composición de su material, de la textura o del tipo de ranuras o perforaciones que este tenga. El subdren se puede poner a prueba además usando geotextil no tejido como material filtrante, u omitiendo cualquier elemento que actúe como filtrante de finos. La longitud mínima de estos drenes será la longitud que hay desde el orificio hasta el apoyo del extremo posterior que genere una pendiente del 20% más 10 centímetros de distancia libre sin ranuras o perforaciones de tal manera que este sobresalga del cubo de policarbonato y se capte el agua drenada en un recipiente externo.

$$L_{min} \geq L_{20\%} + 10 \text{ cm}$$

Suelo: El material de suelo a usar puede ser escogido para prueba o seleccionado de un proyecto específico para ensayar, siendo esta una muestra de suelo natural que no haya sido usada para otro ensayo con anterioridad. La masa será de 1.35 metros cúbicos de volumen aproximadamente y se tendrá

que compactar bajo los mismos parámetros del ensayo de Proctor modificado (Norma INV E-142-07), calculando el número de golpes como una relación entre el espesor en la que se compacta para el ensayo Proctor y el que tenga la masa de suelo en el depósito. Para que la masa de suelo del ensayo tenga condiciones muy similares a las de campo, es importante realizar una buena compactación, de lo contrario los resultados tendrán una amplia discrepancia.

Irrigación de agua: El agua se verterá por un sistema de riego de forma distribuida mediante tanques elevados que por medio de dos conducciones irriguen agua sobre las tapas superiores del cubo en ambos depósitos de manera que caiga uniformemente sobre las masas de suelo. La cantidad de agua irrigada debe ser un dato conocido con el fin de obtener un resultado de comparación entre la cantidad de agua vertida y la cantidad drenada. Al momento de iniciar el ensayo se aforarán los dos caudales de salida por los subdrenes, datos importantes de comparación. Se irrigará la cantidad de agua necesaria para saturar completamente el suelo o de forma controlada para efectos de ensayar los subdrenes para episodios de lluvias, según sea el objetivo propuesto al inicio del ensayo. También se determinará la altura del nivel de agua inicial y final como otro factor de comparación.

Equipos y herramientas: Para el desarrollo del ensayo, además de todos los elementos principales ya mencionados, es necesario contar con herramientas adicionales que faciliten la realización de la prueba. Entre estos se encuentran: flexómetro, martillo compactador, recipientes medidores, cronómetro, pala de mano pequeña.

6.2 Procedimiento de la prueba de laboratorio

El modelo de pruebas de subdrenes horizontales debe ser colocado sobre una base completamente horizontal que garantice una mejor precisión del ensayo. El depósito en policarbonato debe ser construido y sellado correctamente con material sellante en sus aristas para que este sea completamente hermético, a excepción de la tapa superior perforada que será movable. Una vez terminada la etapa de construcción se procede a:

1. Se seleccionan los diámetros de los drenes a probar y los discos de ajuste que les correspondan a cada uno según sea el diámetro escogido.
2. Se define el tipo de material filtrante en caso de decidir usarlo y se ajusta una capa de este alrededor de la parte exterior del dren.
3. Se ubican los drenes con las pendientes deseadas en los apoyos situados en la cara posterior del depósito.
4. Se instalan los empaques sellantes entre el orificio y el dren para bloquear posibles filtraciones en el espacio libre del agujero del disco ajustable.
5. Se colocan las masas de suelo a probar en cada uno de los depósitos distribuidas en 5 capas de igual espesor (12 cm), compactando cada una con el martillo compactador.
6. Se vierte la cantidad de agua deseada de forma uniforme paulatinamente.
7. Se toman las medidas de las cantidades de agua drenadas y el tiempo que tardan en ser evacuadas por los drenes para realizar el cálculo de los caudales.
8. Se miden los niveles iniciales y finales de agua en los depósitos con el fin de tener registro de la disminución de nivel freático.
9. Se genera un informe de comparación de datos cuantitativos y cualitativos entre ambos depósitos con las variaciones hechas a cada uno dando como resultado los factores que hacen más óptimo un sistema de subdrenes horizontales.

Anexo al presente artículo se adjuntan dos planos que contienen los detalles del modelo de pruebas junto al procedimiento gráfico del mismo.

CONCLUSIONES

- Se encontró que el factor principal que se debe tener en cuenta para la ubicación del sistema de drenaje y para que este funcione óptimamente es que los drenes deben estar instalados en la parte más baja del talud teniendo en cuenta los estudios geotécnicos y del nivel freático para que los drenes no queden ubicados debajo de posibles acuíferos suspendidos debido a que en este caso no estarían cumpliendo ninguna función de drenaje.
- Se logró determinar que generalmente los subdrenes que quedan ubicados en la parte alta del talud al final de la construcción no van a cumplir ninguna función, a excepción de que se presente una alta infiltración en un momento determinado. Estos drenes usualmente se colocan solo para que actúen mientras se realizan los trabajos de estabilización disminuyendo paulatinamente el nivel freático.
- En campo, generalmente no se usa ninguna ecuación de diseño para realizar el cálculo de la separación entre subdrenes, simplemente se usa el método observacional para la ubicación de estos, inclusive en algunos casos no se tiene en cuenta la opinión de un experto. Tampoco es usual encontrar sistemas de subdrenaje horizontal a los que se les realice el mantenimiento periódico debido luego de su construcción con el fin de prolongar su vida útil.
- De acuerdo a la prueba de laboratorio propuesta se propone la posibilidad de definir qué factores mejoran la capacidad de drenaje puesto que en este se presentan diversas variables que afectan el funcionamiento simulando las condiciones de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] II CONGRESO NACIONAL DEL CLIMA. (Agosto, 2011: Bogotá, Colombia). Diagnostico situación de riesgos hidrometeorológicos en Colombia y avances en la zonificación de riesgos. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales – IDEAM. 2011. 54 p.
- [2] CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL. Importancia estratégica del componente de infraestructura de conectividad del contrato plan de la nación con el departamento de Santander. Bogotá D.C. 2013.
- [3] CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA – CDMB. Agenda ambiental del municipio de Bucaramanga. Junio, 2002.
- [4] SUÁREZ, Jaime. Control de aguas superficiales y subterráneas. En: Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga, Colombia: Ingeniería de suelos Ltda, 1998.
- [5] SUÁREZ, Jaime. Capítulo 2: Obras de drenaje y subdrenaje. En: Deslizamientos tomo II: Técnicas de remediación. Bucaramanga, Colombia: Ediciones UIS, 2009.
- [6] V CONGRESO NACIONAL DE GEOLOGÍA. (1989: Bucaramanga, Colombia). Visita técnica a las obras para el control de la erosión y deslizamientos en la meseta de Bucaramanga. Criterios empleados en el diseño de subdrenes de penetración. Ingeniería de suelos Ltda. 1989. 16 p.

[7] WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Design guidelines for horizontal drains used for slope stabilization. Washington D. C.: WSDOT, 2013. 390 p.

[8] Martin, R.P., Siu, K.L., Premchitt, J. Review of the performance of horizontal drains in Hong Kong. Noviembre, 1995. 108 p.

[9] H. Rahardjo, K.J. Hritzuka, E.C. Leongb, R.B. Rezauc. Effectiveness of horizontal drains for slope stability. Engineering geology. Agosto, 2002.

[10] VILLÓN BÉJAR, Máximo. Drenaje. Cartago, Costa Rica: Editorial tecnológica de Costa Rica, 2007. 524 p.

[11] GLOVER, Robert E. Transient ground water hydraulics. 1974. Fort Collins: Colorado State University.

[12] CORNFORTH, Derek H., WILEY, Jhon and Sons. Landslides in practice, investigations, analysis and remedial options in soils. American Society of Civil Engineers, 2005.

[13] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Standard specifications for polyvinyl chloride (PVC) drainage pipe. Pennsylvania, USA. 2012.

[14] AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS - AASHTO. Class PS46 polyvinyl chloride (PVC) pipe. Washington D.C., USA.

[15] SUÁREZ, Jaime. Capítulo 8: Conformación de la superficie del talud. En: Deslizamientos tomo II: Técnicas de remediación. Bucaramanga, Colombia: Ediciones UIS, 2009.

[16] Holtz R.D., Schuster R.L. Stabilization of soil slopes. Landslides: investigation and mitigation. National Research Council, Washington, DC, Transportation Research Board Special Report 247.

[17] FORRESTER, Kevin. Subsurface Drainage for Slope Stabilization, ASCE, Press. Virginia, USA. 1927. American Society of Civil Engineers, 2001.

[18] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS - INVIAS. Especificaciones técnicas drenes horizontales en taludes.

FUTURO

A futuro se planea darle continuidad al proyecto, realizando la prueba de laboratorio propuesta, estando ésta sujeta a cambios necesarios por dificultades que surjan al momento de desarrollar la práctica en el laboratorio, pero siguiendo los parámetros principales expuestos en el presente documento.

Se propone además comparar los resultados de laboratorio con resultados de modelos de software analizando así los dos comportamientos y sus variaciones.