

**DESARROLLO DE UN MANUAL EN UNA APLICACIÓN ANDROID PARA EL
ANÁLISIS CON EL SOFTWARE SLOPE/W EN LA EVALUACIÓN DE
DIFERENTES SISTEMAS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES**

JOSÉ DARIO RODRIGUEZ JEREZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FÍSICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2016

**DESARROLLO DE UN MANUAL EN UNA APLICACIÓN ANDROID PARA EL
ANÁLISIS CON EL SOFTWARE SLOPE/W EN LA EVALUACIÓN DE
DIFERENTES SISTEMAS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES**

JOSÉ DARIO RODRIGUEZ JEREZ

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil

Directora

HEBENLY CELIS LEGUIZAMO

Magister en Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE FÍSICO MECANICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2016

AGRADECIMIENTOS

Toda la gratitud para mi familia por todo el esfuerzo, apoyo y amor entregado para mi bienestar y crecimiento.

Así mismo a la Ingeniera Hebenly Celis Leguizamo por su calidad humana, colaboración y dedicación con este proyecto.

También a la empresa Geotécnoología S.A.S., Al Ing. Jaime Suarez y la Sra. Fanny Ardila, por su apoyo y la oportunidad de mejorar como persona y como profesional.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. JUSTIFICACIÓN.....	15
2. GENERALIDADES	16
3. METODOS DE ANALISIS EN SLOPE/W	20
4. PARAMETROS DE ENTRADA DEL PROGRAMA	23
4.1. GEOMETRÍA Y MATERIALES.	23
4.2 FUERZAS ADICIONALES Y PRESIÓN DE POROS	25
4.3. SUPERFICIES DE FALLA.	26
5. MODELADO DEL REFORZAMIENTO DE TALUDES	29
5.1. ANCLAJES ACTIVOS (ANCHOR).....	29
5.2. ANCLAJES PASIVOS O CLAVOS (NAILS).....	33
5.3. GEOTEXILES Y GEOMALLAS (FABRIC)	35
5.4. MICROPILOTES (PILE).....	38
6. DATOS DE SALIDA DEL PROGRAMA	40
6.1. INFORMACIÓN DE OBJETO	40
6.2. VISTA DE CONTORNOS	40
6.3. INFORMACIÓN DE DOVELAS.....	42
6.4. REPORTE.....	42
6.5. DESARROLLO DE LA APLICACION	44

7. CONCLUSIONES	46
BIBLIOGRAFIAS.....	47
ANEXOS	49

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tabla H.5.2-1. Valores de K_{st}/a_{max} mínimos para análisis seudo estático de taludes – NSR10.....	18
Tabla 2. Tipos de material que se pueden modelar en Slope/W.	24

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de las fuerzas actuantes sobre la dovela para el análisis por equilibrio limite.	20
Figura 2. Factor de seguridad vs Lambda	22
Figura 3. Superficie de falla tipo.....	27
Figura 4. Interfaz de entrada de datos para reforzamiento con anclajes.	30
Figura 5. Interfaz de entrada de datos para reforzamiento con clavos.	34
Figura 6. Interfaz de entrada de datos para reforzamiento con Geotextiles.	35
Figura 7. Interfaz de entrada de datos para reforzamiento con micropilotes.	38
Figura 8. Vista básica del Factor de seguridad y la superficie de falla.....	41
Figura 9. Vista de múltiples superficies de falla y mapa de seguridad SLOPE/W..	41
Figura 10. Vista de información de dovelas.	42
Figura 11. Vista del desarrollo visual de la aplicación.....	44
Figura 12. Vista de la programación de la aplicación.....	44

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Instrucciones de descarga Aplicación Guía SLOPE W	49

RESUMEN

TÍTULO: DESARROLLO DE UN MANUAL EN UNA APLICACIÓN ANDROID PARA EL ANÁLISIS CON EL SOFTWARE SLOPE/W EN LA EVALUACIÓN DE DIFERENTES SISTEMAS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES*

AUTOR: JOSÉ DARIO RODRIGUEZ JEREZ**

PALABRAS CLAVE: Talud, estabilidad, modelado, reforzamiento, factor de seguridad.

La estabilización de taludes ha surgido como una respuesta ingenieril a desafíos de la construcción urbana, tales como la excavación segura de sótanos para edificios, la conformación de banquetas para vías y la prevención de deslizamientos en laderas. Estos desafíos son muy comunes y requieren soluciones efectivas y especializadas.

El cálculo del factor de seguridad que evalúa y califica la estabilidad del talud, se convierte entonces en una herramienta del proceso de diseño de este tipo de obras, por lo tanto, conocer el efecto que sobre los resultados generan las variables que actúan en este proceso, nos ofrece opciones para escoger la mejor solución a los problemas ya mencionados, atendiendo así a criterios técnicos y con viabilidad económica.

Este proyecto plantea el uso de una aplicación ejecutable en el sistema operativo Android para exponer las variables que impactan el resultado de un análisis de estabilidad mediante el cálculo de un factor de seguridad con el uso de un software, para modelar soluciones efectivas que cumplan con la totalidad de los requerimientos contenidos en las normas nacionales y locales. Al mismo tiempo que hace uso de las nuevas tecnologías y nos permite mayor propagación y accesibilidad a la información.

Se evidencia además la facilidad de creación de aplicaciones digitales para dispositivos móviles y sus ventajas tanto para tareas educativas como laborales, y se exploran sus características de interfaz con el usuario y de programación de las posibles acciones, desde la plataforma gratuita de desarrollo de aplicaciones AppInventor

* Trabajo de grado

** Facultad De Físico Mecánicas. Escuela De Ingeniería Civil. Directora Hebenly Celis Leguizamo

ABSTRACT

TITLE: DEVELOPMENT OF A MANUAL ON AN ANDROID APPLICATION FOR ANALYSIS SOFTWARE WITH SLOPE / W IN THE EVALUATION OF DIFFERENT SYSTEMS SLOPE STABILIZATION*

AUTHOR: JOSEPH JEREZ DARIO RODRIGUEZ**

KEY WORDS: Slope, Stability, Modeling, Reinforcement, Safety factor.

Slope stabilization has emerged as an engineering response to urban construction challenges, such as safe excavation for basements of buildings, forming benches for pathways and for recovery or prevention of landslides on slopes, these challenges are common and require effective and specialized solutions.

The calculation of the safety factor that evaluates and ranks slope stability becomes then in a tool in the design process of these works, so clearly know the effects on the results generated by the variables operating in this process, offers to us a options to choose the best solution for the problems mentioned, attending technical issues and economic requirements.

This project uses an executable application on the Android operating system to expose the variables that impact the result of a stability analysis calculating a safety factor using a software, to model the effective solutions that comply with all the requirements of the national and local regulations. At the same time it uses new technologies and allows spread and accessibility to the information.t

Also you can see the ease of creating digital applications for mobile devices and their advantages for educational and labor tasks, and explores possible programming actions and interface characteristics, using the free Application development platform AppInventor 2.

* Degree work

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

INTRODUCCIÓN

La expansión de las zonas urbanas en las ciudades y la necesidad de una mejor conectividad en las vías que comunican ciudades y municipios traen consigo grandes retos a la ingeniería que propician la necesidad de explorar opciones de construcción con exigencias técnicas mayores, tales como intervenir terrenos cuya pendiente es considerablemente pronunciada, la construcción de edificaciones de gran altura y con niveles de sótanos cada vez más profundos, la construcción y ampliación de vías, entre otros.

Ahora bien, uno de los desafíos más comunes en este tipo obras, es la necesidad de estabilizar taludes, para garantizar el comportamiento adecuado de obras aledañas y es por ello que ante la gran demanda, las empresas dedicadas al diseño y construcción de esta clase de obras de ingeniería, han empezado a fortalecer su conocimiento sobre el asunto.

Dentro de los requisitos normativos exigidos para diseñar obras de reforzamiento en taludes, existe una acción de vital importancia la cual corresponde al cálculo del factor de seguridad de estabilidad Global que de manera teórica ofrece una calificación a la obra planteada para el problema específico, este factor de seguridad debe cumplir con las exigencias de la normativa colombiana vigente para el manejo de taludes consignados en el título H del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente de 2010 (NSR-10)¹ y para el caso de Bucaramanga además debe adoptar las disposiciones de la normativa Geotécnica emitida por la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la meseta de

¹ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. NSR-10. Bogotá, 2010.[en línea] [citado 15 de diciembre de 2015] Disponible. en: <http://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/11titulo-k-nsr-100.pdf>

Bucaramanga (CDBM)², ente encargado de las temáticas geotécnicas en la región.

El cálculo del factor de seguridad se puede efectuar a través de diferentes métodos académicos, como métodos de elementos finitos, que ofrecen posibilidades como análisis en 3D y mayor número de variables pero también son mucho más complejos. Sin embargo los métodos más usados son los que se basan en el equilibrio límite aplicado en dovelas, debido a la facilidad que se logra para abstraer un problema real a los valores de entrada que se requiere en este tipo de análisis.

El desarrollo del análisis de estabilidad de taludes a través de métodos basados en el equilibrio límite se realiza comúnmente con la ayuda de aplicaciones de computador, las cuales ofrecen gran confiabilidad y reducen considerablemente los tiempos dedicados a este proceso. Uno de los programas más comunes para este procedimiento es el SLOPE/W, sin embargo, definir con total certeza los parámetros de entrada de acuerdo a la condición más real posible, es en si lo que otorga éxito a este tipo de análisis.

Es por ello, que el presente trabajo tiene por objeto exponer en una aplicación para dispositivos compatibles con el sistema operativo Android (celulares, tabletas, etc.) las diferentes variables del modelado y de análisis que se presentan al momento de conocer la estabilidad de un talud con el programa SLOPE/W.

²CDBM. Resolución número 001294 de Diciembre 20 del 2009.CDBM, 2009. Normas técnicas para el control de erosión y para la realización de estudios geológicos geotécnicos e hidrológicos. .[en línea] [citado 15 de diciembre de 2015] Disponible. en: <http://curaduria1floridablanca.com/wp-content/uploads/2013/02/RESOLUCION-1294.pdf>

1. JUSTIFICACIÓN

Se busca conocer a profundidad el comportamiento del programa y poder identificar los momentos en que los datos de entrada del usuario afectan en mayor medida el resultado.

Por lo tanto las observaciones a las que se llegan con este análisis son de carácter cualitativo y situacionales dependiendo las condiciones reales que se pretenden abstraer, haciendo a su vez una comparación con las normativas que rigen el tipo de análisis y las características reales de los materiales modelados en el programa. De esta manera el usuario podrá generar criterios para un modelado más ajustado a la realidad y acorde a sus necesidades, toda esta información ira expuesta en una manual o guía de uso del software el cual se desarrolló como una aplicación para Android [Anexo A].

En la actual tenencia tecnológica se hace necesario el acercamiento a las nuevas tecnologías y facilidades que estas nos ofrecen. El uso de una aplicación con la que podemos trabajar en un dispositivo móvil permite un uso constante de la información así como la posibilidad de que esta se comparta de manera más rápida.

2. GENERALIDADES

Para obtener un valor de factor de seguridad valido de acuerdo a normativa nacional (NSR-10) y local (CDMB), se hace necesario conocer los requisitos exigidos por las mismas.

La NSR-10³ establece los valores mínimos de factor de seguridad para el análisis de estabilidad de taludes de la siguiente manera:

- Taludes –Condición Estática y Agua Subterránea Normal: 1.5 para diseño y 1.25 para etapa de construcción.
- Taludes – Condición Seudo-estática con Agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño: 1.05 para diseño y 1.00 para etapa de construcción.

Esta norma también nos establece la sobrecarga uniforme mínima a considerar en vía pública y zonas libres próximas a excavaciones temporales que será de 15 KPa (1.5 Ton/m²).

Por su parte la norma local (CDMB)⁴ nos indica que en el caso en el cual los factores de seguridad a estabilidad de los taludes en condiciones estáticas sean inferiores a 1.5 se requiere presentar recomendaciones de obras de estabilización con se respectivo diseño. Se debe garantizar un factor de seguridad durante la construcción de la excavación superior a 1.5, para condiciones estáticas de acuerdo al estudio de estabilidad de laderas, en todos los casos en los cuales

³ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Op cit.

⁴ CDMB, Op cit.

existan construcciones en la corona de las excavaciones, y de 1.2 cuando no existan construcciones

Además nos da indicaciones sobre el análisis de estabilidad:

- Se deben analizar como mínimo 100 superficies de falla, incluyendo todos los sistemas de falla posibles. Se debe presentar como mínimo el análisis utilizando los sistemas de Fellenius Bishop y Janbú.
- El estudio de estabilidad se exige para toda excavación de más de 3 metros de profundidad.

De esta manera podemos establecer que se consideran básicamente dos tipos de análisis a un talud teniendo en cuenta si se consideran cargas por efectos dinámicos o no. Sin embargo realizar un análisis dinámico requiere de métodos complejos para su resolución por lo que se ha creado la figura del análisis seudo estático que representa los efectos del sismo por medio de fuerzas inerciales que pueden actuar en sentidos horizontal y vertical.

En el método del equilibrio límite que se aplica en el programa SLOPE/W estas fuerzas están aplicadas en cada dovela y están dadas por:

$$F_h = \frac{a_h * W}{g} = k_h * W \quad (1)$$

$$F_v = \frac{a_v * W}{g} = k_v * W \quad (2)$$

Donde a = aceleración seudoestática

g = aceleración gravitacional

W = peso de la dovela

Y los subíndices h y v indican la dirección de aplicación de estas aceleraciones, también podemos notar la relación a/g es llamada coeficiente k y se expresa como porcentaje de la gravedad este es el valor que se debe ingresar en el software a la hora de considerar efectos de sismo.

Tabla 1. Tabla H.5.2-1. Valores de K_{ST}/a_{max} mínimos para análisis seudo estático de taludes – NSR10

Material	K_{ST}/a_{max} Mínimo	Análisis de Amplificación Mínimo
Suelos, enrocados y macizos rocosos muy fracturados (RQD < 50%)	0.80	Ninguno
Macizos rocosos (RQD > 50%)	1.00	Ninguno
Todos los materiales térreos	0.67	Amplificación de onda unidimensional en dos columnas y promediar
Todos los materiales térreos	0.50	Amplificación de onda bidimensional

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. NSR-10. Bogotá, 2010. [en línea] [citado 15 de diciembre de 2015] Disponible. en: <http://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/11titulo-k-nsr-100.pdf>

Para la identificación de la aceleración seudo estática a usar, debemos remitirnos a la tabla 1, a las relaciones K_{ST} como coeficiente seudo estático con respecto a la aceleración máxima del lugar, para el caso de Bucaramanga se tiene un valor de $a_{max} = 0.25$. Con este valor más el de la relación dada en la tabla podríamos conocer el coeficiente a ingresar al programa para el análisis respectivo.

Es importante tener en cuenta que según la CDMB⁵ para análisis de estabilidad de taludes o laderas se exige como mínimo utilizar un coeficiente sísmico horizontal de 0.15g por lo tanto el valor hallado con las indicaciones de la normativa nacional no puede ser inferior a este.

Los coeficientes sísmicos pseudo estáticos en etapa constructiva son del 50% del valor de los de diseño⁶.

La Norma Colombiana de diseño de Puentes (CCP) deberá considerarse para diseño de estructuras de contención que estén asociadas a la construcción de puentes, teniendo en cuenta que en ella ya no se habla de factores de seguridad sino factores de reducción, por lo que requiere análisis un poco distintos.

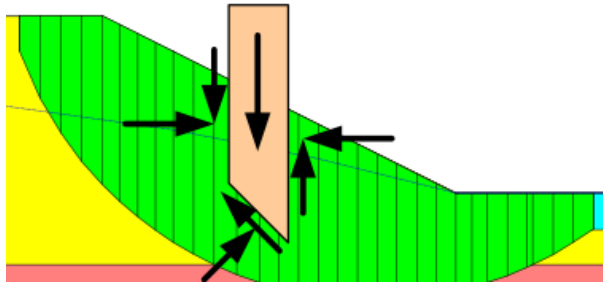
⁵ Ibid

⁶ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. NSR-10. Bogotá, 2010.[en línea] [citado 15 de diciembre de 2015] Disponible. en: <http://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/11titulo-k-nsr-100.pdf>

3. METODOS DE ANALISIS EN SLOPE/W

El programa SLOPE/W utiliza diferentes métodos basados en la teoría del equilibrio límite, básicamente divide la posible superficie de falla del talud en dovelas como elementos diferenciales de la totalidad de la masa de suelo en cada una de ellas analiza las fuerzas y/o los momentos actuantes además de los parámetros geométricos y las fuerzas de reforzamiento para calcular un factor de seguridad.

Figura 1. Esquema de las fuerzas actuantes sobre la dovela para el análisis por equilibrio límite.



Los métodos de equilibrio límite han venido sufriendo cambios a través de la historia y se le ha adicionado consideraciones pertinentes para obtener resultados con mayor exactitud. Es por eso que el programa nos permite usar al menos 10 métodos distintos que varían en las características tanto de las fuerzas cortantes y normales entre dovelas, así como en el realizar análisis de equilibrio de fuerzas, de momentos o de los dos simultáneamente.

El programa por defecto arroja resultados para los métodos de Fellenius, Bishop y Janbú; esto para nosotros es de gran ayuda ya que la norma de la CDMB⁷ exige mínimo esos tres análisis.

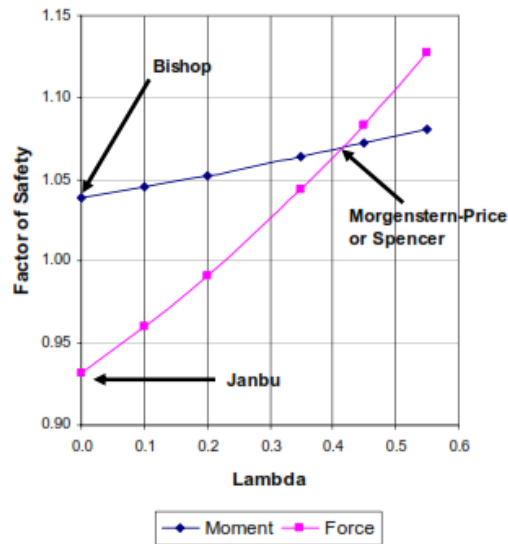
El programa permite escoger un método más para el análisis lo que es muy conveniente para un análisis más realista, ya que los otros tres métodos anteriormente mencionados son quizá los más imprecisos, los posibles métodos a escoger son:

- Spencer
- Morgenstern-Price
- Cuerpo de ingenieros
- Lowe-Karafiath
- Sarma

Ante la posibilidad de conocer un factor de seguridad por un método más se recomienda usar lo los de Spencer y Morgenstern-Price, ya que consideran las variables de una manera más realista que las demás. En la figura 2 se presenta la variación del factor de seguridad para diferentes métodos de cálculo.

⁷ CDMB, Op cit.

Figura 2. Factor de seguridad vs Lambda



La gráfica de la Figura 2. Se da evidencia de la mayor confiabilidad del factor de seguridad obtenido por métodos como Spencer y Morgenstern-Price, ya que estos aplican equilibrio tanto de fuerzas como de momentos, además de las fuerzas entre dovelas tanto cortante como normal, y así logran una mayor precisión que otros.

4. PARAMETROS DE ENTRADA DEL PROGRAMA

Los primeros parámetros de entrada para el software son:

- Geometría y materiales
- Fueras adicionales y presión de poros
- Superficie de falla

A continuación se presentan las características más importantes a tener en cuenta:

4.1. GEOMETRÍA Y MATERIALES.

El modelamiento de un talud en SLOPE/W requiere como uno de los primeros pasos la determinación de la geometría de un perfil del talud, los datos de entrada se pueden ingresar a través de coordenadas sobre los puntos que limitan la región que se considera un área transversal del talud a la que se le aplicaran características de un material homogéneo. También se puede dibujar directamente la región o se pueden importar desde un archivo con extensión .dxf desde un programa tipo CAD.

Es muy importante entender que al realizar el análisis de estabilidad en un modelo 2D se considera una distribución de la mayoría de fuerzas de manera uniforme en el sentido de la profundidad que tendría el talud, esto sucede porque el programa considera que el talud conserva en toda su longitud la forma de la sección introducida al modelo. Se recomienda evaluar la estabilidad para la sección de talud más crítica que usualmente es la de mayor altura o pendiente del talud.

Las diferentes regiones, como se mencionó anteriormente deben recibir propiedades de material para ser consideradas dentro del análisis. El software permite el ingreso de estas propiedades de los materiales bajo parámetros de diferentes modelos para describir la fuerza del material. Los materiales que se permiten modelar son:

Tabla 2. Tipos de material que se pueden modelar en Slope/W.

TIPO DE MATERIAL	CARACTERISTICAS
Mohr-Coulomb	Se deben ingresar valores para un coeficiente de fricción interna (ϕ), un valor de cohesión del suelo (c), y un peso específico del material (γ). Es el material más usado ya que sus parámetros son los más fáciles de obtener.
Spatial Mohr-Coulomb	permite asignar una variación en ϕ, γ y c de manera lineal o espacial de manera individual o grupal
No Drenado	considera $\phi = 0$ por lo que la fuerza cortante del material queda descrita solo por la cohesión y la presión de poros no tiene efecto en la fuerza cortante del material
Bedrock	también llamada impenetrable, asigna por defecto valores de ϕ, γ y c tan altos que el material no permite falla
Bilinear	básicamente se trata de un comportamiento Mohr-Coulomb seguido de otro con ϕ distinto, por lo que los parámetros de entrada son: un c , dos valores de ϕ , un σ_u y el γ
Fuerza anisotrópica	se incluyen c y ϕ en direcciones tanto horizontal como vertical y esto se usa para hacer un ajuste con la inclinación de la base
Función anisotrópica	función para la variación por inclinación de c y ϕ
Fuerza función de profundidad	los parámetros ϕ, γ y c se varían en una tasa de incremento en profundidad, esto se utiliza en suelos sobre consolidados
modelos friccionantes - sin drenar	se ingresan los parámetros ϕ, γ y c además de un c_u
shansep	es un tipo de modelamiento que tiene en cuenta una fuerza de sobrecarga, y requiere el uso de R_u o $B\text{-Bar}$ para el nivel freático, crea una relación entre la fuerza cortante y el esfuerzo efectivo vertical del material

4.2 FUERZAS ADICIONALES Y PRESIÓN DE POROS

El programa permite además simular sobrecargas en la parte superior del talud por edificaciones bancas de vías, etc. Se puede hacer mediante las opciones sobrecarga y carga puntual a través de las cuales podemos colocar cargas en puntos específicos de la parte superior del talud para llevar los modelos a situaciones más reales, importante recordar también que la NSR10⁸ considera una sobrecarga mínima de 15 Kpa/m² (1.5 Ton/m²) en zonas libres o vías aledañas a la excavación.

De igual forma es posible hacer que el modelo de análisis tenga en cuenta el efecto de presiones de poros, quizá en este punto los efectos que pueda provocar el agua en el talud sean los de mayor impacto la norma se refiere a las mejores maneras de considerar la presión de poros al momento de calcular la estabilidad de un talud con presencia de agua considerable, en la NSR se señala que se preferirá el cálculo de la presión de poros a través de una red de flujo o por la definición de un nivel freático, respecto a la aplicación del factor Ru.

Esta apreciación que hace la norma nos deja entonces como mejor opción y de hecho con las opciones más sencillas para el modelado de los efectos del agua en el talud, quizás la colocación del nivel freático a través de una línea piezométrica sea la manera más común y fácil de modelar esta condición. Esta presión de poros es usada para calcular la fuerza cortante en la base de la dovela únicamente. La presión de poros debido a una línea piezométrica está dada por:

$$u = H * \gamma$$

H= Altura del NF a la base de la dovela.

γ = Peso específico del agua.

⁸ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Op cit

Se denota entonces que al usar una línea piezométrica la altura es el factor influyente, por lo tanto entre más arriba este el nivel freático con relación a la base de la dovela mayor valor tendrá la presión de poros, el programa por defecto no considera presiones negativas a menos de que se quiera incluir esta opción, pero solo se da en casos específicos. La presión de poros es además perpendicular a la línea piezométrica por lo tanto el programa nos permite hacer una corrección para los casos en los que la línea no es paralela a la base de la dovela esta corrección disminuye un poco la H pero no tiene un impacto muy grande.

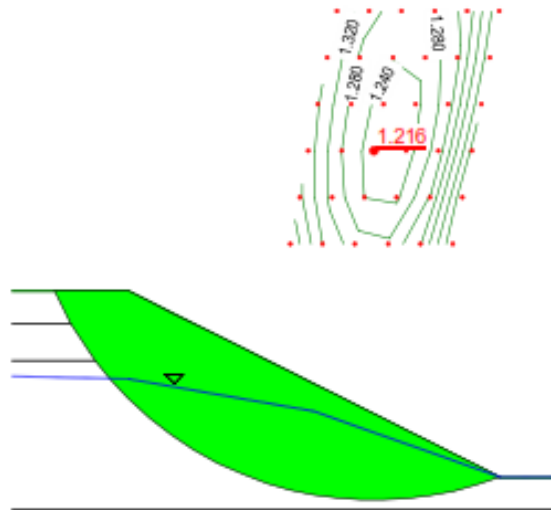
En la práctica para garantizar un nivel freático en una cota más baja se construyen drenajes dependiendo de las condiciones y necesidades de la obra, se recomienda modelar el nivel freático por debajo de la superficie de falla y así este no influiría en el análisis.

4.3. SUPERFICIES DE FALLA.

Los métodos de equilibrio límite han considerado desde sus inicios una superficie de falla circular que se divide en una cantidad de dovelas para permitir su análisis diferencial. El programa SLOPE/W permite al usuario básicamente 5 opciones de delimitar la superficie de falla. Este quizá es uno de los puntos clave para el análisis de la estabilidad de un talud con esta aplicación ya que la discriminación de los sectores de falla de acuerdo a la experiencia de la persona que está modelando puede cambiar drásticamente el factor de seguridad resultante. Normalmente se considera que los taludes fallaran a lo largo de una superficie circular desde cierta distancia de la corona del talud hasta el pie de este. Y de esta manera trabajan los métodos de equilibrio límite asumiendo fallas circulares que cumplen estas condiciones de entrada y salida, para el caso del programa las opciones para delimitar la falla son:

- Grilla y radio
- Bloque
- Entrada y salida
- Auto localizar

Figura 3. Superficie de falla tipo



Grilla y radio es el método más usado para definir la superficie de falla, en ella se crea una zona de centros de radios en torno a los cuales se creara la superficie de falla, y se delimita por una grilla que representa líneas tangentes a la superficie formada con los radios ya especificados. Si se colocan los 4 vértices de la grilla en el mismo punto se obliga a la superficie de falla a pasar por este. Se puede definir la superficie además con bloques que representan líneas tangentes a la superficie, este método es útil cuando se tiene una idea de las posibles formas de la superficie de falla. Es similar a la posibilidad de entrada y salida pero en esta se indican rangos sobre la superficie por los cuales puede iniciar y terminar la superficie de falla es muy útil para evaluar estabilidad en zonas específicas.

Por ultimo está la posibilidad de usar auto localizar que utiliza el método de entrada y salida de manera autónoma para encontrar las superficies de falla más factibles, es útil para el primer análisis y conocer las zonas más propensas a fallar. Todas estas formas de configurar la superficie de falla, permiten la opción de optimización que divide la superficie de falla en tramos rectos y empieza a variar las bases de las dovelas en torno a estas hasta encontrar un factor de seguridad menor.

5. MODELADO DEL REFORZAMIENTO DE TALUDES

El software SLOPE/W permite básicamente simular 4 tipos de reforzamiento de taludes:

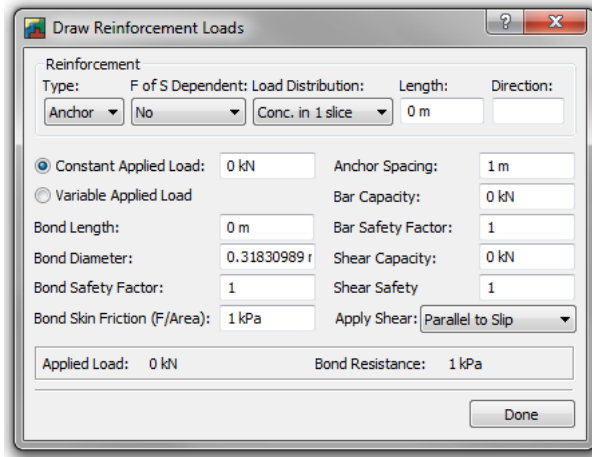
- Anclajes Activos
- Anclajes pasivos o Clavos
- Geotextiles
- Micropilotes

A continuación se muestran los parámetros de entrada que utiliza el programa para cada tipo de reforzamiento:

5.1. ANCLAJES ACTIVOS (ANCHOR)

Los anclajes son quizás uno de los métodos de reforzamiento y contención más efectivos su ventaja radica en que empiezan a funcionar una vez instalados y en que se ejecutan usualmente con cables de acero que permiten mayores longitudes y capacidades de carga. Para modelar anclajes en el programa hay que introducir los parámetros que se observan en la figura 4.

Figura 4. Interfaz de entrada de datos para reforzamiento con anclajes.



- **Posición y dimensiones:** el anclaje es representado por una línea (con una zona más gruesa que simboliza el bulbo) en el modelo, y el programa nos permite ingresar sus dimensiones y posición de dos maneras distintas. La primera con coordenadas de los puntos de inicio y fin, o dibujándola directamente sobre el talud y colocándole longitud e inclinación deseada. Las longitudes de los anclajes suelen ser mayores a 12m ya que al estar hechos con cables permiten longitudes más grandes que las varillas convencionales, se debe garantizar que el bulbo requerido que calcula el programa este por detrás de la superficie de falla, de esta manera estas dos longitudes se consideraran realistas luego de analizado el modelo y haber completado el ajuste.

Los ángulos de inclinación de los anclajes varían usualmente entre los 10° y los 20°, este ángulo tiene una afectación constructiva para la aplicación de la lechada.

Es importante también considerar que la primera fila de anclajes desde la cabeza del talud debe estar a máximo 3m, no se recomienda colocar anclajes

para distancias menores al metro ya que no se puede garantizar la transmisión de las cargas a la superficie del talud. La posición de los refuerzos tiene afectación en el resultado en cuanto a que son capaces de reducir la superficie de falla, entonces en posiciones bajas son capaces de cambiar la salida de esta inclusive.

- **Espaciamiento (Anchor Spacing):** Normalmente se usan espaciamientos mayores al metro pero habrá que tener en cuenta que entre más carga sea aplicada al bulbo mayor será el área de la cara del talud sobre el cual se va a transmitir. Estas separaciones, separaciones muy grandes dan como resultado factores de seguridad más bajos.
- **Carga Aplicada (Applied Load):** hace referencia a la carga que va a ser aplicada en los tendones de acero, se obtienen de multiplicar el número de torones, con la resistencia a la rotura propia de su diámetro y un factor de seguridad con un mínimo de 1.5. para que el acero no alcance el límite de rotura. las combinaciones más comunes son 150KN (2 de 1/2”), 240 KN (3 de 1/2”), 300KN (4 de 1/2”), 320 KN (3 de 5/8”) y 420 KN (4 de 5/8”). Esto para aceros de $F_y = 4200 \text{Kg/Cm}^2$ que es el más común.

Esta carga también puede ser calculada automáticamente por el programa en la opción variable applied load⁹, que calcula con valores entre cero y el dado por la siguiente formula:

$$\text{Carga aplicada} = \frac{\text{Capacidad del cable}}{F.S.* \text{espaciamiento}}$$

⁹ GEO-SLOPE International Ltd. Reinforcement with Anchors, Calgary, Alberta, Canada. [en línea] [citado el 9 de enero de 2015] Disponible en: www.geo-slope.com.

En este caso ya los cables no estarían trabajados en el rango plástico sino que estarían dentro del rango elástico ya que la capacidad de la barra se considera considerando el límite plástico por lo que trabajaría con valores de carga mucho más pequeños de los realmente admisibles por el cable que se diseña para trabajar en el rango elástico.

- **Longitud del Bulbo (Bond Length):** La longitud del bulbo se obtiene de la siguiente forma:

$$L_b = \frac{\text{carga aplicada}}{\text{bond Diam} * \text{capacidad bulbo} * FS}$$

- **Diámetro del Bulbo (Bond diameter):** este diámetro está determinado por el diámetro de perforación.
- **Factor de Seguridad del Bulbo (Bond Safety Factor):** usualmente mayor o igual a 1.5 y se hace necesario por la imposibilidad de conocer si el bulbo quedo hecho o no de tal manera que garantice la capacidad de diseño debido a anomalías en la zona donde se instaló.
- **Fricción del Bulbo (Bond Skin Friction):** está dada de acuerdo a valores ya trabajados en laboratorio comúnmente asociados al tipo de material en el que se pretende instalar el anclaje. En Bucaramanga se suelen usar valores de entre 100 y 150 KN/m para suelos arenosos y arcillo arenosos. Con estos parámetros el software ya puede calcular la resistencia del bulbo que es el parámetro con el que trabajara internamente en el equilibrio limite y lo hace usando la siguiente ecuación:

$$R.B. = \frac{\text{fricción del bulbo} * \phi \text{ del bulbo} * \pi}{F.S \text{ del bulbo} * \text{espaciamiento}}$$

- **Capacidad de la barra y capacidad cortante (Bar Capacity y Shear Capacity):** La resistencia del anclaje a su vez se obtiene aplicando la fórmula:

$$\text{Bar Capacity} = F_y * A_s * \text{No. de Cables}$$

Para calcular la Shear Capacity usualmente se toma el valor de Bar Capacity al 75%. Ambos valores tienen la posibilidad de tener un factor de seguridad extra.

- **Otras opciones:** las otras opciones que nos permite el modelamiento de anclajes son, dependencia del factor de seguridad que lo que hace es aplicar el factor de seguridad final a la carga aplicada y a la resistencia del bulbo, y así tener un valor aún menor. También está la opción de distribución de la carga que puede ser bien aplicada en la dovela o a lo largo del reforzamiento y por ultimo esta la opción de considerar la carga cortante paralela a la superficie o perpendicular al refuerzo. Estas opciones si bien varían el resultado dependen más de la pericia del analista y los resultados que se pretenden obtener.

5.2. ANCLAJES PASIVOS O CLAVOS (NAILS)

Son elementos de refuerzo similares a los anclajes activos con la diferencia de que no tienen aplicada una carga de tensión y el bulbo está presente a lo largo de toda su longitud, el programa de análisis de taludes requiere parámetros de entrada muy similares para anclajes activos y pasivos con diferencia de que para estos últimos no se aplica carga de tensionamiento, ni se coloca una longitud al bulbo.

Figura 5. Interfaz de entrada de datos para reforzamiento con clavos.

Draw Reinforcement Loads

Reinforcement

Type: Nail F of S Dependent: No Load Distribution: Conc. in 1 slice Length: 0 m Direction:

Bond Diameter: 0.31830989 r Bar Capacity: 0 kN

Bond Safety Factor: 1 Bar Safety Factor: 1

Bond Skin Friction (F/Area): 1 kPa Shear Capacity: 0 kN

Nail Spacing: 1 m Shear Safety: 1

Apply Shear: Parallel to Slip

Applied Load: 0 - 0 kN Bond Resistance: 1 kPa

Done

- **Posición y dimensiones:** Se utilizan normalmente varillas de acero de diámetros mayores a 3/4 de pulgada, estas varillas vienen en longitudes definidas de 6, 9 y 12 metros por lo que para su longitud se utilizan valores menores a la longitud total de la varilla para poder realizar su respectivo traslapeo a la pantalla o elemento que la sostenga en la cara del talud. Se utilizan los mismos ángulos de inclinación de entre 10° y 20° que en los anclajes. Su longitud también se debe corregir luego de analizado el modelo para que alcance a sobrepasar la superficie de falla.
- **Espaciamiento (Nail Spacing):** Los clavos al no tener una carga de tensionamiento que transmitir sobre la cara del talud permite ser espaciados a menor distancia usualmente necesitan al menos 1 metro de espaciamiento en todas las direcciones para funcionar bien. Estos elementos de refuerzo solo actúan al momento de un movimiento de la masa de suelo, su fin entonces es darle coherencia al suelo, hacer que la masa de suelo se mantenga junta.
- Los demás valores a ingresar son muy similares a los de un anclaje pretensado, tener en cuenta que están compuestos por una única varilla al

momento de calcular el Bar capacity y por ende el Shear capacity, por todo lo demás la obtención de los parámetros e ingreso es idéntica a los anclajes activos.

5.3. GEOTEXTILES Y GEOMALLAS (FABRIC)

Al hablar de Geotextiles usualmente se pueden encontrar de dos tipos de acuerdo a su configuración: tejidos y no tejidos, además se pueden diferenciar también por el material del que están hechos. Para su modelamiento entonces se requieren ingresar los siguientes parámetros:

Figura 6. Interfaz de entrada de datos para reforzamiento con Geotextiles.

Draw Reinforcement Loads

Reinforcement

Type: Fabric F of S Dependent: No Load Distribution: Conc. in 1 slice Length: 0 m Direction:

Bond Skin Friction (F/Area): 1 kPa Fabric Capacity: 0 kN

Calculate Bond Resistance from: Fabric Safety: 1

Contact Cohesion: 0 kPa Load Orientation: 0 (0 - Axial, 1 - Parallel to Slice Base)

Contact Phi: 0 °

Interface Factor: 1

Bond Safety Factor: 1

Applied Load: 0 - 0 kN Bond Resistance: 1 kPa

Done

- **Posición y Dimensiones:** En el software el reforzamiento con geotextil se ve abstraído a unas líneas separadas a cierta distancia que representan el material con capacidad de reforzamiento y/o contención, se recomienda utilizar longitudes múltiples de 0,5m y según el CCP usar longitudes de al menos el 70% de H y en lo posible mantener longitudes uniformes en los diferentes reforzamientos adicional a esto se debe garantizar que sus capas tengan una

longitud mayor a la superficie de falla.¹⁰ La separación vertical se puede calcular fácilmente si se conoce la presión lateral total en la profundidad total del talud (σh), de la siguiente manera:80

$$Sv: \frac{Tadm}{\sigma h * FS}$$

Donde F.S. toma valores entre 1.3 y 1.5 y el esfuerzo admisible del geotextil ($Tadm$) es brindado por el fabricante del material. Un valor tipo muy usado es una separación vertical de 0,5m.

- **Fricción del Bulbo (Bond Skin Friction):** Teniendo en cuenta que se denomina bulbo en este caso a la zona de contacto del geotextil con el suelo. Este valor puede ser suministrado en las especificaciones del fabricante del geotextil a utilizar y representa la adherencia suelo-geotextil en suelos tipo de Bucaramanga y con materiales disponibles su utilizan valores entre 1.5 y 1.8 Ton /m2. La capacidad a la tracción del material. Normalmente estos parámetros vienen proporcionados por el fabricante.
- **Factor de Seguridad del Bulbo (Bond Safety Facto) r:** un factor de seguridad para los valores del material que debería tomarse de 1.5 a 2 normalmente o asignar un valor recomendado por el fabricante o requerido por el diseño.
- **Calcular la resistencia del bulbo (Calculate Bond Resistance from):** se utiliza para calcular la resistencia de interacción del geotextil cuando esta sobrecargado de esta manera se puede optar por poner una cohesión de contacto de cero y un phi de contacto de acuerdo a indicaciones del fabricante

¹⁰GEOSOFT PAVCO. Manual de diseño con Geosintéticos, Novena Edición. Bogota –Colombia 2012. [en línea] [citado el 9 de enero de 2015] Disponible en: <http://www.geosoftpavco.com/manualvirtual/index.html>.

usualmente varían entre 21 y 35 siendo mayores entre as contenido de arena haya. Sin embargo es muy relativo ya que también depende del tipo de geotextil, el tipo de suelo y la forma de sus partículas (arenas redondeadas, grano grueso, etc.) por lo tanto estos valores deben tomarse de la ficha técnica del fabricante. A este cálculo se le puede colocar un factor de seguridad para que el material no llegue nunca hasta el valor máximo.

- **Capacidad del Geotextil (Fabric Capacity):** Resistencia del geotextil dada por el fabricante, completamente dependiente de las especificaciones del material, sus características y proceso de fabricación determinan este valor. Estos valores oscilan entre 20 y 100 KN/m de resistencia a la tensión antes de deformarse para mallas uniaxiales, entre 8 y 20 KN/m para mallas biaxiales. Para materiales tejidos pueden alcanzar valores de entre 15 y 115 KN/m.
- **Orientación de la carga (Load Orientation):** Esta opción nos permite definir en qué sentido queremos que se aplique la carga si axial al refuerzo o paralelo a la base de la dovela.

Internamente el programa busca conocer una la resistencia del bulbo como llama a la superficie de contacto suelo-material y la fuerza aplicada, para la primera opción en donde el usuario ingresa la Bond Skin Friction, el cálculo de estos valores es casi directo ya que solo se les aplica reducción. En el segundo caso el cálculo es un poco más complejo y comprende además características geométricas del modelo como la posición respecto a la altura del talud.

Si nos referimos a apreciaciones de la NSR10 se podrían considerar muros de tierra armada a taludes que tengan una inclinación vertical mayor al 70% y estos deberían ser analizados como muros de contención con factores de deslizamiento y volcamiento para su verificación y aplicando una superficie de falla diferente a la que se obtiene con SLOPE/W y el análisis se podría considerar únicamente

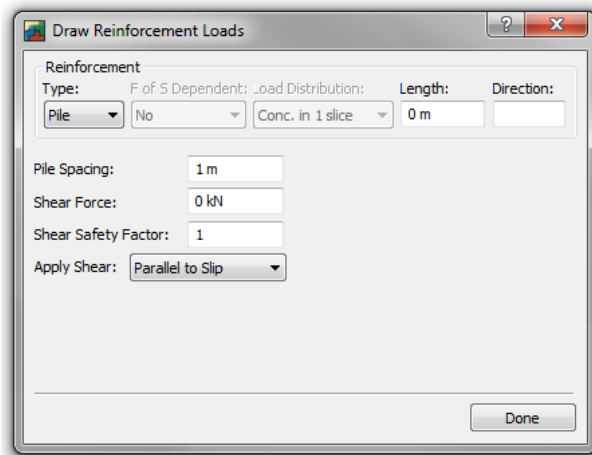
preliminar y no se puede tomar el factor de seguridad encontrado como único parámetro de diseño. Para taludes reforzados con geo sintéticos con inclinación menor al 70% se pueden considerar válidos para diseño los análisis con el programa.

5.4. MICROPILOTES (PILE)

Los micropilotes pueden ser fabricados in situ compuestos entonces de un refuerzo de acero longitudinal y uno transversal todo en una matriz de concreto. También se pueden usar micropilotes de acero prefabricados a los que posteriormente se les puede o no inyectar lechada de cemento de acuerdo a los requerimientos.

SLOPE/W considera a los micropilotes como elementos que solo ofrecen una resistencia al cortante es decir que solo aportan cargas en dirección horizontal al equilibrio en las dovelas. Se requiere entonces el ingreso de tres parámetros:

Figura 7. Interfaz de entrada de datos para reforzamiento con micropilotes.



- **Posicion y Dimension:** Se recomiendan usar micropilotes que vayan desde la parte superior del talud en función del método constructivo de estos, hasta 3m embebidos en el suelo como mínimo para presumir estabilidad al volcamiento.
- **Fuerza de corte (Shear Force):** que se obtiene de las propiedades del acero de refuerzo y se puede calcular de la siguiente manera:

$$Shear Force = Fy * As * 0.75$$

Donde Fy es el esfuerzo ultimo del acero y As es el área transversal total de acero usado en el micropilote¹¹.

- **Espaciamiento (Pile Spacing):** se da a criterio del diseñador, teniendo en cuenta que a menor separación mayor la cantidad de fuerza cortante resistente por el micropilote.
- **Factor de fuerza cortante (Shear Force Factor):** puede tomar valores de entre 1.5 y 2 dependiendo del criterio del diseñador
- **Aplicar Cortante (Apply Shear):** Como opción adicional se permite escoger la dirección de la aplicación de la fuerza en la dirección de la superficie de falla o perpendicular al micropilote esto es de mucha ayuda cuando se utilizan micropilotes con pequeñas inclinaciones respecto a la vertical.

¹¹ GEO-SLOPE International Ltd, Reinforcement with Piles. Calgary, Alberta, Canada. [en línea] [Citado el 9 de enero de 2015] Disponible en: www.geo-slope.com

6. DATOS DE SALIDA DEL PROGRAMA

Luego de ejecutar el análisis de estabilidad, tenemos varias maneras de conocer los resultados y cada una de ellas nos puede ofrecer información para validar o rechazar y proceder a optimizar los resultados del análisis como se va a mencionar a continuación:

6.1. INFORMACIÓN DE OBJETO

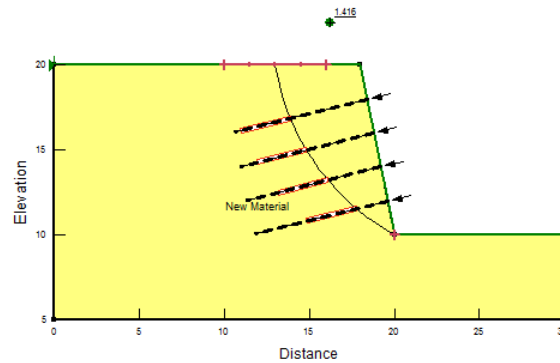
Con esta opción vamos a poder conocer los parámetros de entrada que se usaron, tanto en reforzamientos como en materiales y geometrías, de esta manera se podrá verificar de manera rápida y eficaz el uso de los parámetros preseleccionados para el análisis.

6.2. VISTA DE CONTORNOS

Es esta interfaz del programa la que mayor información fácil de entender nos ofrece, ello dependiendo de cuales características de las preferencias de vista estén activas.

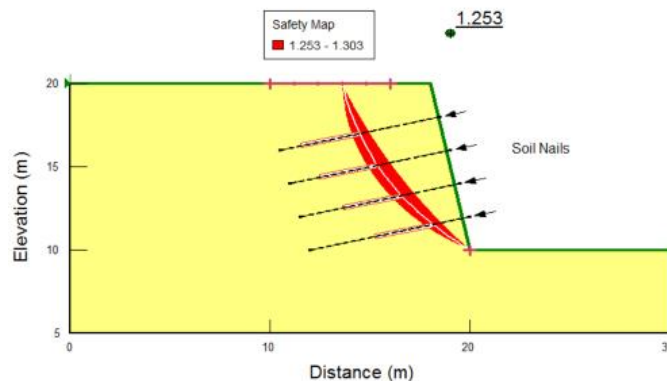
Lo primordial es tener activa la opción de vista del Factor de seguridad y la superficie de falla y de esta manera poder apreciar el valor que buscábamos mediante el análisis. Los parámetros de entrada como cargas puntuales, sobrecargas, nivel freático, etc. se asume tienen sus opciones de vista activa para así poder analizar su relación con la superficie de falla.

Figura 8. Vista básica del Factor de seguridad y la superficie de falla.



Ahora bien las opciones útiles en este punto son las de ver las múltiples superficies de falla y la del mapa de seguridad. Con ayuda de estas opciones es posible determinar aproximadamente de acuerdo a la percepción del observador la distancia hasta la cual se hace necesario garantizar la funcionalidad del refuerzo cuando sea el caso es decir nos permite intuir si es posible reducir la longitud del refuerzo o aumentarla para que funcione correctamente.

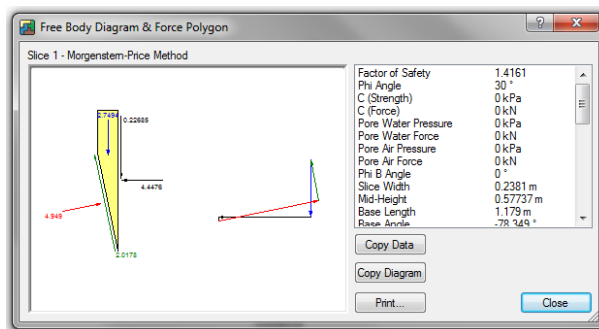
Figura 9. Vista de múltiples superficies de falla y mapa de seguridad SLOPE/W.



6.3. INFORMACIÓN DE DOVELAS

Esta opción me permite verificar si las fuerzas aplicadas en las dovelas son las correctas y permite ver cálculos intermedios que realiza el programa para poder relacionar las dovelas con las cargas extras y las cargas de reforzamiento. Esta opción permite ver un diagrama de cuerpo libre de las dovelas y un listado de los parámetros de estas.

Figura 10. Vista de información de dovelas.



6.4. REPORTE

Es acá donde se registran todos los resultados de los cálculos y se muestran los valores que convirtieron a la dovela crítica en la que representa su factor de seguridad en el talud.

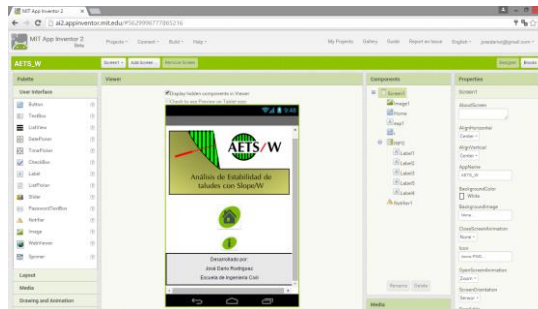
El proceso para reducir las longitudes de los reforzamientos se basa por ejemplo en los valores de longitud requerida de bulbo y la longitud disponible para este, si comparamos estos resultados con las distancias a guardar de acuerdo a la vista de superficies de fallas múltiples y mapa de seguridad, es posible realizar reducciones de la longitud del refuerzo sin entrar a la zona de factores de seguridad que no cumplan los valores mínimos requeridos.

El reporte también nos arroja el valor de las fuerzas de reforzamiento actuante, estas se podrían cambiar en los parámetros de entrada del reforzamiento, como por ejemplo la carga en un anclaje, que hipotéticamente en la vida real se podría reflejar en un torón más y puede que se disminuya la longitud requerida por lo que la relación costo beneficio podría verse mejorada.

6.5. DESARROLLO DE LA APLICACION

El desarrollo de la aplicación que contiene la información expuesta en este proyecto se realizó desde la plataforma online gratuita MIT App Inventor 2 (<http://ai2.appinventor.mit.edu/>) que permite de manera intuitiva la creación de aplicaciones compatibles con el sistema operativo móvil Android.

Figura 11. Vista del desarrollo visual de la aplicación..



La plataforma permite la creación del contenido visual y posteriormente en una interfaz de bloques la programación del comportamiento de la aplicación al interactuar con el usuario.

Figura 12. Vista de la programación de la aplicación..



Para usar la plataforma solo se requiere de una cuenta de correo electrónico asociada a Gmail que es propiedad de Google, que es el proveedor del sistema operativo Android.

La aplicación se creó para ser compatible con dispositivos móviles y también con emuladores de Android para computadores, debido a que tiene resolución visual apropiada para estos dispositivos además de un tamaño relativamente pequeño (aproximadamente 6 Megabytes) lo que además facilita su descarga desde un servicio de almacenamiento en la nube que permite la bajada de la aplicación simplemente con verificar ser usuario de una cuenta de correo electrónico de Gmail a través de un link o con la ayuda de un código QR.

7. CONCLUSIONES

- El uso de una aplicación Android hace que el contenido del manual sea mucho más asequible y que se pueda tener a la mano cada vez que surjan dudas en el modelamiento con el software.
- El uso de la plataforma MIT Ai2 es bastante intuitivo y permite con simple exploración de sus posibilidades el desarrollo de aplicaciones de manera sencilla.
- La normativa nacional y local no se excluyen entre sí, por lo que ha de acatarse la más conservadora para garantizar el cumplimiento de ambas, salvo que exista mandato imperativo que exija registrarse exclusivamente por una de las dos.
- Los parámetros que más influyen en el modelamiento de estabilidades en el software son el nivel freático, la definición de la superficie de falla y las fuerzas externas que actúen sobre el modelo.

BIBLIOGRAFIAS

BRAY J., & HOEK E.. Rock slope engineering. The Institution of Mining and Metallurgy, London. 1981

CDMB. Resolución número 001294 de Diciembre 20 del 2009.CDMB, Normas técnicas para el control de erosión y para la realización de estudios geológicos geotécnicos e hidrológicos. 2009.[en línea] [citado 15 de diciembre de 2015] Disponible. en: <http://curaduria1floridablanca.com/wp-content/uploads/2013/02/RESOLUCION-1294.pdf>

DÍAZ J. S. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Ingeniería de Suelos.1998

GEO-SLOPE International Ltd, Reinforcement with Piles. Calgary, Alberta, Canada. [en línea] [Citado el 9 de enero de 2015] Disponible en: www.geo-slope.com

GEO-SLOPE International Ltd. Reinforcement with Anchors, Calgary, Alberta, Canada. [en línea] [citado el 9 de enero de 2015] Disponible en: www.geo-slope.com.

GEO-SLOPE International Ltd. Reinforcement with Geosynthetics, Calgary, Alberta, Canada. [en línea] [Citado el 9 de enero de 2015] Disponible en: www.geo-slope.com.

GEO-SLOPE International Ltd. Reinforcement with Soil Nails, Calgary, Alberta, Canada. [en línea] [Citado el 9 de enero de 2015] Disponible en: www.geoslope.com.

GEOSOFTE PAVCO. Manual de diseño con Geosintéticos, Novena Edición. Bogotá –Colombia 2012. [en línea] [Citado el 9 de enero de 2015] Disponible en: <http://www.geosoftpavco.com/manualvirtual/index.html>.

MARINOS P., MARINOS V., & HOEK E. Geological Strength Index (GSI). A characterization tool for assessing engineering properties for rock masses. In Proceedings International Workshop on Rock Mass Classification for Underground Mining, Mark, Pakalnis and Tuchman (editors), Information Circular (Vol. 9498, 87-94). (May, 2007).

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. NSR-10. Bogotá, 2010.[en línea] [citado 15 de diciembre de 2015] Disponible. en: <http://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/11titulo-k-nsr-100.pdf>

ANEXOS

ANEXO A. Instrucciones de descarga Aplicación Guía SLOPE /W

- La aplicación está hecha para el sistema operativo Android, así que requiere un dispositivo con esta plataforma.
- Deben tenerse permisos activos para la instalación de aplicaciones que no sea desde la Play Store, esto se hace en el menú de seguridad activando la opción orígenes desconocidos.
- Debe instalarse una aplicación lectora de códigos QR, que se puede descargar gratuitamente desde la PlayStore, donde se pueden encontrar variedad de ellas.
- Luego abrimos la aplicación y apuntamos al siguiente código QR:



- De esta manera se abrirá un link de descarga en su navegador predeterminado, bajamos la aplicación, luego debe instalarse y ya está lista para su uso.
- También puede descargarse copiando el siguiente link en su navegador.

<https://drive.google.com/open?id=0B93a9b4f0D23NFdYSU1qOWNiVU0>