Bogotá, D.C., Diciembre 9 de 2004
EYR-S 5121

Señores
INACAR
Att. Dr Mauricio Jaramillo
Ciudad

Estimados señores:

Por medio de la presente y atendiendo las observaciones realizadas por la **DPAE** y la **SCG** les estamos entregando el informe modificado correspondiente a la evaluación de fenómenos de remoción en masa para el Condomino San Sebastián a construirse en la carrera 3ª No. 0-54/88 sur de Bogotá.

Este informe reemplaza el anteriormente entregado a ustedes con fecha de 8 de diciembre de 2003.

Sin otro particular,

Atentamente

ESPINOSA Y RESTREPO Y CIA LTDA

Ing. Carlos Restrepo G
Matrícula No. 2520222127
AYR/acb

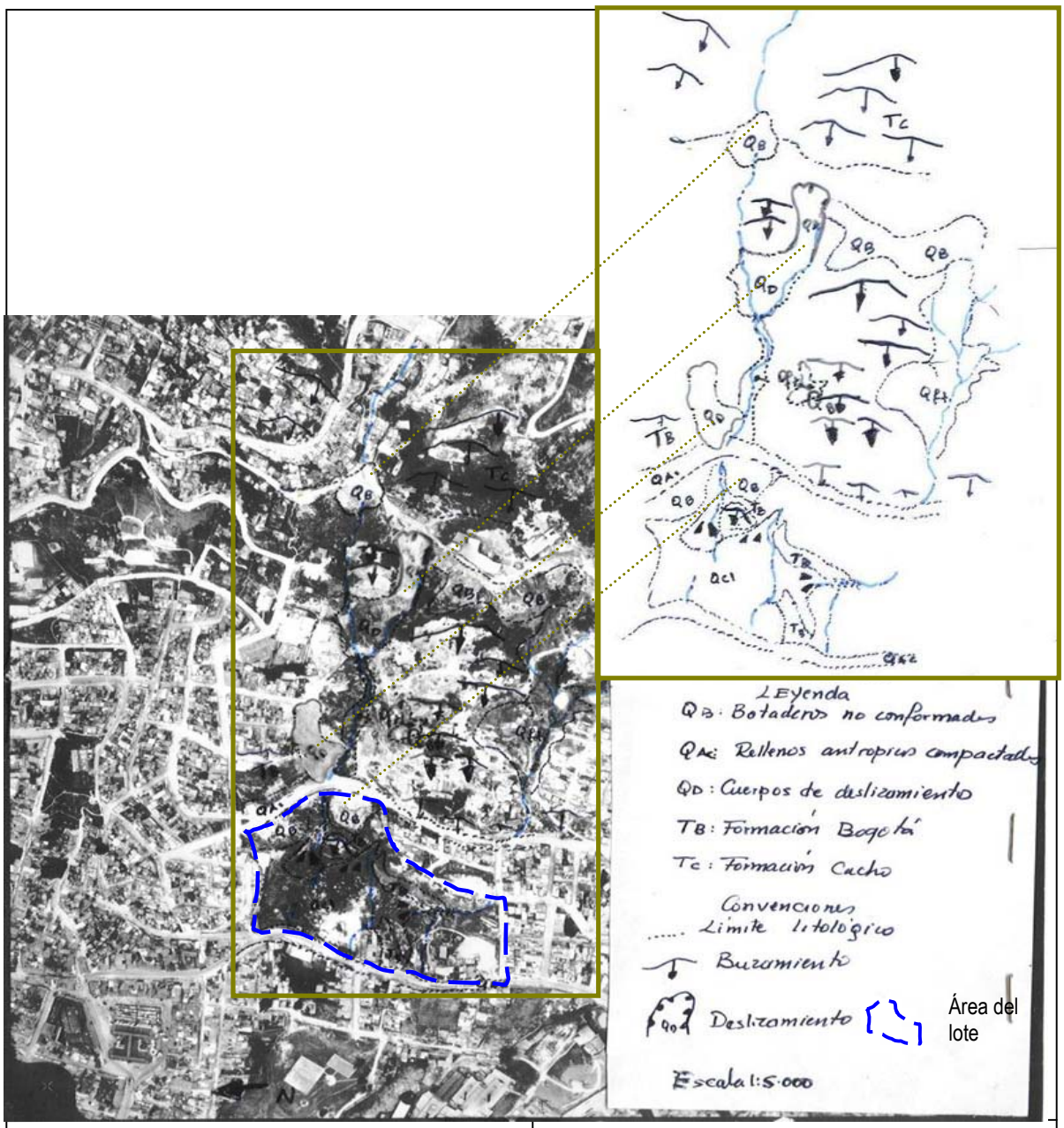
GENERALIDADES

1 DESCRIPCION DEL PROYECTO Y LOCALIZACION

Este informe contiene los resultados del análisis de fenómenos de remoción en masa para el lote de la referencia. Este lote se ubica entre las carreras 1ª y 3ª, al norte de la calle 1ª, en los cerros orientales de Bogotá. El proyecto a desarrollar en el lote constará de 180 casas de 3 pisos y 6 edificios de 6 pisos, todo en mampostería estructural, con luces entre ejes de muros entre 3.0 y 4.0 m. Las cargas previstas, estimadas por áreas aferentes, son inferiores a 3.0 ton/ml para las casas y a 7.0 Ton/ml para los edificios.

El lote se encuentra localizado (como se ilustra en la figura 1) inmediatamente en el costado oriental de la carrera 3ª en la localidad de Santa Fé entre las siguientes coordenadas geográficas:

Norte	98600 a 98900
Este	99000 a 100300



ESPINOSA Y RESTREPO LTDA	ESTUDIO DE REMOCION EN MASA URB. SAN SEBASTIAN
FOTOINTERPRETACION AÑO 1994 ESCALA 1:5000	FIGURA 1 ELABORO: RFL , 2004

2 TOPOGRAFIA.-

El plano topográfico que hace parte del presente informe se obtuvo a partir de levantamiento topográfico directo con equipos de precisión ejecutado por parte del cliente y entregado como insumo suministrado a esta consultoría.

El proyecto se desarrollará en un lote de aproximadamente 2.09 hectáreas ubicado entre las carreras 1ª y 3ª al norte de la calle 1 en los cerros orientales de Bogotá.

El lote en donde se construirá el proyecto presenta una pendiente descendente hacia el occidente (hacia la carrera 3ª), inicialmente con una pendiente fuerte del 61%, continuando con una zona de menor pendiente en donde se ubicarán la mayoría de casas del proyecto (pendiente del 20 al 8%) y continuando su descenso hacia la carrera 3ª con una altura máxima de 10.0 m y taludes inclinados de 30 grados.

3 OBJETO Y ALCANCE

El presente estudio se realizó con el objeto de determinar los daños esperados en las edificaciones del proyecto durante su vida útil por fenómenos de remoción en masa, diseñar un plan de mitigación para evitar que estos daños se presenten y para garantizar la estabilidad, funcionabilidad y habitabilidad de las edificaciones que conforman el proyecto.

Primera Parte: Estudios Básicos

4 GEOLOGÍA

Desde el punto de vista geológico el predio se ubica al Oriente de Bogotá en la zona del piedemonte donde el relieve todavía es abrupto y están aflorando rocas de origen sedimentario del Terciario, las cuales han tenido diferentes procesos tanto erosivos como de acumulación lo mismo que actividad antrópica bastante marcada.

A continuación se hace una descripción de las unidades litológicas así como las características estructurales. La conformación del subsuelo del predio y su entorno inmediato, (*Ver anexo figura 2*).

4.1 LITOESTRATIGRAFÍA

Teniendo en cuenta las unidades que afloran en la zona se presentan los siguientes materiales desde el punto de vista litológico

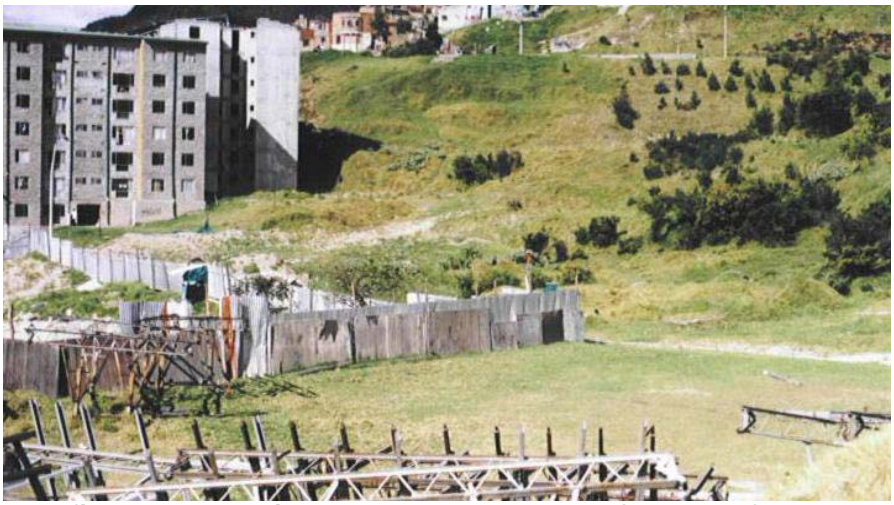
4.1.1 Formación Bogotá (Tbs)

Esta constituida por intercalaciones de arcillolita y arenisca. En el lote tan solo se presentan dos afloramientos uno en el costado Nor Oriental con un buzamiento de 35 grados hacia el Occidente y el otro afloramiento se encuentra al costado Sur Occidental dejando un escarpe rocoso en areniscas con estratificación cruzada y el buzamiento es relativamente más suave del orden de 10°. Las areniscas son de grano fino y su composición es principalmente grawacas. Aunque en la Formación Bogotá se encuentran contenidos de arcillolitas por el recubrimiento que hay tanto de botaderos como de rellenos conformados no se detectaron estos materiales arcillosos en superficie. En el sondeo 3A se encontró el suelo residual de la Formación Bogotá.

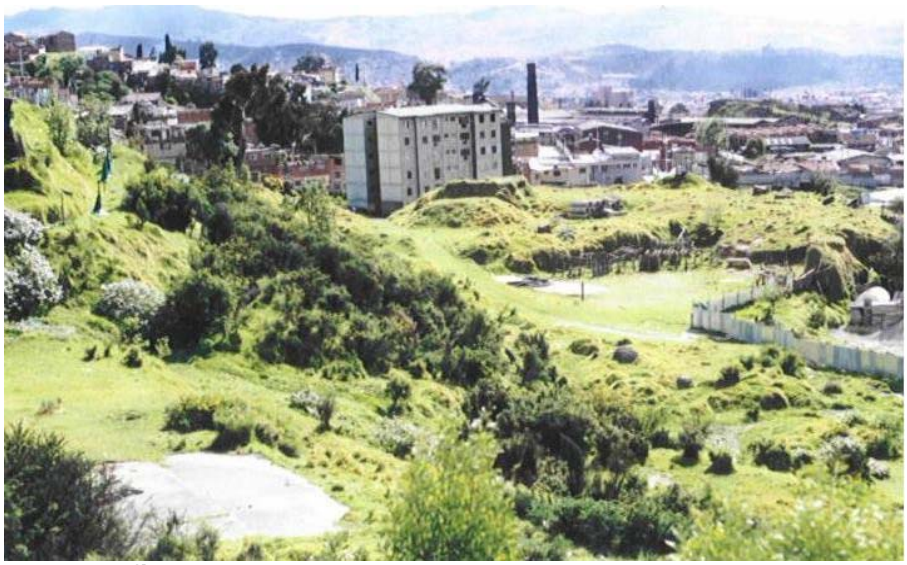
4.1.2 Depósitos Cuaternarios

- **Flujos de Tierra (Qft)**

Debido a la desintegración de los suelos residuales de la Formación Bogotá, hacia el valle de los antiguos drenajes se han conformado una serie de flujos de tierra; es decir materiales plásticos provenientes de los horizontes de la Formación Bogotá desintegrados, estos materiales son principalmente arcillosos de baja consistencia y muy plásticos están mezclados con materia orgánica y se encuentran con abundante contenido de humedad. En el sector se pudieron detectar dos zonas de estos tipos de flujos los cuales aparecen en las Fotografías No. 1 y 2. Se realizaron los sondeos 8 y 10 y el Apique 2, se esperan espesores variables de 0.60 a 3 m.



Fotografía No. 1. Panorámica ilustrando el costado Oriental y Central de la urbanización. Hacia la parte Occidental se presentan los materiales de botaderos, lo mismo que la depresión donde ocurren los flujos de tierra en la cual se aprecian lóbulos. En la parte Central hay escombros pero conformados.



Fotografía No. 2. Tomada desde el costado occidental en donde se aprecia el terraceo sobre los botaderos y la parte Central en donde hay materiales de rellenos conformados, se aprecia el afloramiento de arenisca..

- **Rellenos semiconformados en terrenos semiplanos (Qr)**

Corresponde a la parte baja de la urbanización y allí se presenta una acumulación de materiales de rellenos principalmente de escombros de construcción y que han sido reconformados en una semiplanicie sobre la cual se desarrolla la mayor parte de la urbanización. En la zona central donde fueron realizados los sondeos 3, 4 ,5, 7A y 8A se esperan espesores de 3.8 a 4.50m y en la zona más occidental donde se realizaron los sondeos 1, 2, 1A, 3A, 6 y 7 se esperan espesores de 0.6 a 1.3 donde ya aparece el suelo residual de la Formación Bogotá.

- **Botaderos Aterrazados (Qb)**

Constituyen estos materiales una serie de escombros y antiguos depósitos de basuras, en algunos apiques que se realizaron se encuentra claramente la presencia de plásticos, fragmentos de ropa sin ningún tipo de disposición ni conformación, estos materiales están formando pequeños escalones en formas de bermas o terrazas se

ubican principalmente en el costado Oriental. Hacia el costado Nor Oriental el terraceo no es evidente y allí sobre el borde más Oriental del área se ha construido una cancha de baloncesto. Estos materiales se encuentran conformados por botaderos antiguos sin ninguna disposición adecuada. En los apiques 1, 3 y sondeos 5A, 6A, 9 y 11 se encontraron espesores variables de 1.70 a 2.50m. En el sondeo 4A se encontró un espesor de botaderos de 4.20 m.

- **Mantos Deslizantes (Qd)**

Corresponden a cuerpos de deslizamientos sobre los antiguos botaderos y aparecen principalmente sobre las cercanías a la cancha de baloncesto y en la parte más Oriental de los edificios actualmente construidos. Los rasgos más importantes se describirán en el capitulo de morfodinámica. El material que la compone son rellenos y botaderos.

- **Zona Pantanosa (Qp)**

Hacia la parte intermedia del lote en la parte semiplana debido al mal manejo de las aguas se presentan pequeños empozamientos y da origen a una pequeña unidad pantanosa en donde se alcanzan a distinguir algunas especies características de zonas de alta humedad. Son constituidos básicamente por materiales plásticos arcillosos hacia la parte distal de los flujos de tierra que se enfrenta con estos en la parte más Oriental.

4.2 CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

En cuanto a las características estructurales el lote corresponde a una estructura monoclinal, es decir la presencia de superficies estructurales buzando en una sola dirección , aunque no es completamente uniforme el sentido del buzamiento si se tiene una tendencia hacia el Nor Occidente, siendo los buzamientos más suaves en el costado Occidental lo cual indica que muy cercano se encuentra la presencia de un eje sinclinal, el único afloramiento del costado Oriental está con un buzamiento mayor del orden de 30° hacia el Occidente.

5 GEOMORFOLOGÍA

5.1 GEOFORMAS

Desde el punto de vista de geoformas se presentan dos unidades:

5.1.1 Geoformas de Origen Deposicional

En la zona predomina ampliamente una unidad de origen deposicional constituida principalmente por rellenos antrópicos de antiguas explotaciones, seguramente de chircales y de acumulación de botaderos hacia el costado Oriental. Hacia el centro de la urbanización hay algunos rellenos conformados principalmente por escombros de construcción y en algunos sectores materiales de antiguos cortes en forma de acumulaciones locales.

5.1.2 Geoformas de Origen Denudacional - Estructural

Otro tipo de geoformas corresponden a unidades de origen denudacional estructural las cuales tan solo se encuentran en dos puntos en los afloramientos de la Formación Bogotá se trata en el costado Occidental de un afloramiento de areniscas de estratificación cruzada en donde se aprecia una contrapendiente como se observa en a Fotografía No.3.



Fotografía No. 3. Detalle de los afloramientos de la formación bogota con ligero buzamiento hacia el Nor Occidente. Aquí se observa la contrapendiente de los estratos.

5.2 MORFODINÁMICA

En el lote es notorio el cambio de pendiente, el costado oriental se encuentra conformado por una pendiente fuerte en donde se encuentran principalmente botaderos dispuestos directamente sobre la pendiente original, estos materiales no presentan ningún tipo de consolidación y en el costado oriental se encuentran manifestaciones de deslizamientos recientes los cuales afectan incluso una cancha de baloncesto que se observa en los planos que se anexan. En este mismo sector, cercano a una zona de menor pendiente correlacionado con un flujo de tierras y con un antiguo cauce de la quebrada conocida como las golondrinas, se detectaron antiguos flujos de tierra conformados principalmente por arcillas desintegradas de arcillolitas de la formación Bogotá. Casi toda la extensión del lote se encuentra conformado por un terreno ondulado con algunas irregularidades y por antiguos botaderos que están cubriendo una paleo topografía que según las fotografías aéreas indican un pequeño cono de deyección. Este se encuentra actualmente enmascarado por todos los procesos de acumulación de escombros y basuras que se ubicaron en este punto. En el sector hay un pequeño microrelieve conformado por suelos residuales de la formación Bogotá principalmente de tipo arenoso derivado de las intercalaciones de arenisca de la formación mencionada.

Desde el punto de vista de fenómenos de remoción en masa los que generan mayor susceptibilidad a los deslizamientos corresponden a los botaderos ubicados en el costado Oriental y NorOriental así como los flujos de tierra.

La morfodinámica contempla tanto la expresión del drenaje y su desarrollo genético como los procesos. A continuación se hace una descripción tanto de las características del drenaje desde el punto de vista de integración, adaptación y génesis y posteriormente se describen los procesos dentro de los cuales está la erosión y fenómenos de remoción en masa

5.2.1 Drenaje

Este en general mal integrado es decir en algunos sectores hay acumulaciones anómalas de agua como el que se encuentra en la parte Central y en otros puntos donde hay la presencia de alcantarillas el agua penetra y no tiene continuidad en superficie.

Desde el punto de vista *genético*, los dos valles presentes en el área están enmascarados por dos flujos de tierra pero que corresponden a corrientes de tipo *resecuente*, los cuales se han entallado más sobre la superficie estructural original, y se ubican al costado Oriental de la Urbanización.

Desde el punto de vista de *adaptación* los valles pequeños que hay en la zona se consideran de tipo inadaptado por antecedencia.

En cuanto al *patrón* éste se caracteriza por tener una tendencia a subparalelo debido al desarrollo de los drenajes que estaban controlados por las superficies estructurales, en la actualidad hay dos pequeños valles que conservan un seudo paralelismo como se ve en la cartografía que se anexa.

5.2.2 Procesos Erosivos

Desde el punto de vista erosivo en la zona hay una cobertura de pastos y no se presentan sino pequeños afloramientos de roca hacia el costado Sur Occidental en donde hay erosión laminar y se desprenden pequeños granos del escarpe que se ilustra en la Fotografía No. 4.



Fotografía No. 4. Evidencias de inestabilidad en el costado Oriental sobre la cancha de bascket desplazada y deformada en el borde de antiguos botaderos

5.2.3 Fenómenos de Remoción en Masa.

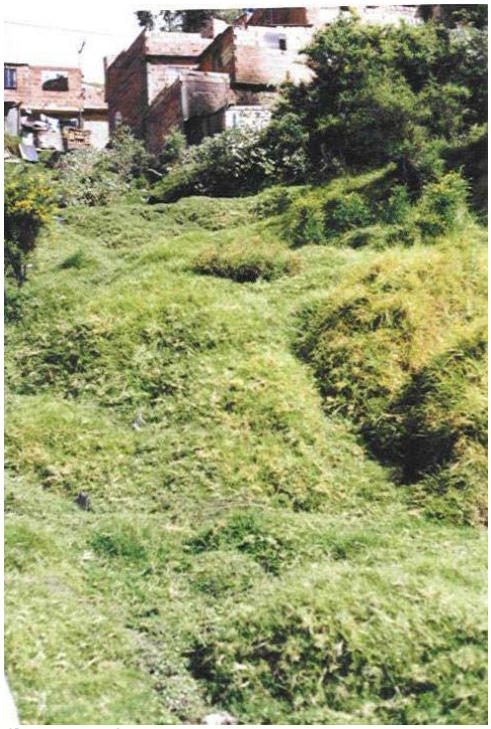
Es quizás la parte más destacada dentro de la morfodinámica, en esta zona se pudieron reconocer dos tipos principales de remoción en masa:

El primero corresponde a deslizamientos que se han desarrollado sobre antiguos rellenos de botaderos. El más destacado se ubica en la cancha Nor Oriental en su costado Sur Occidental en donde se ha provocado el desplazamiento del relleno lateral que se ha colocado así como un pequeño andén que se ha hundido y deformado como

se ilustra en la Fotografía No. 5. Allí los materiales están conformados principalmente por rellenos que descansan sobre botaderos mal conformados.

El segundo corresponde al sector hacia el fondo de los valles en donde se encuentran dos flujos de tierra bastante evidentes como se ilustra en la cartografía; los cuales corresponden a acumulaciones arcillosas y también con materia orgánica que han venido presentando movimientos relativamente lentos pero que han dejado escarpes pequeños lo mismo que lóbulos de deformación, observándose bastante húmedos y constituyendo un sector de estabilidad precaria.

En general la zona de botaderos por estar mal conformados es altamente susceptible a la formación de deslizamientos, ubicados como se mencionó anteriormente en la cancha de baloncesto y en el talud del costado Oriental de los edificios construidos.



Fotografía No. 5. Se ilustra el detalle de los corrimientos y formaciones de lóbulos de deformación.

5.2.4 Actividad Antrópica.

Como se mencionó anteriormente se observaron procesos de depositación de botaderos sin compactación adecuada.

5.3 ZONIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA

Desde el punto de vista de zonificación en la zona se distinguen básicamente cuatro (4) unidades geomorfológicas:

1. La zona de los rellenos constituida por materiales reconformados en una pequeña planicie hacia la parte Central y Oriental de la zona.
2. La zona de afloramientos de arenisca con buzamiento suave en el costado Sur en donde aparecen escarpes en este tipo de rocas que constituyen materiales firmes con alta capacidad portante.
3. Hacia el costado Oriental se encuentra la zona de antiguos botaderos la cual está surcada por dos flujos de tierra que se aprecian en el sector. Así mismo sobre los botaderos se distinguen dos deslizamientos sobre estos antiguos botaderos.
4. Dos franjas de flujos de tierra concentrados en las depresiones de antiguos valles en donde se aprecian movimientos en masa recientes.

El mapa geomorfológico ilustra estas unidades (*Ver anexo figura No. 3*).

6 CLIMA Y SUELOS

6.1 PRECIPITACIÓN

La zona suroriental de Bogotá, donde se ubica el proyecto, tiene una precipitación real promedia aproximada de 1300 mm (no hay registros locales y por tanto se extrapola de las estaciones más cercanas operadas por el IDEAM) con dos períodos lluviosos comprendidos entre los meses de Marzo – Junio y Septiembre – Noviembre. Las precipitaciones máximas diarias reportadas son de 120 mm, con un promedio anual de 210 días lluviosos.

6.2 EVAPOTRANSPIRACIÓN Y HUMEDAD RELATIVA

La evapotranspiración media es media (aproximadamente 220 mm/mes) con una insolación media de 4,1 horas/día y 1400 horas al año, lo que implica una temperatura media anual de 13,8º con máximos medios de 19,0º y mínimos medios de 8,0º a la altura de 2890 m.s.n.m. La humedad relativa media es baja, con un promedio anual de 75%, con mínimos promedios mensuales de 66% y máximos de 79%.

6.3 CLIMA

Esta zona de Bogotá tiene un clima a estándares internacionales de tipo seco. El clima frío y húmedo permite la proliferación de vegetación a pesar de la relativamente alta pendiente de la superficie permitiendo el enraizamiento de plántulas en cualquier rescoldo con capacidad de soporte de tierra.

6.4 SUELOS

Los suelos son arcillosos a francoarcillosos, mal drenados y espesor de 30 a 50 cm. Su aptitud agrológica es baja.

La cobertura vegetal es abundante pero no nativa a ras de tierra es pobre y por ende se presenta un menor potencial de erosionabilidad especialmente debido a la presencia de especies foráneas de comportamiento no armónico con el perfil y el clima.

Donde quiera que se observa vegetación nativa arbustiva, el comportamiento del suelo es superior en su resistencia a la erosión y a los movimientos superficiales de masas.

La cobertura vegetal así como la escorrentía superficial están adecuadamente manejadas.

7 HIDROGEOLOGÍA

Las rocas que se encuentran bajos los depósitos están conformadas por intercalaciones de areniscas y arcillolitas, en las areniscas se encuentra una permeabilidad primaria bastante baja pero debido al tectonismo se han generado, fenómenos de diaclasamiento y se puede presentar alguna porosidad secundaria la cual al ser ocupada por los fluidos como el agua generan acuíferos confinados, su rendimiento es relativamente bajo y puede ser del orden de 0.5 l/s según algunos patrones similares en otras mediciones hechas dentro de la formación bogota en este tipo de estratos. Los acuíferos no confinados o libres están hacia la parte superior y se desarrollan principalmente dentro de los botaderos hasta los suelos los suelos residuales. Hay una limitante o un acuicierre en los suelos residuales de la formación Bogota, es decir que el agua subterránea de los acuíferos libres de los botaderos llega únicamente hasta el suelo residual. Su profundidad se estima de 5 a 6 m aproximadamente.

El sector se considera como un área de recarga especialmente en las zonas de las areniscas, donde son frecuentes los acuíferos confinados en los paquetes de arenisca en las arcillolitas. En algunos sectores se presentan pequeños flujos de agua que van desde el goteo hasta pequeños flujos especialmente por los cambios litológicos.

En uno de los apiques ejecutados se detectó la presencia de agua relativamente superficial.

En cuanto a los depósitos cuaternarios como son los botaderos y rellenos en general pueden presentar acumulaciones en las épocas de invierno por retención de agua dentro de estos materiales no consolidados.

En la parte Central existe una acumulación importante de agua pero más que todo se debe a la obstrucción del drenaje que ha formado un pequeño pantano en el sector y esta agua provienen de las infiltraciones de la parte alta seguramente por mal manejo de las viviendas que se encuentran en el costado más Oriental.

En conclusión, el acuífero más importante que se puede tener en el sector corresponde a las areniscas de la Formación Bogotá las cuales pueden dar caudales de 1 a 3 lt/seg al ejecutar eventualmente una perforación en estos mantos de arenisca.

8 SISMOLOGÍA

De la microzonificación sísmica el sector hace parte de la Zona 1 correspondiente a cerros orientales con los siguientes factores espectrales para el diseño de acuerdo con la zona:

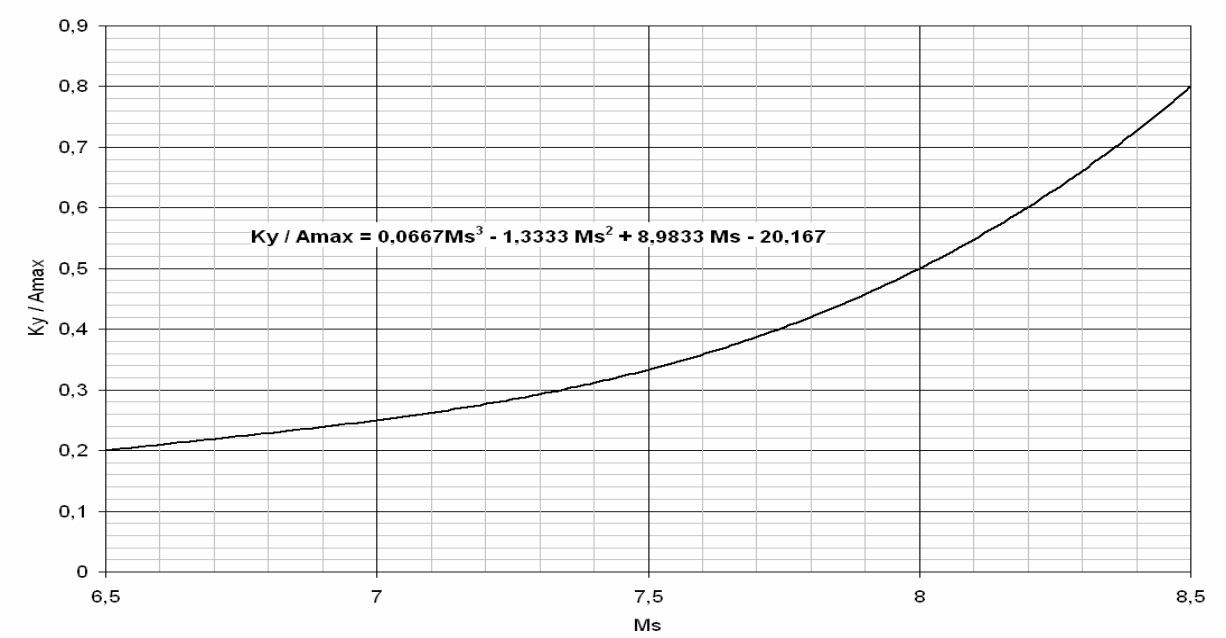
-Período inicial, To=	0.20
-Período corto, Tc=	1.00
-Período Largo, TL=	5.00
-Aceleración máxima, Am=	0.24
-Aceleración Nominal, An=	0.30
-Factor de amplificación de la aceleración, Fa=	1.00
-Factor de amplificación de la aceleración en el rango de velocidades constantes, Fv=	2.00

Para efectos de análisis se utilizaron los resultados del estudio de microzonificación sísmica de Bogotá, donde se obtienen los niveles de aceleración en superficie a nivel local. Para los análisis probabilísticos de estabilidad, se modeló la aceleración pseudo-estática como una distribución exponencial truncada, ajustando los datos aportados por el estudio de microzonificación. Se considera que estas aproximaciones son válidas y que más aún pueden ser un poco conservadoras teniendo en cuenta lo siguiente:

- Los análisis se realizaron por el método seudo-estático, el cual ofrece una aproximación simple para la evaluación de la estabilidad de taludes afectados por sismos. En este, el método del equilibrio límite es modificado incluyendo fuerzas (horizontales y verticales) sísmicas que son usadas para simular las fuerzas inerciales potenciales debido a la aceleración en un sismo. Las fuerzas sísmicas son asumidas proporcionalmente al peso de la potencial masa deslizante, por medio de los coeficientes de aceleración k_h y k_v.

- Los análisis de estabilidad pseudo-estáticos son relativamente simples pero involucran algunas aproximaciones; el error más común es el uso del valor pico de la aceleración con el coeficiente sísmico, ya que, aunque hay una pérdida de

resistencia, su uso puede ser muy conservador debido a que este pico actúa momentáneamente en una dirección. Es por ello que hay diversas recomendaciones para la obtención del valor del coeficiente de aceleración; entre ellas la propuesta presentada por Pike (2001) resumida en la siguiente figura.



Selección del coeficiente de aceleración para análisis pseudo-estáticos (adaptado de Pike, 2001)

Segunda Parte: Evaluación de procesos de inestabilidad

1 PROCESOS DE INESTABILIDAD

1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

En los cerros Orientales normalmente se presentan dificultades desde el punto de vista de estabilidad, en el sector son muy frecuentes los flujos de tierra concentrados en los fondos de los valles antiguos y es así como en épocas de inviernos fuertes muchos de estos flujos se reactivan y son los causantes de algunas emergencias a lo largo de los valles especialmente si se han construido viviendas sobre estos tipos de materiales plásticos y con signos de inestabilidad.

Normalmente durante los periodos invernales las emergencias que allí ocurren se presentan por las reactivaciones de los flujos de tierra.

Desde el punto de vista estructural la zona es altamente susceptible a la formación de deslizamientos planares cuando se ejecutan cortes mayores a 6 m en este caso se generan dentro de lo que son los estratos de la Formación Bogotá.

En la zona de la urbanización no se detectó un estrato propiamente dicho pero es conveniente aclarar que si se tienen planeadas excavaciones sobre el costado Oriental se deben tener en cuenta la distribución litológica así como el buzamiento desfavorable en los taludes Orientales.

Se consultaron fotografías de 1994 en donde no están incluso los edificios que actualmente están cercanos al lote, según la interpretación en la parte baja del lote se encuentran principalmente botaderos y coluviones; se alcanza a distinguir la presencia de un pequeño cono de deyección lo cual indica que antes de los botaderos hubo una acumulación de materiales arcillosos con algunos bloques probablemente de la Formación Bogotá.

Es notorio el avance de los botaderos que actualmente se encuentran dentro de la urbanización, así mismo los flujos de tierra que se han detectado dentro del reconocimiento de campo aparecen bien diferenciables en esta fotografía. En cuanto a la geología del contorno es un área de alta susceptibilidad a los fenómenos de remoción en masa en la cuenca alta de la quebrada las golondrinas como se llama en el camino a Vitelma y donde hay una acumulación de materiales de antiguos botaderos que obstruyen el cauce y ocasionan una gran inestabilidad en estas laderas también es de anotarse que existen otros deslizamientos en la misma cuenca como el que esta afectando en la fotointerpretación parte del talud interior del camino de Balcanes. Se puede decir que es una zona de alta susceptibilidad especialmente durante las épocas invernales y si se adiciona también la presencia de un sismo, se pueden generar desprendimientos y descargas torrenciales que pueden llegar a afectar la parte de la urbanización en su costado Nor Oriental enfrentado con el antiguo cauce de la quebrada que se mencionó anteriormente, se consultaron fotografías más recientes pero las escalas son del orden de 1:30000 y no se resuelven los datos en detalle como en esta fotografía, pero complementado con la observación en campo se puede establecer la evolución del lote en cuanto a los depósitos de botadero y en cuanto a los materiales que se encontraban antes de hacer la intervención.

1.2 EVIDENCIAS DE PROCESOS DE INESTABILIDAD

Ya se mencionó en el capítulo de fotointerpretación sin embargo se puede aclarar que las zonas mas susceptibles a los fenómenos de remoción en masa son los flujos de tierra y los botaderos que circundan el contorno Nor Oriental del lote estudiado, en cuanto a los mecanismos de falla son principalmente deslizamientos traslacionales originados por la sobrecarga de los botaderos y la zona de flujos de tierra son también traslacionales y se ocasionan principalmente por la pérdida de soporte lateral si se hace un corte hacia la base de estos y se pueden reactivar en períodos invernales fuertes que coincidan con un sismo, por esta razón es aconsejable hacer una descarga de estos flujos y no efectuar cortes sin la construcción de elementos de soporte lateral

Los botaderos en la parte Sur Oriental del lote tienen un área de 4765 m^2 y son susceptibles de deslizarse en un espesor promedio de 4 m, los botaderos del costado

Nor Oriental tienen un área de 6200 m² y un espesor promedio de 2.2 m, el deslizamiento del costado Nor Oriental (No.1) su área es de 310 m² y su espesor puede ser del orden de 3 m en promedio, el deslizamiento No. 2 tiene un área de 362 m² y el promedio puede ser de 4 m de espesor, el flujo de tierras del cañón de la quebrada golondrinas es de 1181 m² y su espesor puede ser de 4 m otro flujo en el costado oriental corresponde a un área de 472 m² con un promedio de 5 m de espesor. *Hacia el fondo de la cañada existe un proceso erosivo en un canal de piedra pegada el cual debe repararse mediante un relleno principalmente con material de la misma zona haciendo una compactación lateral y protegiéndolo con vegetación, además hacer un trincho pequeño paralelo al cortacorrientes de 12 m de longitud en bolsas de suelo cemento.*

En el sector se detectaron dos tipos de inestabilidad las zonas de flujos de tierra concentradas en los valles en donde hay materiales plásticos con bastante humedad y en algunos sitios también con contenido de materia orgánica, el otro punto inestable claramente visible corresponde a un deslizamiento ubicado sobre la cancha de baloncesto que se encuentra en el costado Nor Oriental.

Otras cicatrices de deslizamientos ocurren en los taludes de los botaderos antiguos y talvez el más importante es el que se encuentra enfrentado con el bloque de edificios actualmente construidos sobre la margen Oriental.

1.3 INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA

El estudio de las características litológicas del sector se realizó por medio de 3 apiques con una profundidad de 2.00 m excavados a mano,. A lo largo de estos se tomaron muestras alteradas para inspección visual y posterior envío al laboratorio a ensayos de contenidos de humeda, granulometrías y clasificación USC. La descripción de los apiques se muestra a continuación:

- **Apique No. 1**

Se realizó sobre un botadero, se presenta la siguiente estratigrafía empezando de la superficie al fondo de la excavación:

De 0.00 a 2.00 m relleno heterogéneo compuesto de arcilla limo, basura y raíces

- **Apique No. 2**

Se encuentra sobre un flujo de tierras, se presenta la siguiente estratigrafía empezando de la superficie al fondo de la excavación:

De 0.00 a 2.00 m relleno heterogéneo compuesto de arcilla limo, escombros y capa vegetal en descomposición.

- **Apique No.3**

Se encuentra sobre un botadero del cual se tiene la siguiente descripción:

De 0.00 a 2.00 m relleno heterogéneo compuesto de arcilla limo, basura y escombros.

Los apiques excavados en esta última etapa, se complementaron mediante 8 sondeos de 6.0 m de profundidad perforados con un equipo de percusión y lavado en una etapa inicial para el estudio de suelos de las casas y posteriormente mediante 7 sondeos con profundidades entre de 3.0 y 6.70 m de profundidad perforados con un equipo de percusión y lavado y 4 apiques entre 0.8 y 3.0 m de profundidad excavados a mano para la proyección de nuevas torres. En los sondeos se realizó el ensayo de penetración estándar como índice de consistencia de los suelos arcillosos y medida de la densidad de los suelos granulares que allí se encuentran. Adicionalmente, a lo largo de las perforaciones se tomaron un número suficiente de muestras alteradas para inspección visual y de los mantos que se consideró necesario, se enviaron muestras inalteradas al laboratorio para ensayos de granulometría, humedad natural, límites de Atterberg y clasificación AASHO y USC. La descripción de los sondeos se muestra a continuación:

- **Sondeo 1A**

El sondeo se realizó sobre los rellenos semiconformados muy superficiales.

0.00 –0.20 Arcilla limosa carmelita
0.20 – 3.00 Arena fina gris con oxido
3.00 – 6.00 Arena fina gris de mayor resistencia

- **Sondeo 2A**

El sondeo se realizó sobre los rellenos semiconformados de 2.20 m de espesor sobre el suelo residual.

0.00 –2.20 Relleno de escombros
2.20 – 4.00 Arena fina gris
4.00 – 6.00 Arena fina gris de mayor resistencia

- **Sondeo 3A**

El sondeo se realizó sobre el suelo residual de la Formación Bogotá.

0.00 –2.00 Arena gris clara
2.20 – 4.10 Arena fina amarilla
4.10 – 6.00 Arena fina amarilla

- **Sondeo 4A**

El sondeo se realizó sobre los botaderos aterrazados con un espesor de 4.20m, sobre el suelo residual.

0.00 –4.20 Relleno de suelo residual gris y basuras
4.20 – 6.00 Arcillolita gris de consistencia muy dura

- **Sondeo 5A**

El sondeo se realizó sobre botaderos aterrazados de espesor 1.60m sobre el suelo residual.

0.00 –1.60 Relleno de escombros y basura
1.60 – 6.00 Arena fina carmelita

- **Sondeo 6A**

El sondeo se realizó sobre botaderos aterrazados hasta una profundidad de 2.20m sobre los suelos residuales de la Formación Bogotá.

0.00 –2.20 Relleno de escombros y basuras
2.20 – 6.00 Arena fina carmelita

- **Sondeo 7A**

El sondeo se realizó sobre rellenos semiconformados de 3.80 m de espesor sobre suelo residual.

0.00 – 3.80 Relleno de escombros y basuras
3.80 – 6.00 Arena fina carmelita

- **Sondeo 8A**

El sondeo se realizó sobre rellenos semiconformados de 4.10 m de espesor sobre los suelos residuales:

0.00 – 4.10 Relleno de escombros y basuras
4.10 – 6.00 Arena fina carmelita

- **Sondeo 1**

Se encuentra sobre un relleno semiconformado de topografía plana, con un espesor de 0.60m sobre el suelo residual de la Formación Bogotá, con la siguiente estratigrafía empezando de la superficie al fondo de la excavación:

0.00 – 0.60 Relleno compuesto de limo, gravas y escombros
0.60 – 2.30 Arena limosa carmelita con óxidos, compacta
2.30 – 3 .00m Arena carmelita con vetas de oxido muy compacta

- **Sondeo 2**

Se encontró un relleno de 1.30 m de espesor sobre el suelo residual, a continuación se presenta la siguiente estratigrafía empezando de la superficie al fondo de la excavación:

0.00 – 1.30 Relleno compuesto de limos y escombros
1.30 – 4.00 Arena arcillosa gris carmelita de densidad compacta
4.00 – 5.00m Arena carmelita gris con vetas de oxido muy compacta

- **Sondeo 3**

Se encuentra sobre rellenos semiconformados de 4.10 m de espesor con la siguiente estratigrafía empezando de la superficie al fondo de la excavación:

0.00 – 4.10 Relleno compuesto de limo arena y escombros.
4.10 – 5.80 Arena arcillosa gris arcillolita muy compacta
5.80 - 6.40 Arena gris carmelita muy compacta

- **Sondeo 4**

El sondeo se realizó sobre los rellenos semiconformados con un espesor de 3.80 m sobre el suelo residual, con la siguiente estratigrafía empezando de la superficie al fondo de la excavación:

0.00 – 3.80 Relleno Compuesto de limo y escombros
3.80 – 4.80 Arcilla Carmelita gris dura
4.80 – 5.70 Arcilla arenosa morada muy dura

- **Sondeo 5**

El sondeo se realizó sobre los rellenos semi conformados en una superficie semi plana con un espesor de 4.50 m cubriendo el suelos residual, , con la siguiente estratigrafía empezando de la superficie al fondo de la excavación:

0.00 – 4.50 Relleno Heterogéneo de limo arena y escombros
4.50 – 5.70 Arcilla carmelita gris con vetas de óxidos y consistencia dura
5.70 – 6.70 Arcilla morada gris consistencia muy dura

- **Sondeo 6**

El sondeo se realizó sobre rellenos semi conformados sobre yaciendo el suelo residual de la Formación Bogotá.

0.00 –1.20 Relleno heterogéneo con arena, gravas y escombros
1.20 – 3.20 Arcilla arenosa gris muy dura
3.20 – 4.00 Limolita gris carmelita

- **Sondeo 7**

El sondeo se realizó sobre rellenos heterogéneo compuesto de arena y gravas hasta una profundidad de 0.90m sobreyaciendo el suelo residual de la Formación Bogotá.

0.00 – 0.90 Relleno heterogéneo con arena, gravas y escombros
0.90 – 3.20 arcilla arenosa gris muy dura
3.20 – 4.50 Arena carmelita muy compacta

- **Apique No. 1A**

El apique se realizó a un costado del flujo de tierras en donde localmente el espesor es de 80 cm.

0.00 – 0.15 Capa vegetal, limo orgánico con óxido
0.15 – 0.60 Arena limosa gris oscura con óxido y raíces
0.60 – 0.80 Arcillolita laminada gris con óxido muy dura

- **Apique No. 2A**

El apique se realizó sobre rellenos de botaderos antiguos, donde no se encontró el suelo residual.

0.00 – 0.20 Capa vegetal de limo orgánico con raíces
0.20 – 2.50 Relleno de arcilla con gravas, basura y raíces

- **Apique No.3A**

El apique se realizó sobre un antiguo flujo de tierras con un espesor mayor a 3.0 m.

0.00 – 1.80 Relleno de escombros y basuras
1.80 – 3.00 Relleno de escombros, arcilla y limo

- **Apique No.4A**

El apique se realizó sobre los botaderos aterrazados conformados por limos, escombros y gravas hasta una profundidad de 1.70, a partir de la cual se encuentra el suelo residual.

0.00 – 0.80 Capa vegetal, relleno y escombros
0.80 - 1.70 Relleno de limo, gravas y escombros
1.70 – 2.40 Arcilla con óxido muy dura

Los apiques realizados en la última etapa fueron revisados por el geólogo de esta oficina cuyo concepto hace parte del presente informe. A continuación se muestra una tabla con las profundidades alcanzadas para cada una de las exploraciones:

Tipo de perforación	N°	Profundidad (m)	Equipo
Sondeo	1A	6.0	Percusión y Lavado
Sondeo	2A	6.0	Percusión y Lavado
Sondeo	3A	6.0	Percusión y Lavado
Sondeo	4A	6.0	Percusión y Lavado
Sondeo	5A	6.0	Percusión y Lavado
Sondeo	6A	6.0	Percusión y Lavado
Sondeo	7A	6.0	Percusión y Lavado
Sondeo	8A	6.0	Percusión y Lavado
Sondeo	1	3.0	Percusión y Lavado
Sondeo	2	5.0	Percusión y Lavado
Sondeo	3	6.4	Percusión y Lavado
Sondeo	4	5.7	Percusión y Lavado
Sondeo	5	6.7	Percusión y Lavado
Sondeo	6	4.0	Percusión y Lavado
Sondeo	7	4.5	Percusión y Lavado
APIQUE	1A	0.8	Excavado a mano
APIQUE	2A	2.5	Excavado a mano
APIQUE	3A	3.0	Excavado a mano
APIQUE	4A	2.4	Excavado a mano
APIQUE	1	2.0	Excavado a mano
APIQUE	2	2.0	Excavado a mano
APIQUE	3	2.1	Excavado a mano

La descripción promedio de la estratigrafía a partir de la cota actual del terreno es la siguiente:

a) 0.0 – 1.30/4.50 m.	Relleno heterogéneo compuesto por escombros, basuras y limos.
b) 1.30/4.50 - 6.70 m.	Arena carmelita y/o gris oxidada compacta a muy compacta y/o arcillolita amarilla rojiza a morada o gris oxidada de consistencia muy dura que clasifica como CH a CL. . N del ensayo SPT varía entre 26 y 106 golpes/pie.

No se encontró agua libre a las profundidades investigadas; sin embargo no se descartan flujos de agua atrapados en los rellenos durante la ejecución de las excavaciones proyectadas y a través de las fases de arenisca de la Formación Bogotá tal como se describe en los numerales anteriores

Es importante anotar que la profundidad y el número de sondeos que se han ejecutado para la exploración geotécnica y los ensayos de laboratorio realizados para este proyecto dan cumplimiento a lo establecido por el capitulo H de la norma de diseño NSR-98.

2 AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

A continuación se hace una zonificación de la amenaza teniendo en cuenta los materiales geológicos y procesos geomorfológicos en los cuales se pudieron identificar dos niveles de amenaza sin tener en cuenta el sismo y conservando las condiciones topográficas actuales (*Ver anexo figura No. 4*):

- **Alta.** Los fenómenos de remoción en masa mas destacados corresponden a los deslizamientos activos en el costado Oriental en la zona de la cancha y en la parte enfrentada con los edificios. También otro foco inestable de amenaza por remoción lo constituyen los dos flujos de tierra ubicados en el costado Oriental los cuales tienen lóbulos de deformación. Aunque no es un fenómeno de remoción en masa la zona Oriental de los botaderos constituye otra área de amenaza relativamente alta, puesto que los materiales no han sido compactados ni conformados además en uno de los apiques (apique No.2), se encontró agua lo cual agrava el fenómeno.

- **Intermedia**. Corresponde a la parte de relieve relativamente plano en donde se detectaron principalmente escombros de construcción mezclados con materiales excavados de la Formación Bogotá.

- **Baja**. Corresponde a la zona de afloramientos rocosos de la Formación Bogotá constituidos básicamente por areniscas.

2.1 GENERALIDADES

En forma general, el Factor de Seguridad (*FS*) de un talud está dado por la relación entre las fuerzas resistentes y las fuerzas actuantes. A su vez las fuerzas resistentes son función de los parámetros de resistencia del material (ángulo de fricción ϕ', y cohesión *c'*), la presión de poros (que se puede modelar como *Ru*), la aceleración producida por el sismo (α), el peso unitario (γ) y el ángulo del talud (β); las fuerzas actuantes, a su vez, son función del peso unitario (γ), el ángulo del talud (β), la presión

de poros (*Ru*) y la aceleración producida por el sismo (α). Se puede decir que, todas las anteriores variables son aleatorias (con su respectiva distribución de probabilidad) y que se pueden considerar como independientes; la convolución de estas variables (según el modelo de falla) determina la distribución de probabilidad del Factor de Seguridad (*FS*); se puede determinar la probabilidad de falla del talud (*Pf*) determinando la probabilidad de que el factor de seguridad sea menor o igual a 1.0.

Bajo la hipótesis de que las variables son independientes, se puede decir que la distribución de probabilidades del factor de seguridad es igual a la multiplicación de las funciones de distribución de probabilidad de las variables aleatorias, es decir:

$$f(FS) \quad = \quad f(\phi) \cdot f(c) \cdot f(\alpha) \cdot f(Ru)$$

Además, se tiene que:

$$FS \quad = \quad \varphi(\phi, c, \alpha, Ru)$$

Entonces, la probabilidad de falla se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$Pf \quad = \quad P\,(FS \le 1.0) \quad = \quad \iiint_S f(FS)\, dFS \quad = \quad \iiint_S f(\phi) \cdot f(c) \cdot f(\alpha) \cdot f(Ru)\, d\phi\, dc\, d\alpha\, dRu$$

En donde *S* es el conjunto de todo (ϕ', *c'*, α, *Ru*) tal que φ(ϕ', *c'*, α, *Ru*) es menor o igual a 1.0, es decir cuando el *FS* < 1.0 (falla del talud). Para la determinación de la probabilidad de falla de las diferentes secciones geotécnicas de análisis seleccionadas se utilizó el método de Monte Carlo, implementado en el software Slide 5.0 de la casa Rocscience Inc.

A continuación se presenta la variabilidad de los factores intrínsecos de los diferentes materiales que conforman la zona, los factores detonantes influyentes y los resultados de los análisis de estabilidad probabilísticas.

2.2 FACTORES INTRÍNSECOS

Para determinar la variabilidad de estos parámetros se tuvieron en cuenta las correlaciones con el ensayo de penetración estándar (SPT) en cada uno de los diferentes materiales objeto de análisis.

Como primera medida se obtiene el ángulo de fricción interna del material por medio de la correlación con el SPT, propuesta por Kishida; y finalmente y como validación de los valores a utilizar se revisan los obtenidos para depósitos similares en otros proyectos similares realizados por EYR posteriormente se determina el esfuerzo de corte en la falla (utilizando el criterio de falla de Mohr-Coulomb) dado esté ángulo (suponiendo un esfuerzo normal de falla igual al esfuerzo efectivo in-situ). Teniendo el total de los resultados (puntos de corte a diferentes esfuerzos normales) se puede determinar la línea de falla, obteniéndose así el ángulo de fricción efectivo y la cohesión efectiva del material.

A continuación se enuncian los pasos realizados para obtener los parámetros de resistencia de los materiales:

- El primer paso consiste en encontrar el N_{70} o número de golpes por pie corregido a una energía del 70%

- Una vez obtenido N_{70} se calcula el valor del ángulo de fricción interna (ϕ') por la correlación de Kishida:

$$\phi = \sqrt{20 \times N_{70}} + 15$$

- Siguiendo el criterio de falla de Mohr – Coulomb, se procede a calcular el valor correspondiente al esfuerzo cortante suponiendo una cohesión de cero (suponiendo que el ϕ' hallado anteriormente es el ángulo de fricción total).

- Se realiza una gráfica esfuerzo normal efectivo v.s. esfuerzo cortante obteniendo de la correlación lineal los valores de c' y ϕ'.

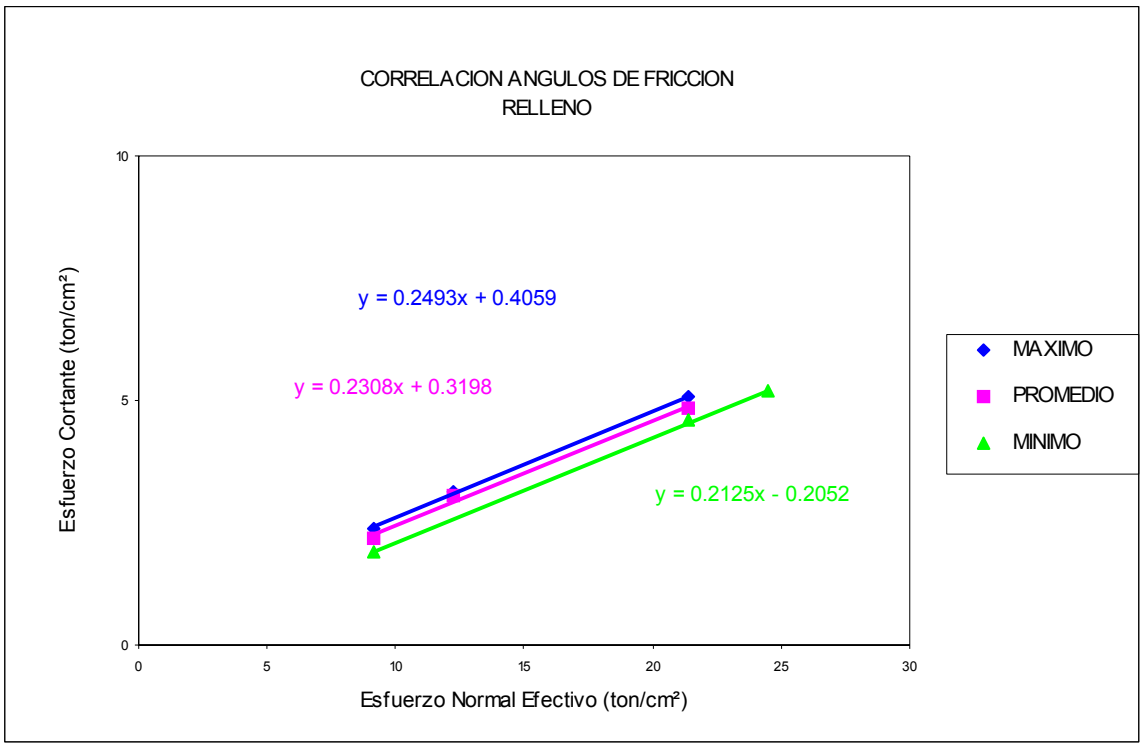
Los resultados obtenidos para el material de coluvión objeto de análisis, se presenta a continuación:

RELLENO

MAXIMO						
Profundidad (mts)	SPT (N)	SPT corr (N)	Angulo de fricción	Esfuerzo total confinamiento (ton/m²)	Esfuerzo efectivo (ton/m²)	Esfuerzo Cortante (ton/m²)
1.5	13	4	15	1.95	9.18	2.38
2	9	4	14	2.60	12.24	3.13
3.5	8	3	13	4.55	21.42	5.08

PROMEDIO						
Profundidad (mts)	SPT (N)	SPT corr (N)	Angulo de fricción	Esfuerzo total confinamiento (ton/m²)	Esfuerzo efectivo (ton/m²)	Esfuerzo Cortante (ton/m²)
1.5	8	3	13	1.95	9.18	2.18
2	8	4	14	2.60	12.24	3.06
3.5	6	2	13	4.55	21.42	4.86

MINIMO						
Profundidad (mts)	SPT (N)	SPT corr (N)	Angulo de fricción	Esfuerzo total confinamiento (ton/m²)	Esfuerzo efectivo (ton/m²)	Esfuerzo Cortante (ton/m²)
1.5	3	1	12	1.95	9.18	1.89
3.5	4	1	12	4.55	21.42	4.58
4	4	1	12	5.20	24.48	5.19



PROMEDIO RELLENO

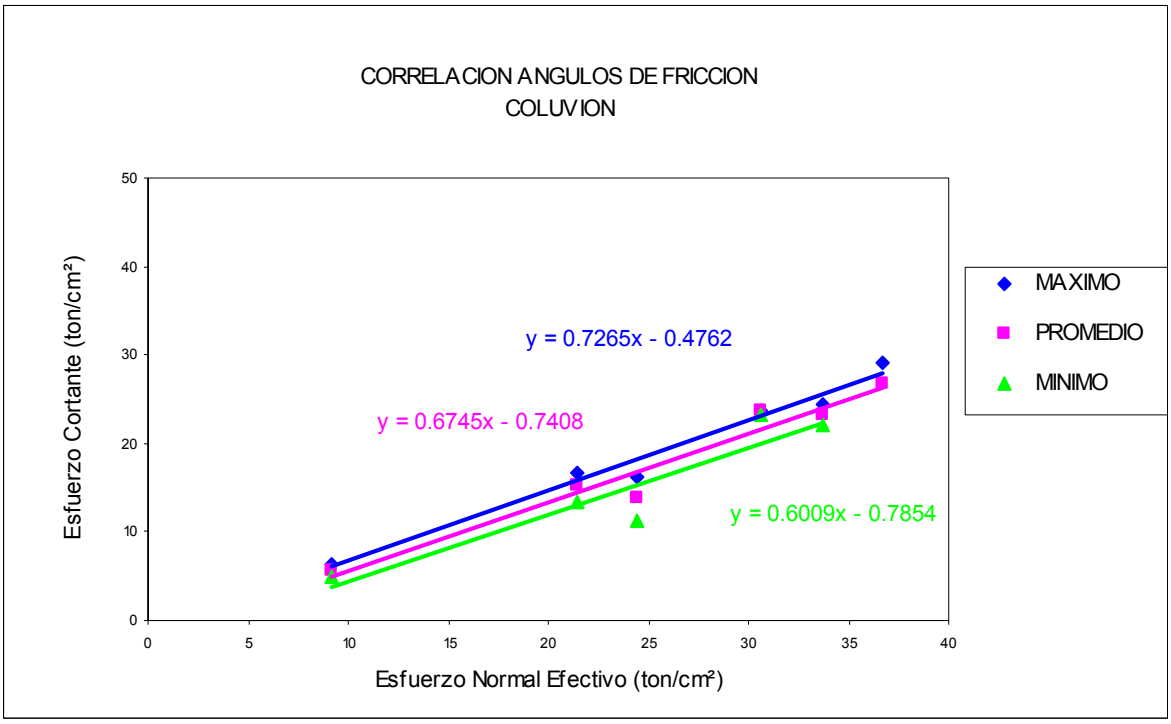
	C(Kg/cm²)	ϕ
promedio	0.32	12

COLUVION

MAXIMO						
Profundidad (mts)	SPT (N)	SPT corr (N)	Angulo de fricción	Esfuerzo total confinamiento (ton/m²)	Esfuerzo efectivo (ton/m²)	Esfuerzo Cortante (ton/m²)
1.5	60	20	35	1.95	9.18	6.39
3.5	80	26	38	4.55	21.42	16.70
4	55	17	33	5.20	24.48	16.12
5	96	26	38	6.50	30.60	23.80
5.5	85	22	36	7.15	33.66	24.44
6	110	27	38	7.80	36.72	29.03

PROMEDIO						
Profundidad (mts)	SPT (N)	SPT corr (N)	Angulo de fricción	Esfuerzo total confinamiento (ton/m²)	Esfuerzo efectivo (ton/m²)	Esfuerzo Cortante (ton/m²)
1.5	41	13	31	1.95	9.18	5.60
3.5	63	21	35	4.55	21.42	15.20
4	35	11	30	5.20	24.48	13.94
5	95	26	38	6.50	30.60	23.69
5.5	74	19	35	7.15	33.66	23.20
6	90	22	36	7.80	36.72	26.78

MINIMO						
Profundidad (mts)	SPT (N)	SPT corr (N)	Angulo de fricción	Esfuerzo total confinamiento (ton/m²)	Esfuerzo efectivo (ton/m²)	Esfuerzo Cortante (ton/m²)
1.5	26	9	28	1.95	9.18	4.89
3.5	43	14	32	4.55	21.42	13.29
4	15	5	25	5.20	24.48	11.20
5	90	25	37	6.50	30.60	23.18
5.5	65	17	33	7.15	33.66	22.15
6	80	20	35	7.80	36.72	25.61



PROMEDIO COLUVION

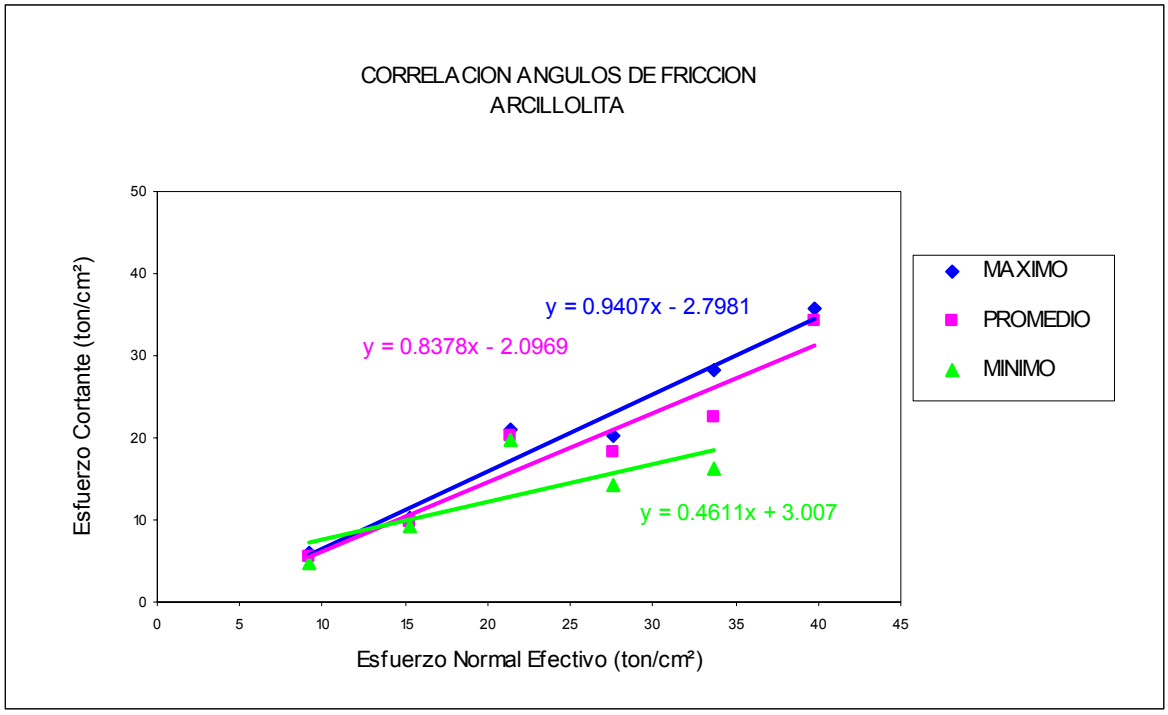
	C(Kg/cm²)	□
promedio	0.00	34

ARCILLOLITA

MAXIMO						
Profundidad (mts)	SPT (N)	SPT corr (N)	Angulo de fricción	Esfuerzo total confinamiento (ton/m²)	Esfuerzo efectivo (ton/m²)	Esfuerzo Cortante (ton/m²)
1.5	49	16	33	1.95	9.18	5.95
2.5	45	18	34	3.25	15.30	10.25
3.5	132	43	44	4.55	21.42	21.03
4.5	80	23	36	5.85	27.54	20.36
5.5	120	31	40	7.15	33.66	28.18
6.5	152	36	42	8.45	39.78	35.63

PROMEDIO						
Profundidad (mts)	SPT (N)	SPT corr (N)	Angulo de fricción	Esfuerzo total confinamiento (ton/m²)	Esfuerzo efectivo (ton/m²)	Esfuerzo Cortante (ton/m²)
1.5	38	12	31	1.95	9.18	5.47
2.5	40	16	33	3.25	15.30	9.84
3.5	123	40	43	4.55	21.42	20.29
4.5	59	17	33	5.85	27.54	18.19
5.5	68	18	34	7.15	33.66	22.51
6.5	139	33	41	8.45	39.78	34.18

MINIMO						
Profundidad (mts)	SPT (N)	SPT corr (N)	Angulo de fricción	Esfuerzo total confinamiento (ton/m²)	Esfuerzo efectivo (ton/m²)	Esfuerzo Cortante (ton/m²)
1.5	24	8	28	1.95	9.18	4.79
2.5	33	13	31	3.25	15.30	9.23
3.5	116	38	43	4.55	21.42	19.72
4.5	27	8	27	5.85	27.54	14.32
5.5	23	6	26	7.15	33.66	16.36
6.5	120	28	39	8.45	39.78	32.05



PROMEDIO ARCILLOLITA

	C(Kg/cm²)	□
promedio	3.0	39

2.3 FACTORES DETONANTES

2.3.1 Lluvia

La precipitación es el factor que comúnmente se asocia con los fenómenos de remoción en masa, debido a que la mayoría de los deslizamientos ocurren después de aguaceros de gran magnitud, o durante los periodos lluviosos, ya que al producirse la precipitación, el agua puede ser conducida por la superficie en forma de escorrentía o puede filtrarse a través de ella. El primero de estos dos fenómenos ocasiona problemas de erosión, principalmente en zonas donde no hay cobertura vegetal, donde la presencia de surcos y cárcavas puede hacer al talud susceptible al deslizamiento por medio de la infiltración. Por otro lado el agua de infiltración generará aumento en las presiones de poros y reducción de la resistencia del suelo en terminas de esfuerzos efectivos comprometiendo la estabilidad de los cortes

Para efectos de análisis se parte como referencia con la información obtenida a partir de estudios realizados por INGEOCIM-UPES, 1998 los cuales establecen la lluvia crítica para diferentes sitios de la ciudad de acuerdo con el siguiente cuadro, definiéndose como lluvia crítica como aquella que genera la falla del talud.

Relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual para la ciudad de Santafé de Bogotá (INGEOCIM - UPES, 1998)

ZONA	LLUVIA CRÍTICA (MM)	DURACIÓN (DÍAS)
Suroccidental	0.3609 x Lluvia anual (mm)	$3.2829 * LLcrit^{0.4157}$
Cerros orientales	12.6325 + 0.1814 x Lluvia anual (mm)	0.04923 * LLcrit

El sector en estudio se encuentra en la zona de Cerros Orientales, y puede ser caracterizado con la estación Venado DE Oro, cuya hidrografa mes a mes para el periodo comprendido entre enero de 1965 y 2004 que se incluye la final del rpesente informe y se utiliza como datos de entrada para el diseño de Drenajes y donde a partir de los valores de lluvia anual, se obtienen los resultados de la relación entre la lluvia anual y la lluvia crítica presentados a continuación.

Resultados obtenidos de la relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual[1]

Zona	Lluvia crítica (mm)	Duración (días)	Periodo de Retorno (años)	Probabilidad de Ocurrencia (%)
Cerros orientales	198.3	10	17	0.06

De acuerdo con estos resultados, se puede concluir que la precipitación acumulada crítica para la zona en estudio es del orden 198 mm, con duración de 10 días y una probabilidad anual de ocurrencia (1/Periodo de Retorno) del orden de 6.0 %, la cual será utilizada para efectos de análisis de estabilidad.

La distribución de probabilidad acumulada del nivel de agua, se ajustó a una distribución de probabilidad exponencial truncada, entre el nivel mínimo (referido como 0) y el nivel máximo (referido como 1), teniendo en cuenta el período de retorno de la lluvia crítica:

$$P(N \geq x) = \begin{cases} 1 & x < 0 \\ e^{-\lambda\left(\frac{x}{x-1}\right)} & 0 \leq x < 1 \\ 0 & x \geq 1 \end{cases}$$

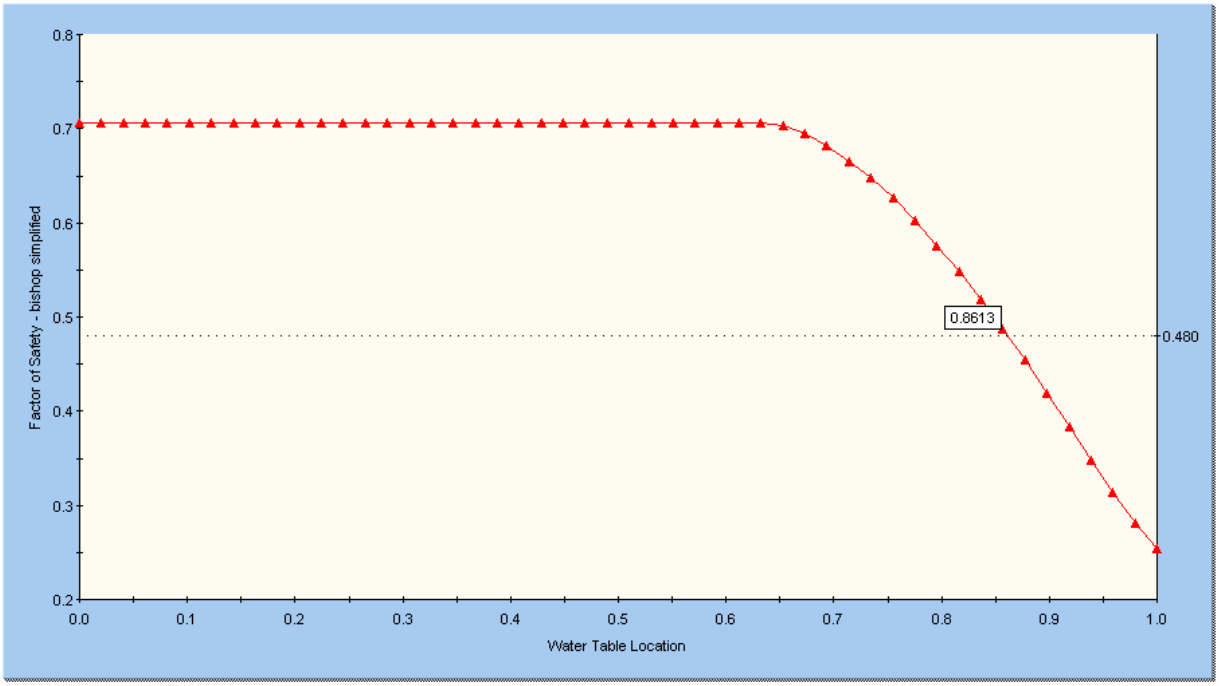
$$\lambda = \frac{Ln(T)}{N_c}$$

$$\lambda = \frac{1}{Np}$$

Nc : Nivel de agua critico
T : Período de retorno de la lluvia crítica
Np : Nivel de agua promedio

[1] González, A., Zamudio, E. y Castellanos, R. (1999). **Relaciones de precipitación crítica-duración que disparan movimientos en masa en Santafé de Bogotá, Colombia**. XI CPMSIF. Fox de Iguazú, Brasil.

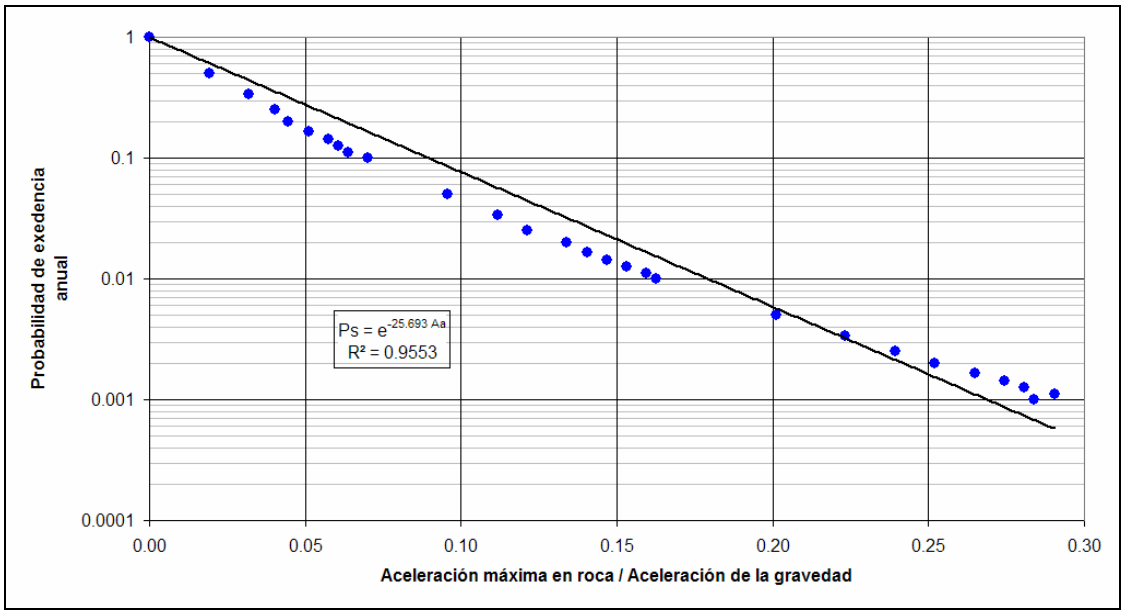
El nivel de agua crítico se define como el nivel del agua para el cual, en condiciones promedio, el talud presenta un factor de seguridad de 1.0; para determinarlo, para cada uno de los materiales encontrados en la zona de estudio, se realizaron análisis de sensibilidad del factor de seguridad y el nivel del agua para diferentes secciones de análisis. Los resultados obtenidos se presentan a continuación:



Parámetros estadísticos para el nivel del agua en los diferentes materiales

Sismo

Para determinar la variabilidad de la aceleración máxima horizontal a nivel de roca, se utilizaron los datos del estudio de microzonificación sísmica de Bogotá (AIS, 1997), ajustando los datos a una función de probabilidad exponencial (véase la Figura siguiente).



Probabilidad de excedencia del sismo en la zona ajustada a una distribución exponencial

2.4 RESULTADOS

2.4.1 Condición actual por deslizamiento

Para determinar la estabilidad de la zona en estudio se realizaron tres secciones de análisis representativas tanto del lote de estudio como de la ladera en general y localizadas donde se presentaran los mayores cortes.

Para clasificar la amenaza se utilizaron los factores de seguridad o probabilidades de falla por lo que se utilizó la escala usada para Bogotá (INGEOCIM-UPES, 1998) como se resume a continuación:

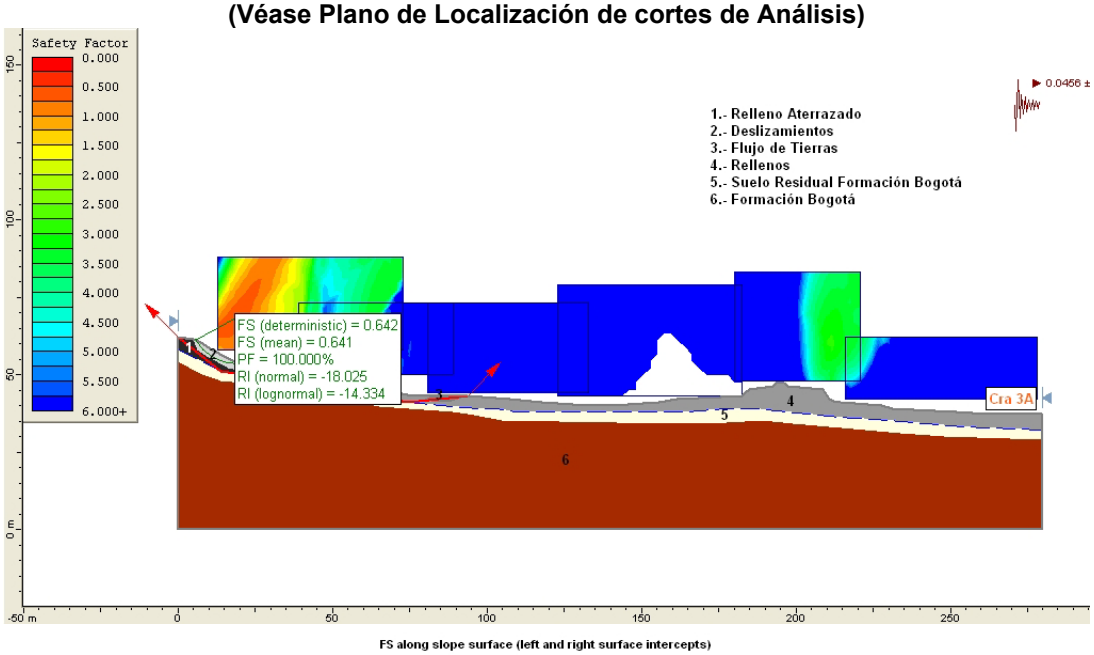
Tabla de amenazas

CATEGORIA DE AMENAZA	FACTOR DE SEGURIDAD
AMENAZA MUY ALTA	FS ≤ 0.6
AMENAZA ALTA	0.6 < FS ≤ 1.1
AMENAZA MEDIA	1.1 < FS ≤ 1.9
AMENAZA BAJA	1.9 < FS ≤ 3.4
AMENAZA MUY BAJA	FS > 3.4

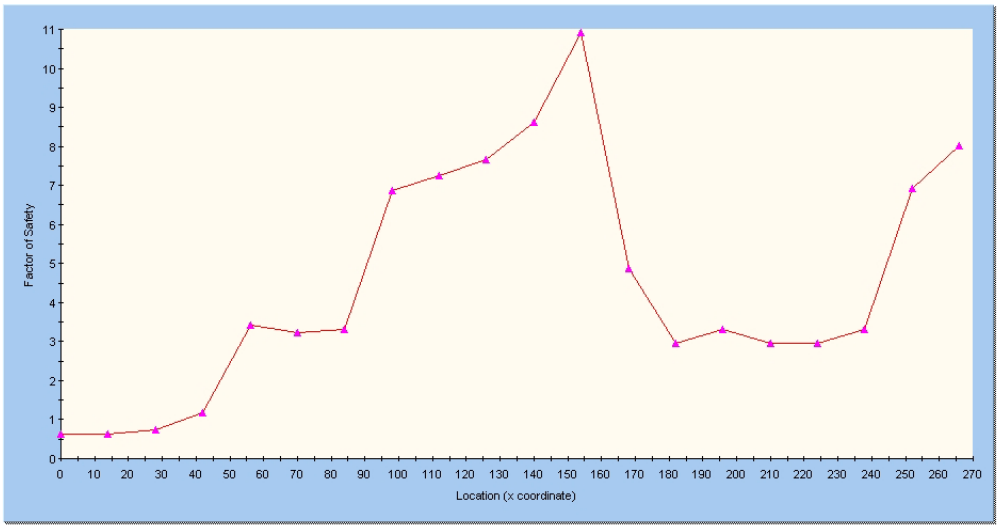
El resumen de los análisis de estabilidad probabilísticos para la condición actual se presenta en las siguientes figuras, allí se puede apreciar que en forma general en las laderas de la zona de estudio (Véase Plano de Localización de cortes de Análisis), los factores de seguridad para la condición actual del terreno varían entre 1.25 y valores menores a 1.0 con lo que se podría catalogar la zona como de amenaza alta a muy alta estos factores de seguridad se mantienen o bajan considerablemente al implementarle las sobrecargas por las obras proyectadas con lo que la zona se catalogaría como de a enaza alta a muy alta. Estos factores de seguridad bajos se deben a que en algunos sectores del predio se presentan antiguos botaderos y rellenos antrópicos los cuales en algunos lugares se convirtieron en cuerpos deslizantes y/o flujos de tierras lo cual indica la alta probabilidad de falla de dichos taludes sin la implementación de obras de mitigación.

Finalmente los niveles de agua adoptados corresponden a la tabla crítica que podría generar una condición de falla

CORTE B-B' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA (Falla Rotacional)
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)

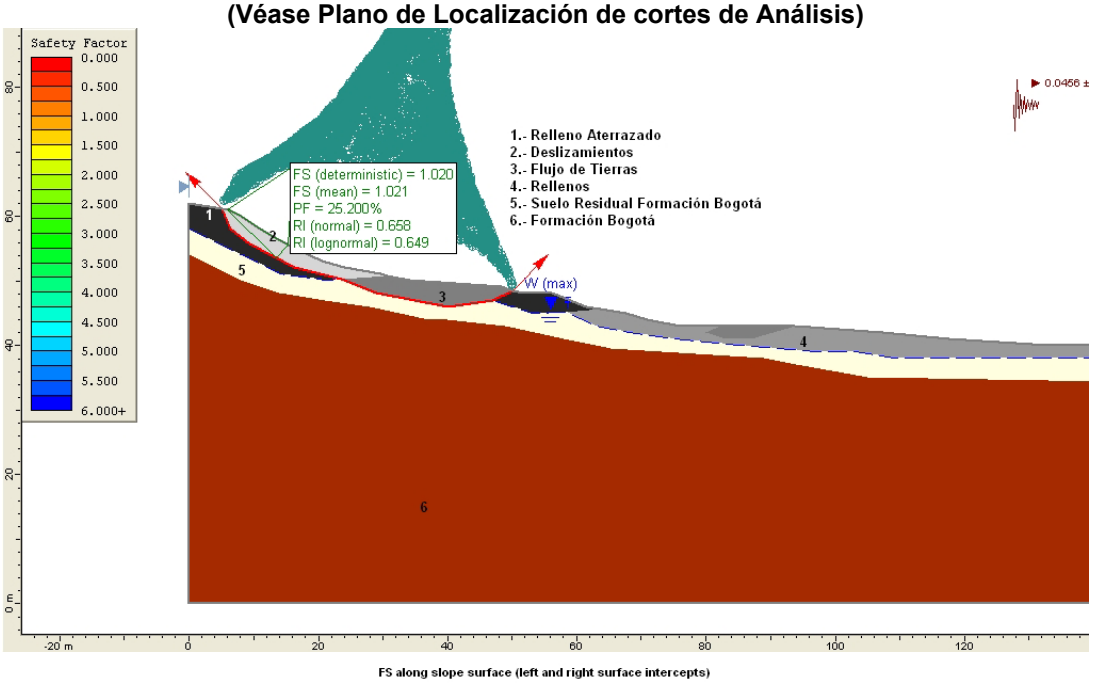


FS along slope surface (left and right surface intercepts)

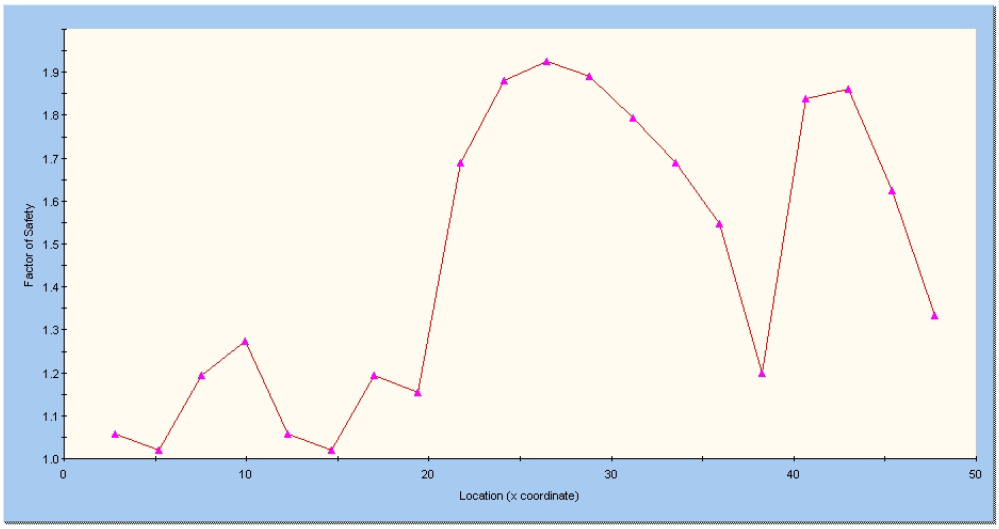


Factor de seguridad Vs. Abscisa

CORTE B-B' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA (Falla Translacional)
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)



FS along slope surface (left and right surface intercepts)

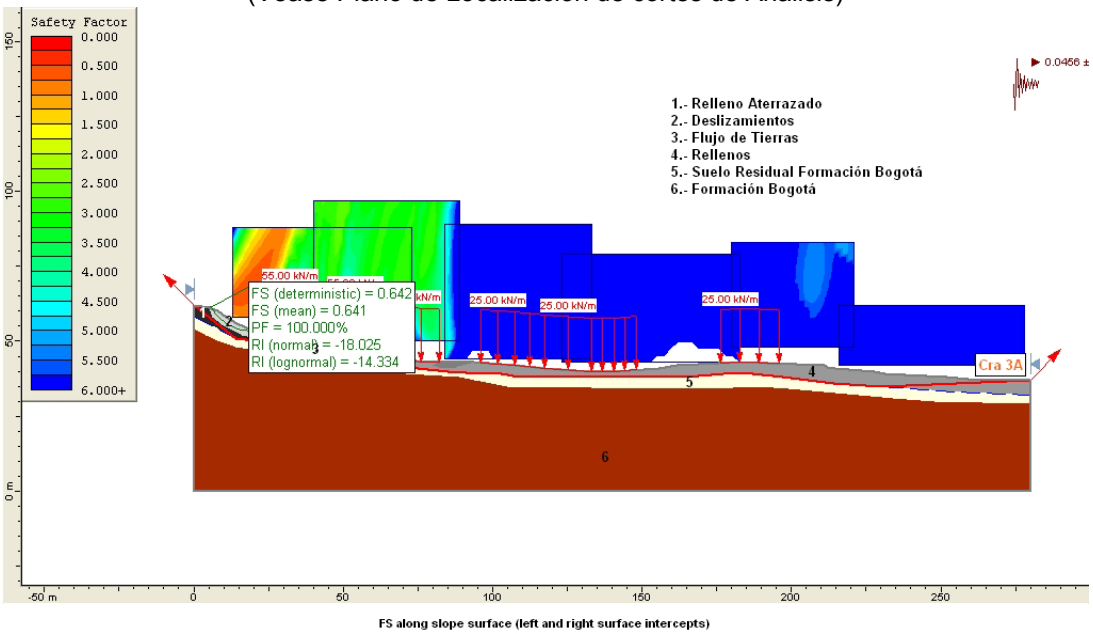


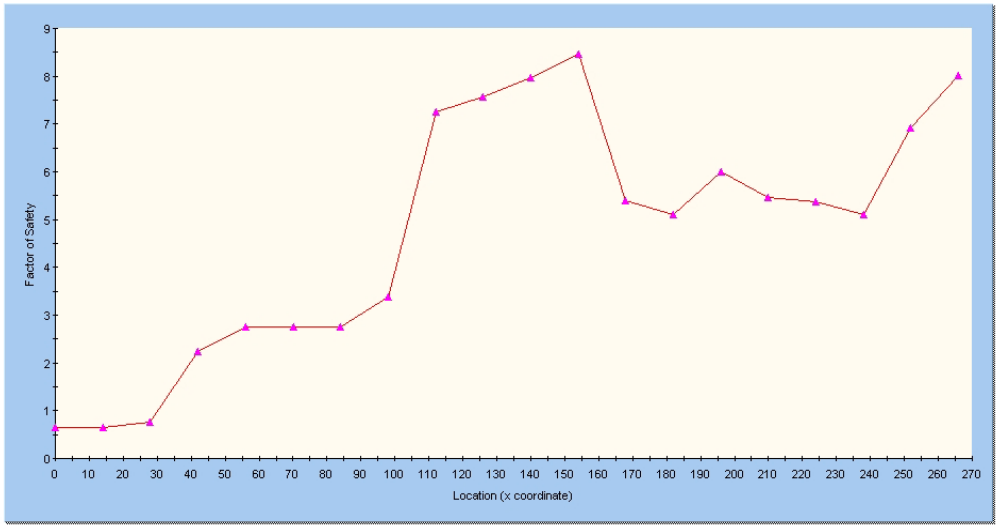
Factor de seguridad Vs. Abscisa

CORTE B-B' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA CON OBRA

(Falla Rotacional)

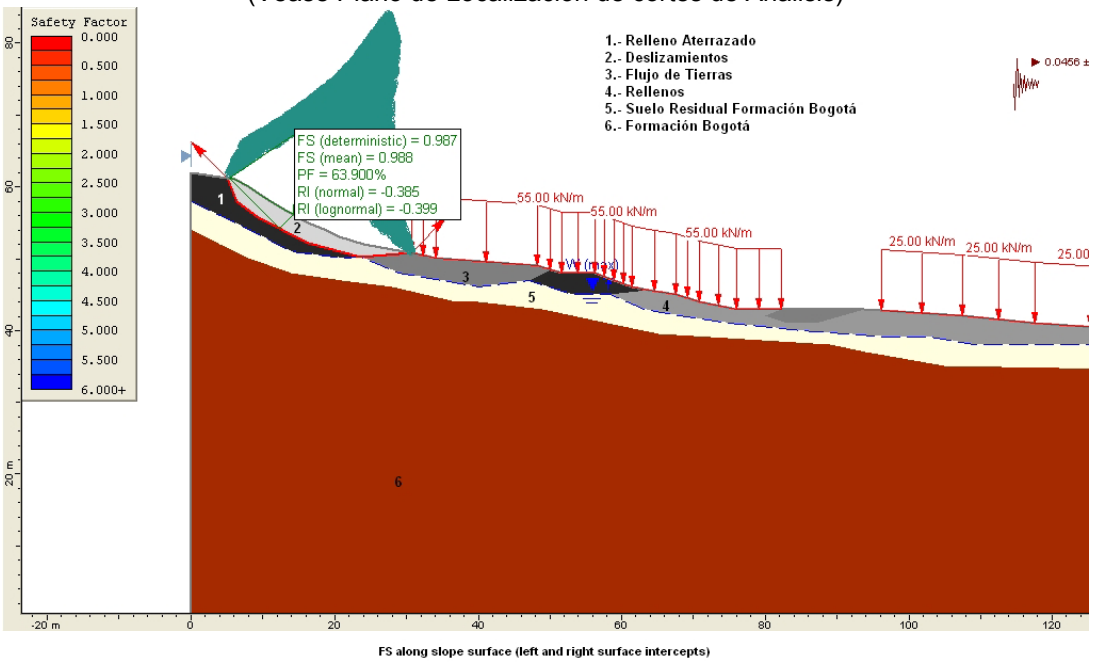
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)



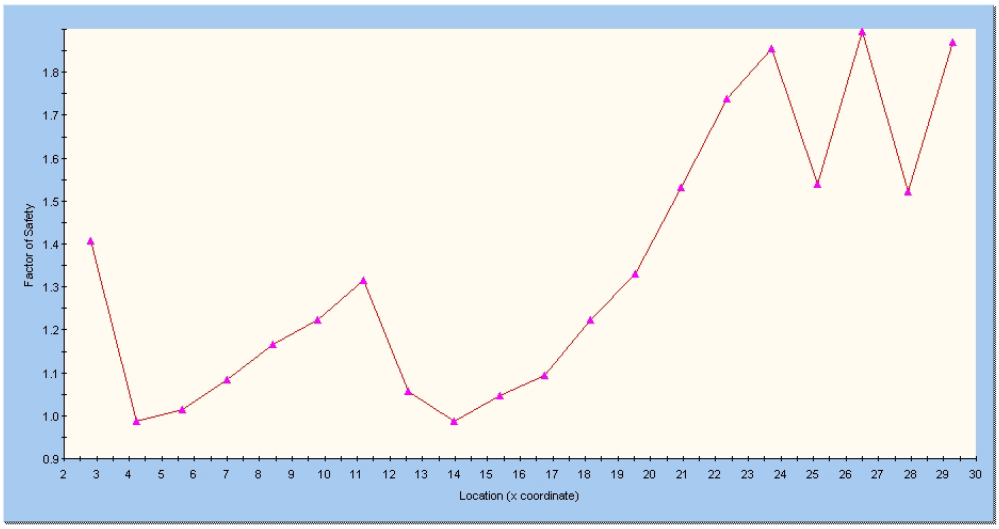


Factor de seguridad Vs. Abscisa

CORTE B-B' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA CON OBRA
(Falla Translacional)
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)

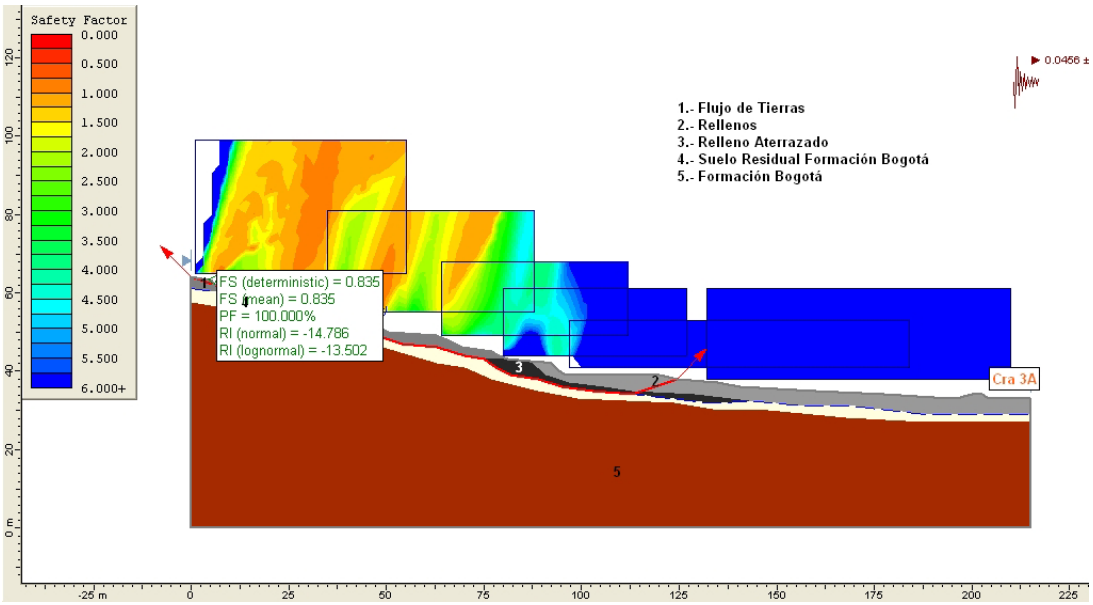


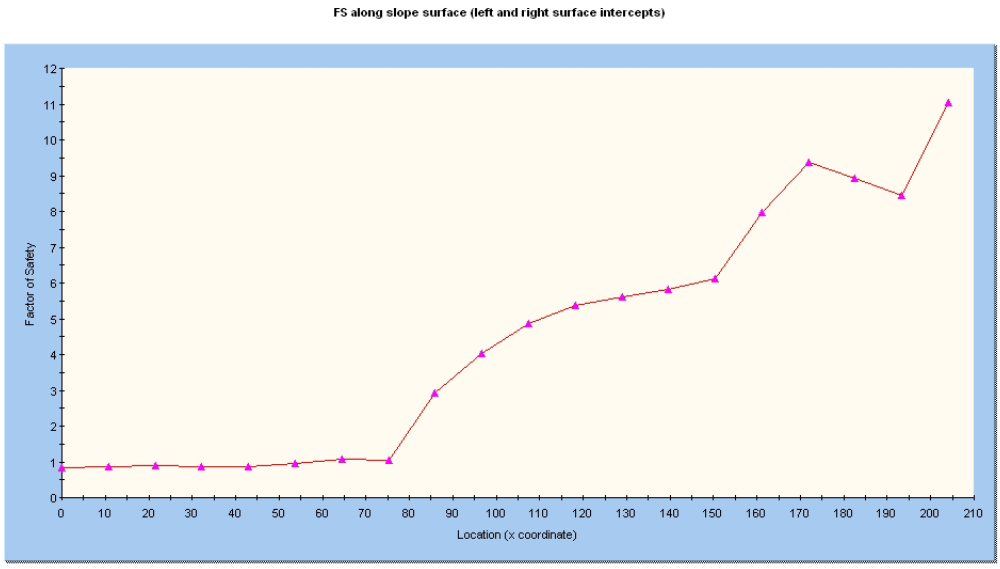
FS along slope surface (left and right surface intercepts)



Factor de seguridad Vs. Abscisa

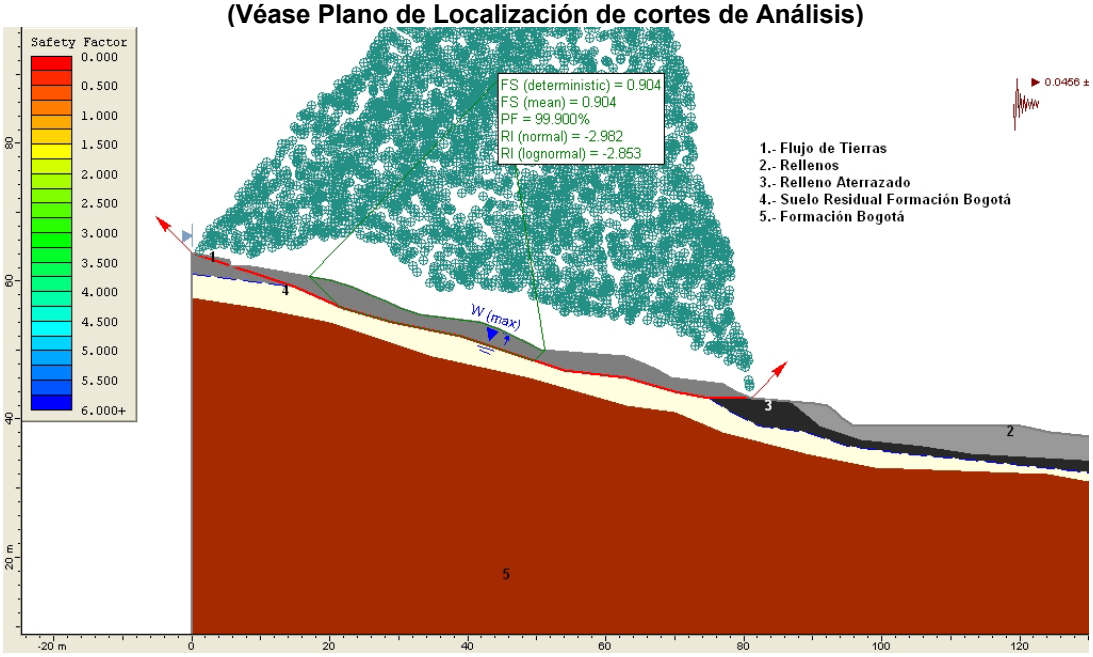
CORTE C-C' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA (Falla Rotacional)
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)

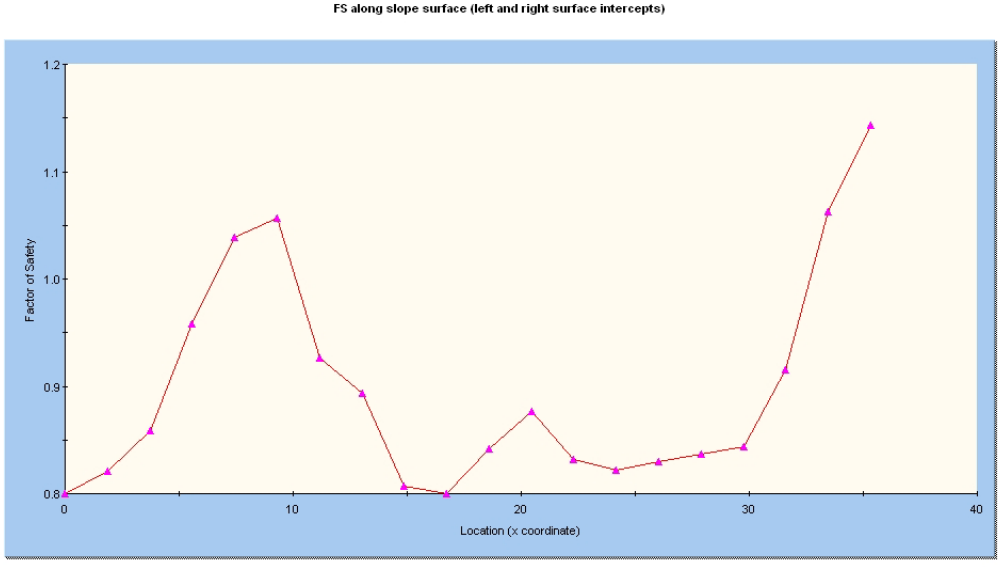




Factor de seguridad Vs. Abscisa

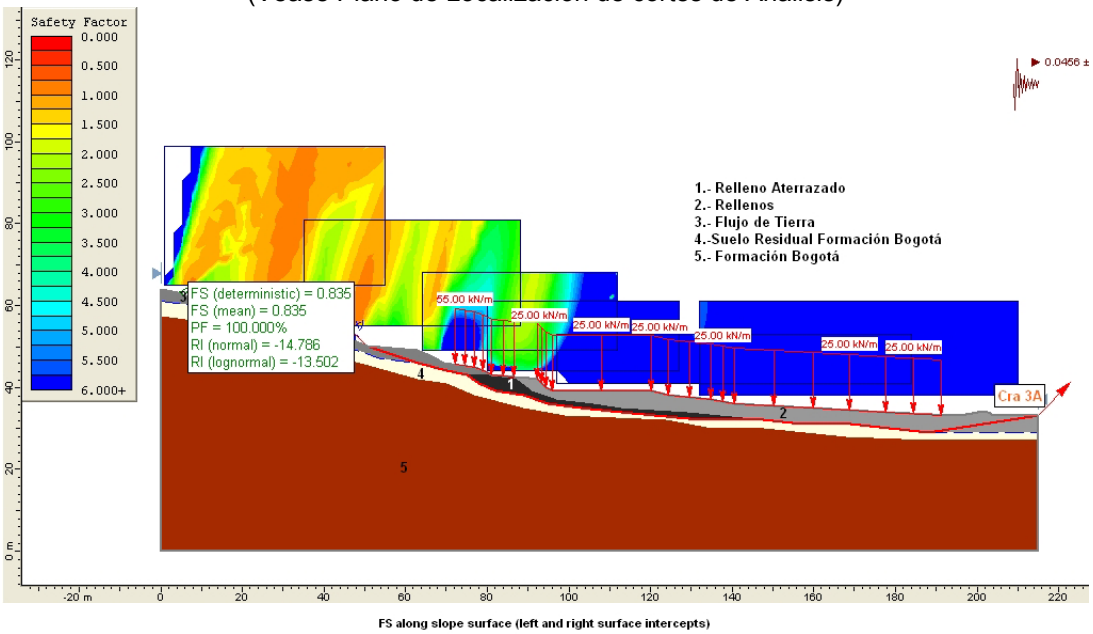
CORTE C-C' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA (Falla Translacional)
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)

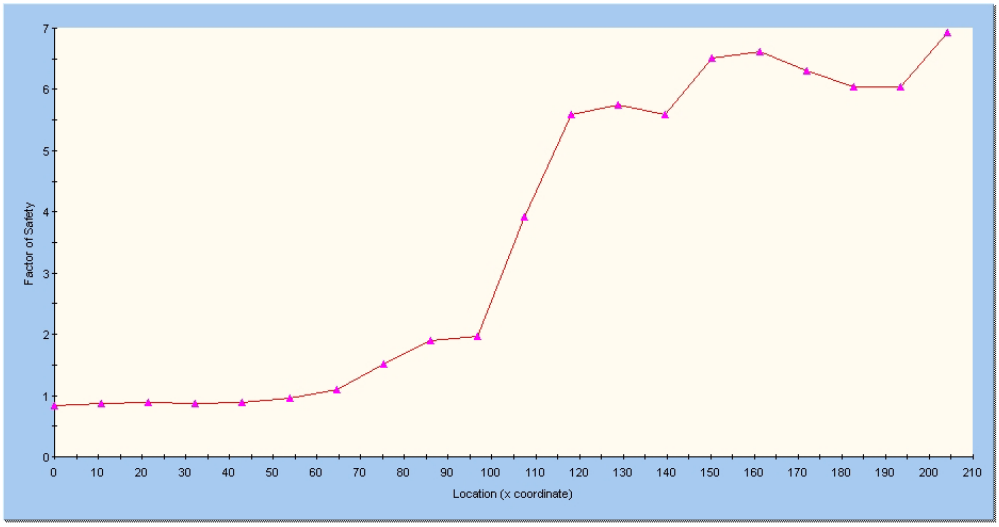




Factor de seguridad Vs. Abscisa

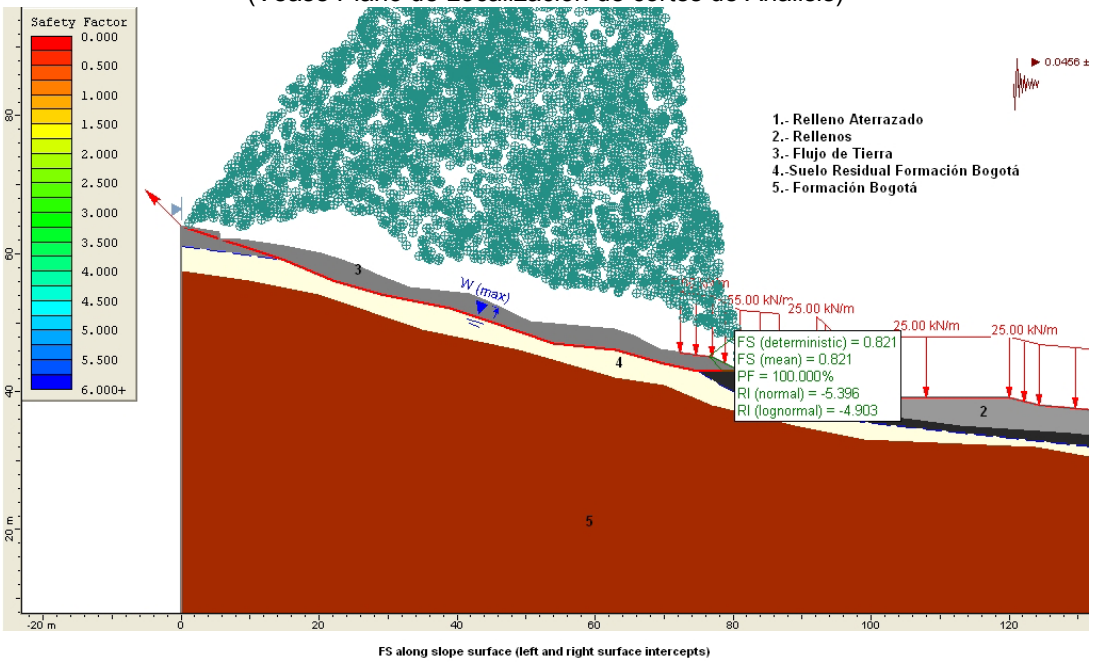
CORTE C-C' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA CON OBRA
(Falla Rotacional)
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)



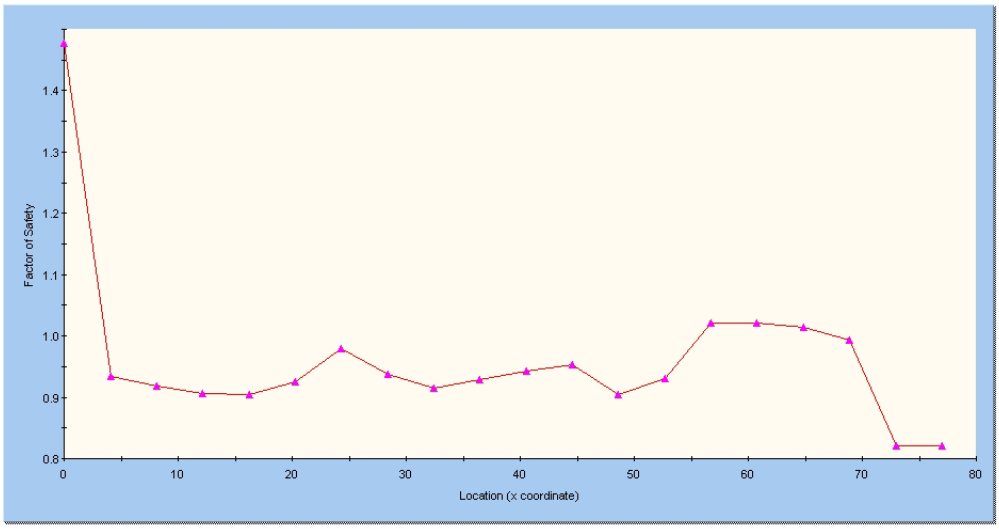


Factor de seguridad Vs. Abscisa

CORTE C-C' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA CON OBRA
(Falla Translacional)
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)

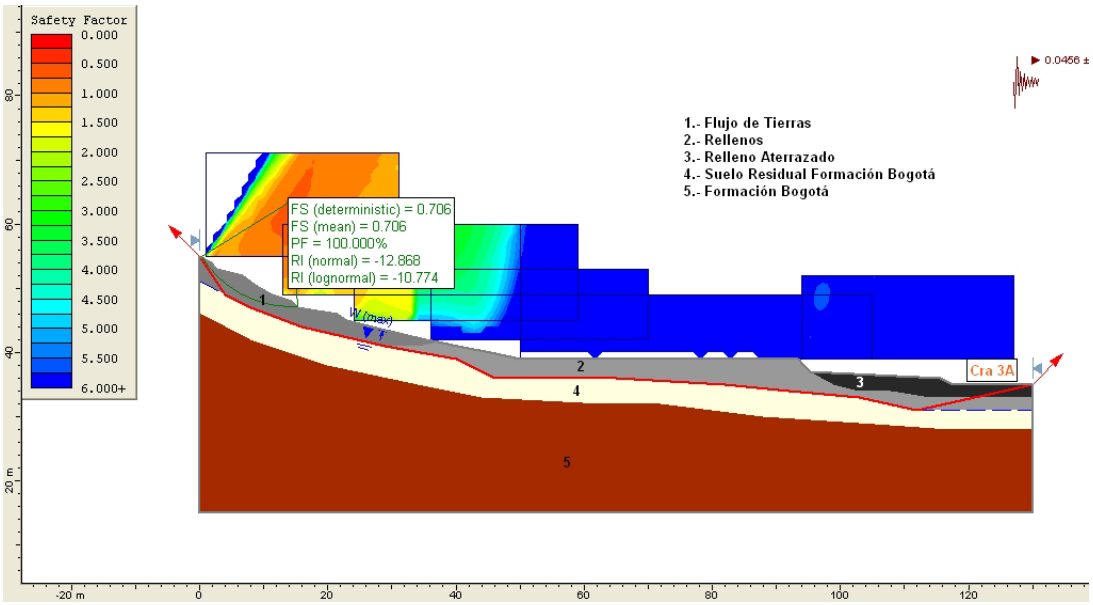


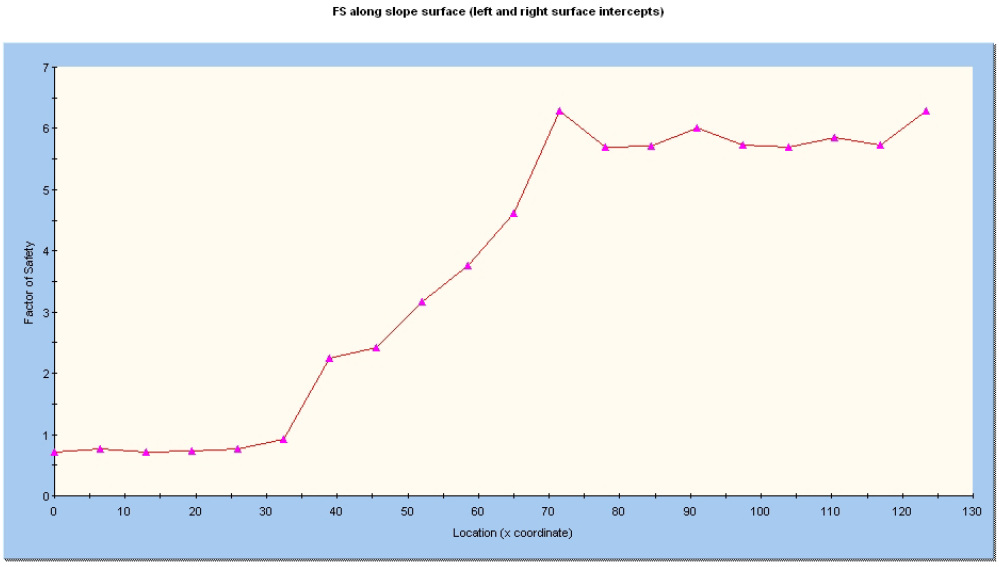
FS along slope surface (left and right surface intercepts)



Factor de seguridad Vs. Abscisa

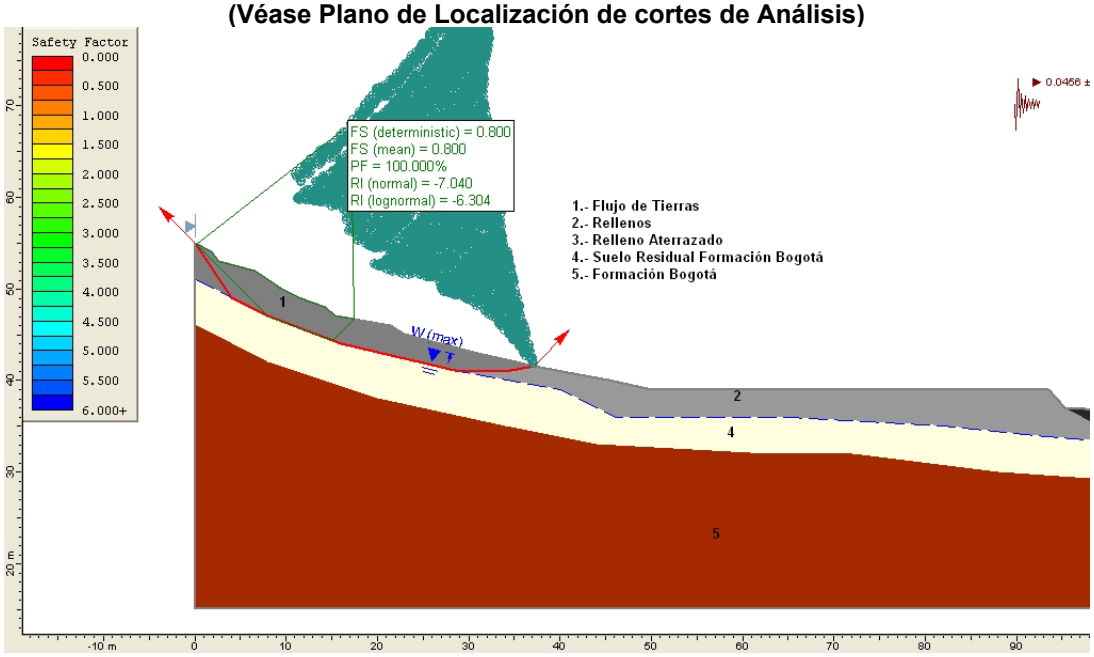
CORTE D-D' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA (Falla Rotacional)
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)

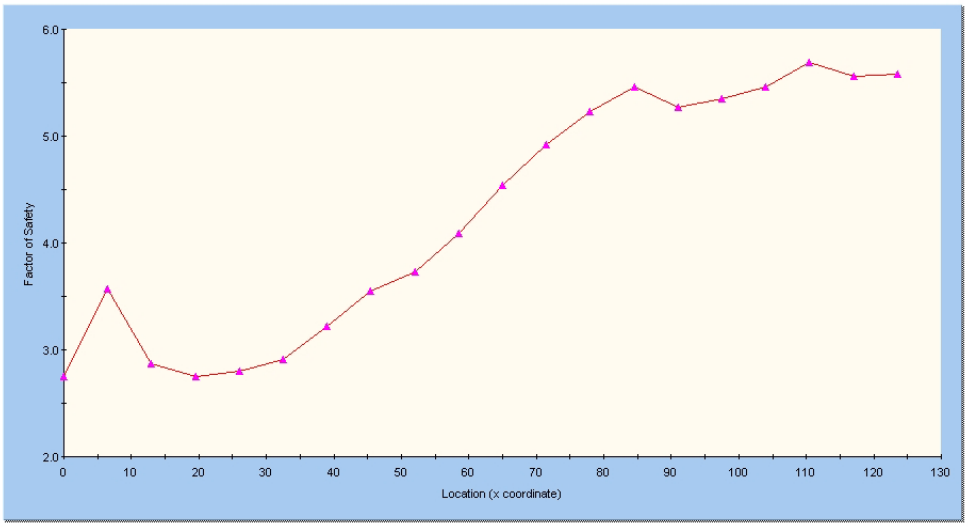




Factor de seguridad Vs. Abscisa

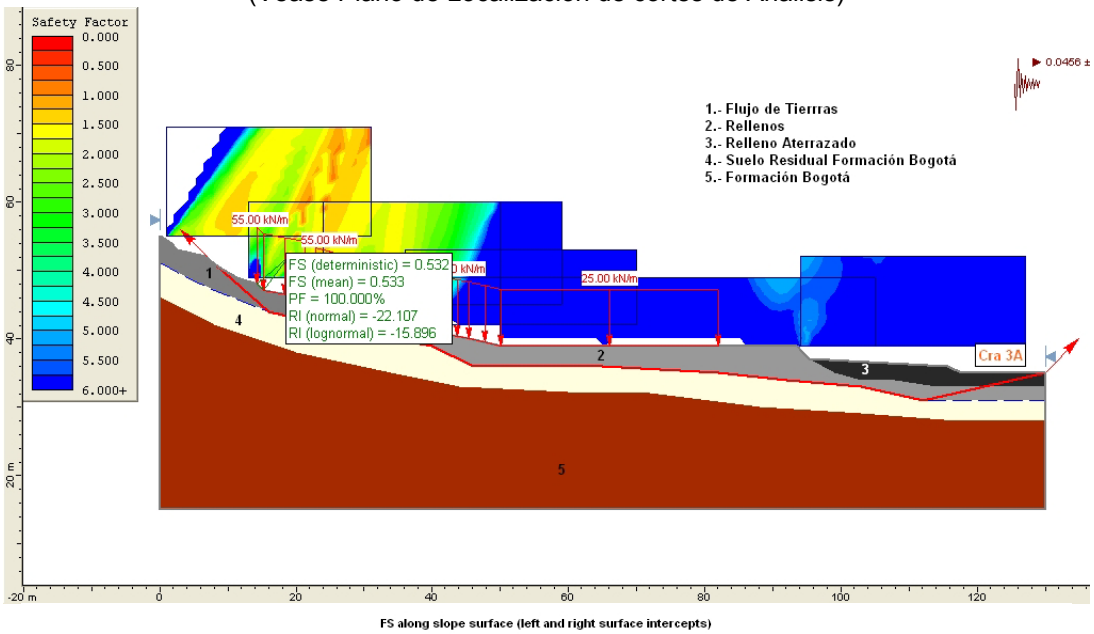
CORTE D-D' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA (Falla Translacional)
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)

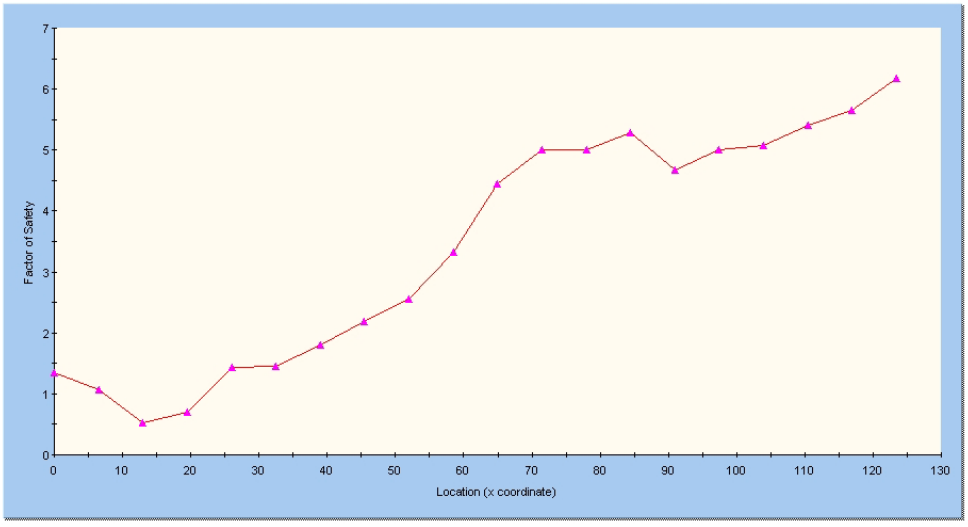




Factor de seguridad Vs. Abscisa

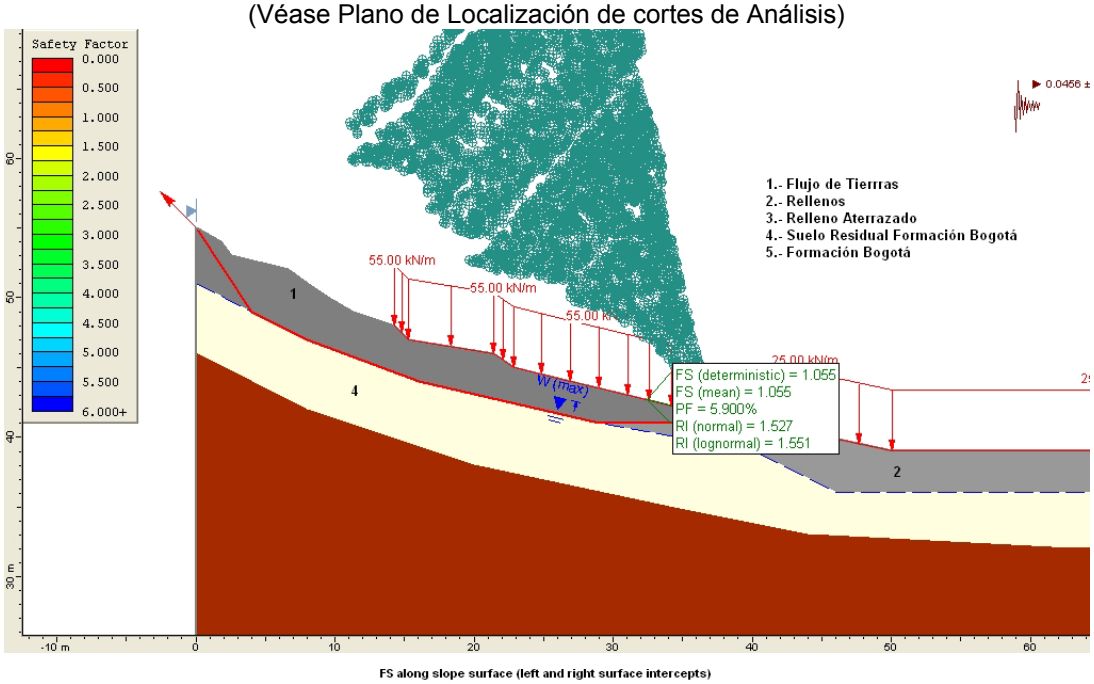
CORTE D-D' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA CON OBRA
(Falla Rotacional)
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)



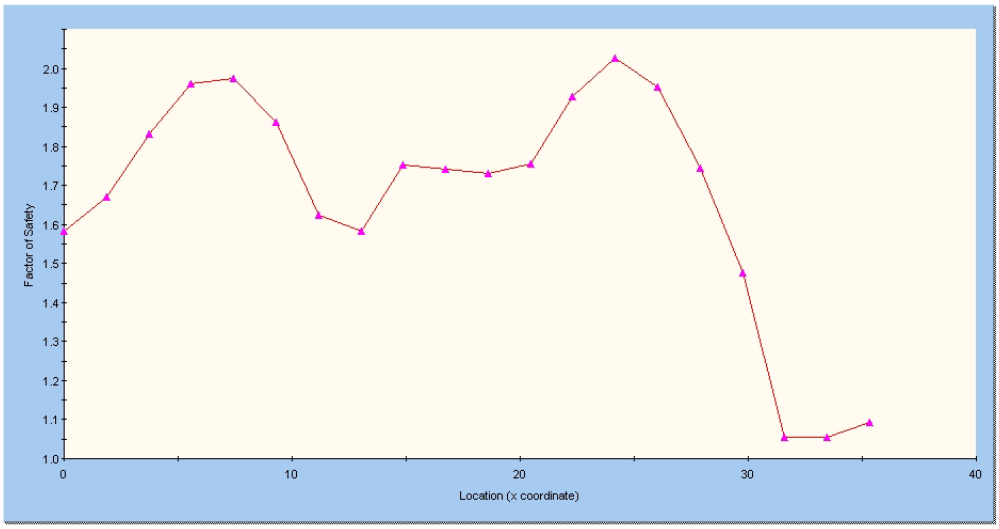


Factor de seguridad Vs. Abscisa

CORTE D-D' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA CON OBRA
(Falla Translacional)
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)

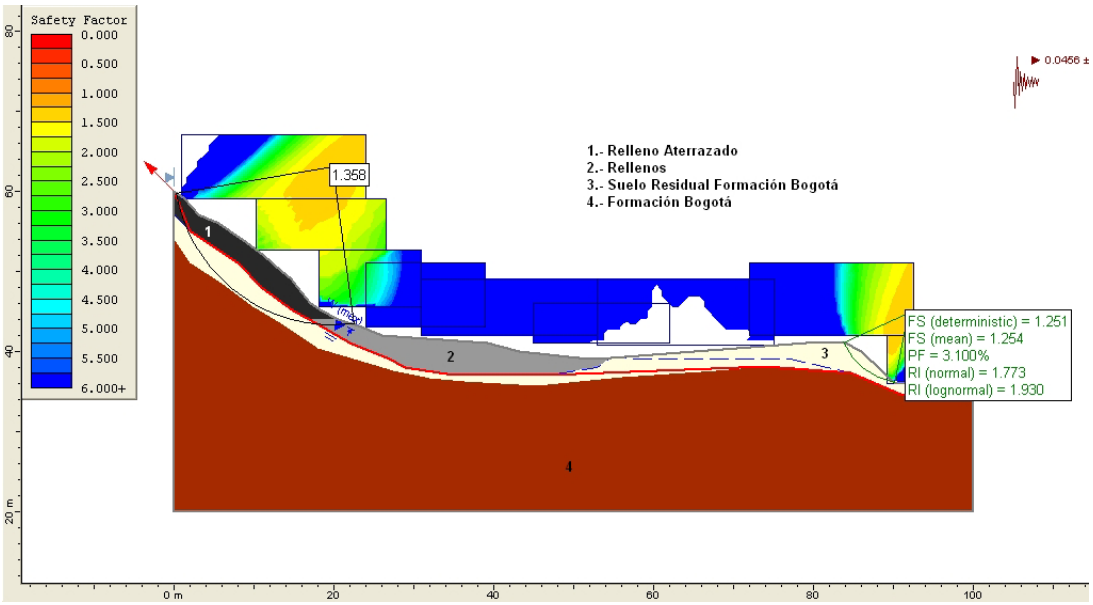


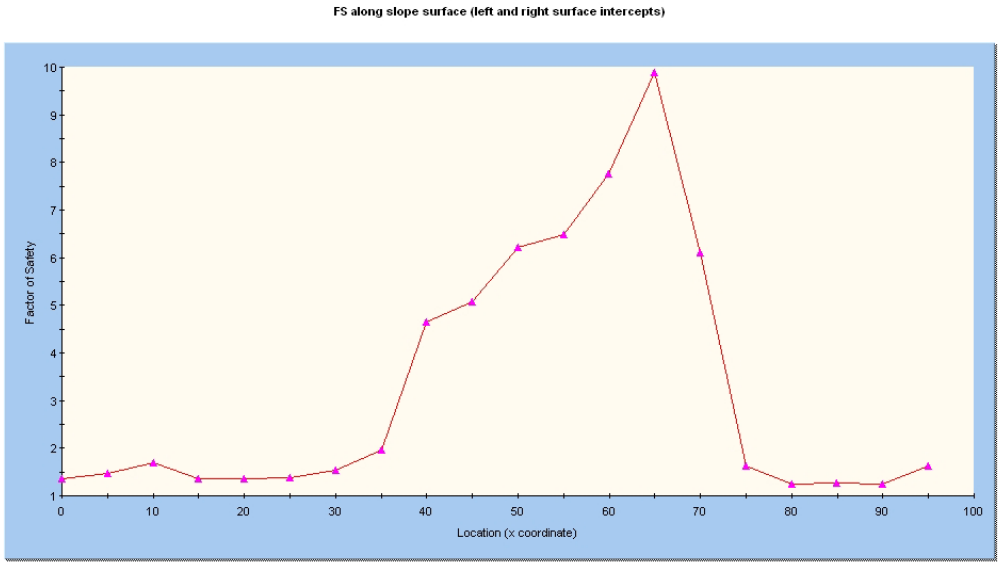
FS along slope surface (left and right surface intercepts)



Factor de seguridad Vs. Abscisa

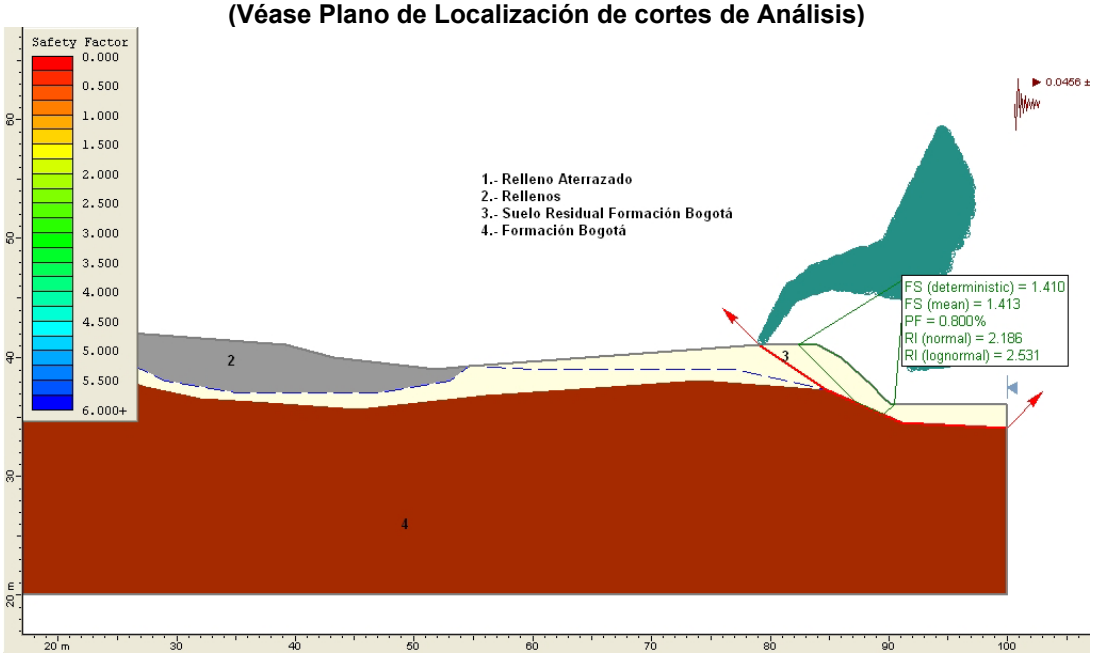
CORTE E-E' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA (Falla Rotacional)
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)

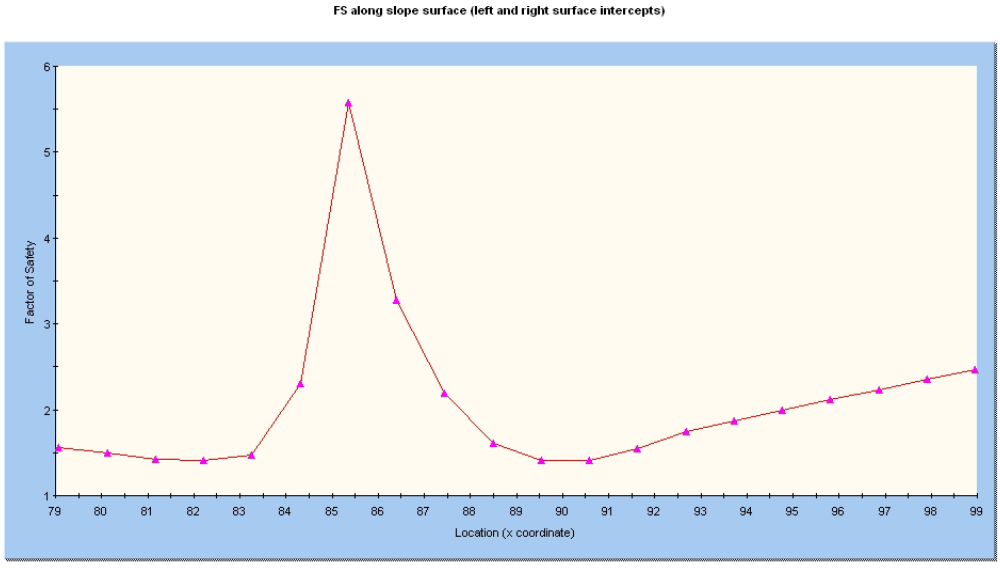




Factor de seguridad Vs. Abscisa

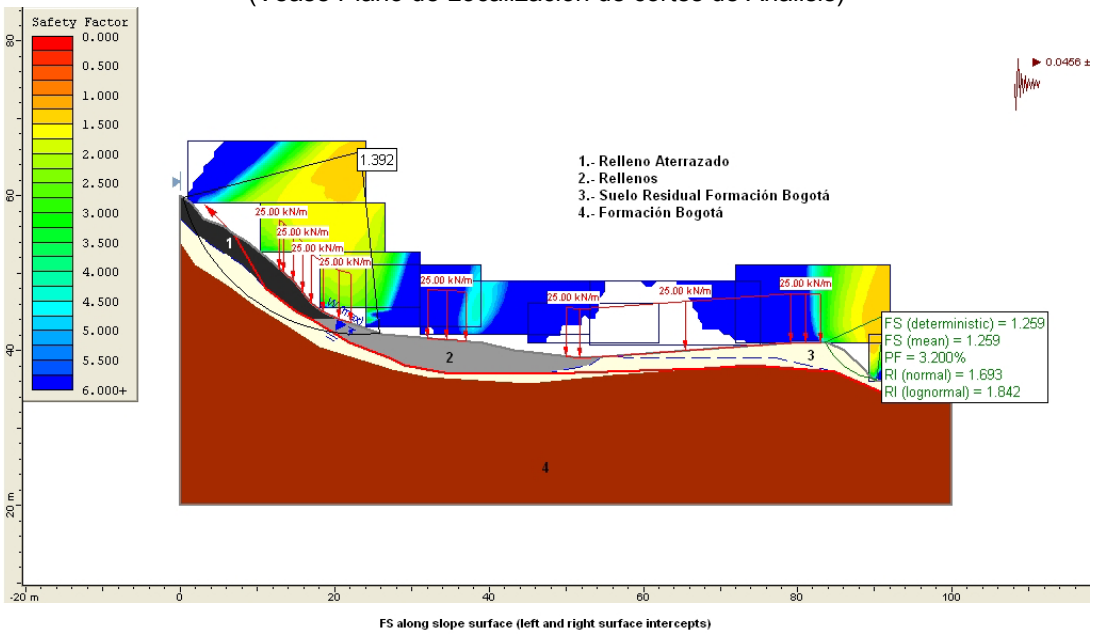
CORTE E-E' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA (Falla Translacional)
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)



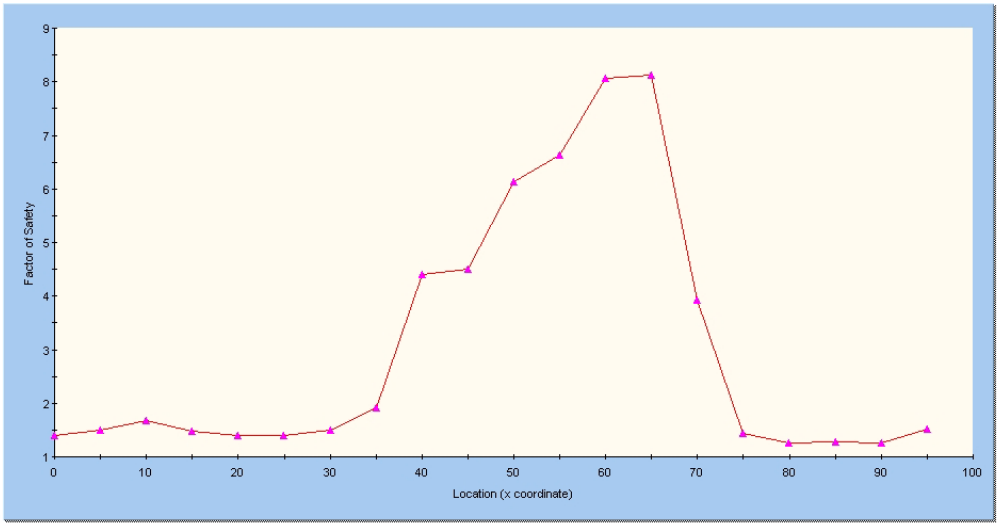


Factor de seguridad Vs. Abscisa

CORTE E-E' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA CON OBRA
(Falla Rotacional)
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)

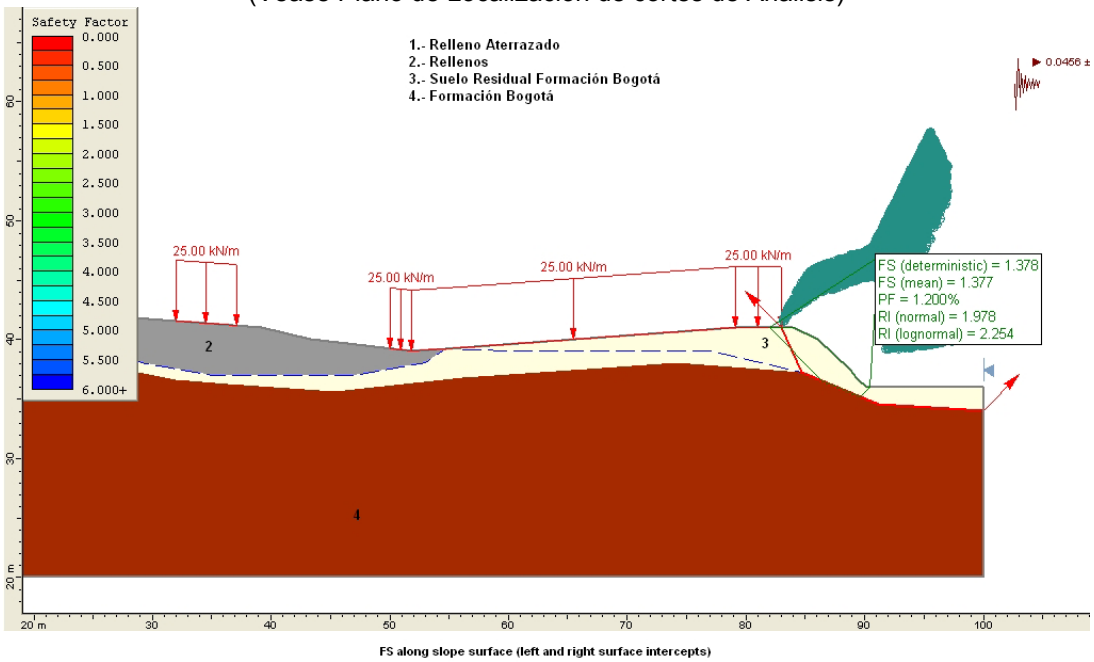


FS along slope surface (left and right surface intercepts)

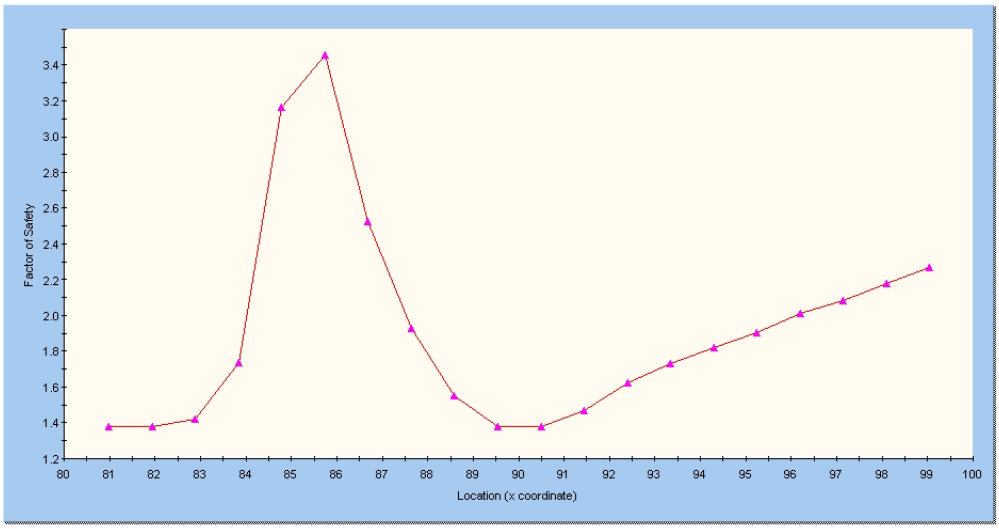


Factor de seguridad Vs. Abscisa

CORTE E-E' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA CON OBRA
(Falla Translacional)
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)



FS along slope surface (left and right surface intercepts)



Factor de seguridad Vs. Abscisa

3 VULNERABILIDAD

3.1 GENERALIDADES

Los principales elementos a evaluar son las viviendas (las cuales implican indirectamente a las personas que las habitan), por lo que los análisis de vulnerabilidad se encaminarán a determinar los posibles daños en las edificaciones proyectadas. Para tal efecto, la vulnerabilidad se basa en el cálculo del denominado Índice de Vulnerabilidad Física (IVF), utilizando para tal efecto la metodología propuesta por Leone (1996) y modificada por Soler et al (1999). En resumen, el trabajo consistirá en:

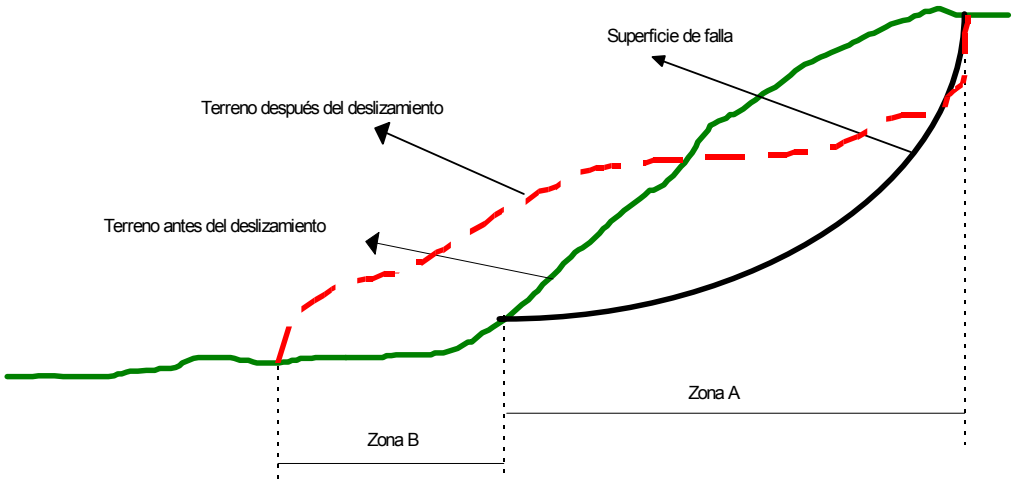
- Clasificar la tipología de vivienda.

- Calcular los índices de vulnerabilidad física (IVF), dependiendo del tipo de movimiento, la intensidad de las solicitaciones y las características del elemento expuesto (edificios).

Se aclara que, dado que en el lote donde se proyecta construir el proyecto ni se encuentran edificaciones construidas ni infraestructura adyacente que puedan ser afectadas por los posibles movimientos del terreno, los análisis de vulnerabilidad se realizan en sí sobre el proyecto de edificaciones propuesto.

3.2 SOLICITACIONES

El tipo de solicitaciones depende de la localización del elemento expuesto en referencia al sitio donde ocurre el fenómeno (Soler et al, 1999), tal como se presenta a continuación.



Zona A : Área afectada en el cuerpo del deslizamiento
Zona B : Área afectada abajo del cuerpo del deslizamiento.

Representación esquemática de un deslizamiento

Como se puede observar en la Figura anterior en un deslizamiento se distinguen dos zonas. En la Zona A (en el cuerpo del deslizamiento) o Zona de Influencia Directa, los daños que van a sufrir las viviendas se pueden relacionar con los desplazamientos laterales (DL) que, a su vez, dependen de la velocidad del movimiento (entre más rápido, los daños pueden ser mayores). Para la caracterización de las velocidades de los movimientos se utilizó la escala propuesta por Cruden y Varnes (1991), presentada a continuación.

Solicitaciones en la zona A del deslizamiento

Descripción	Clase	Velocidad característica
Muy rápido	VM1	Mayor a 50 mm/seg
Rápido	VM2	Entre 0,5 mm/seg y 50 mm/seg
Moderado	VM3	Entre 0,05 mm/seg y 0,5 mm/seg
Lento	VM4	Entre 0,005 mm/seg y 0,05 mm/seg
Muy lento	VM5	Menor a 0,005 mm/seg

En la Zona B (abajo del cuerpo del deslizamiento) o Zona de Influencia Indirecta, los daños de las viviendas se pueden relacionar con los empujes laterales (EL) que, igualmente, se pueden asociar con la altura que alcanza la acumulación de material contra la vivienda, así:

Solicitaciones en la zona B del deslizamiento

Descripción	Clase	Característica
Presión lateral alta	PL1	Mayor a 2/3 de la altura de la vivienda
Presión lateral media	PL2	Entre 1/3 y 2/3 la altura de la vivienda.
Presión lateral baja	PL3	Menor a 1/3 de la altura de la vivienda

3.3 TIPIFICACIÓN DE VIVIENDAS

En forma general, la vulnerabilidad es una función tanto de la intensidad del fenómeno como de la resistencia del elemento expuesto. La primera variable ya se tuvo en cuenta en la evaluación de la amenaza; para la segunda variable (resistencia del elemento expuesto), se obtendrá una tipificación de las viviendas teniendo en cuenta los siguientes criterios de resistencia de la estructura.

Criterios de resistencia de la estructura

Tipo de solicitación	Modos de daño	Criterio de resistencia de la estructura
Desplazamientos laterales	Transporte. Deformación. Asentamientos. Ruptura.	Profundidad de la cimentación. Arriostramiento de la estructura.
Empujes laterales	Deformación. Ruptura.	Altura de la estructura. Profundidad de la cimentación. Refuerzo.
Impactos	Deformación. Ruptura.	Refuerzo.

Teniendo en cuenta los criterios expuestos anteriormente, se decidió adoptar para tipificar las viviendas el criterio de Leone, el cual se resume a continuación.

Tipología de viviendas

TIPO	DESCRIPCIÓN
B1	Construcciones de muy mala calidad, sin fundación ni ligazón estructural. En nuestro medio se les denomina tugurios o ranchos.
B2	Construcciones de calidad regular o mala. No tienen refuerzo estructural ni fundación adecuados. Para la zona de estudio, se pueden catalogar dentro de este grupo las casas en mampostería no reforzada o prefabricadas simples.
B3	Construcciones de buena calidad, realizadas con materiales tradicionales (concreto, mampostería, hierro, etc., de hasta dos niveles.
B4	Construcciones de muy buena calidad, con refuerzo estructural y adecuada cimentación, de más de dos niveles.

Es de anotar que el modelo propuesto establece las diferentes posibilidades de edificaciones desde estructuras informales hasta edificaciones construidas de acuerdo con la normatividad vigente tal como corresponde a las viviendas a desarrollar como es el caso el proyecto a construir se cataloga como B4. Finalmente no sobra anotar que ni el predio ni sus vecinos presentan edificaciones de vivienda adyacentes y la cra 3ª que sería la estructura vulnerable por quedar en la zona baja del proyecto queda libre de peligro aún con la aplicación de las sobrecargas generadas por el proyecto como se muestra en los análisis de estabilidad anteriormente anexados al presente informe.

3.4 CALIFICACIÓN DE LOS DAÑOS

Para efectos de calificación de daños cumpliendo los lineamiento del numeral 2.0 de decreto 364 de 200 y resolución 364 del mismo año. Es de anotar que la presente metodología ha sido utilizada por esta consultoría en estudios ya aprobados por la DPAE.

En la metodología propuesta por Leone, para calificar los daños producidos en las viviendas por fenómenos de remoción en masa se sigue el criterio del DRM (Delegation aux Risques Majeurs), el cual divide los daños en cinco (5) categorías, tal como se presenta en la siguiente tabla.

Clasificación de los daños según el DRM

Índice de daño (ID)	Tipo de daño	Porcentaje de daño
I	Daños ligeros no estructurales. Estabilidad no afectada.	0.0 - 0.1
II	Fisuración de paredes (muros). Reparaciones no urgentes.	0.2 - 0.3
III	Deformaciones importantes. Daños en elementos estructurales.	0.4 - 0.6
IV	Fracturación de la estructura. Evacuación inmediata.	0.7 - 0.8
V	Derrumbe parcial o total de la estructura.	0.9 - 1.0

El porcentaje de daño o índice de pérdidas (IP) lo define Leone, como:

$$IP = \frac{(Vi - Vf)}{Vi}$$

Donde,

Vi : Valor inicial del bien (antes del evento).
Vf : Valor final del bien (después del evento).

3.5 DAÑOS POTENCIALES

3.5.1 Desplazamientos laterales

La velocidad del movimiento a su vez se relacionó con el factor de seguridad esperado de acuerdo con la siguiente tabla.

Factor de seguridad v.s. velocidad del movimiento

FACTOR DE SEGURIDAD	CLASE VELOCIDAD
Menor a 1.1	VM1
Entre 1.1 y 1.2	VM2
Entre 1.2 y 1.3	VM3
Entre 1.3 y 1.4	VM4
Mayor a 1.9	VM5

De acuerdo con lo anterior, y con base en los análisis de amenaza realizados, se puede estimar que para el caso en estudio la velocidad del posible movimiento se cataloga y según los factores de seguridad clasificaría como VM1 con la implementación del proyecto sin obras de mitigación y de VM4 a VM5 con obras de mitigación realizadas, con un valor puntual el cual clasificaría como VM2 ubicado en la zona nor-oriental del proyecto, esto debido a que en este lugar en particular es donde se concentra la mayor área de material de deslizamiento y flujos de tierra.

3.5.2 Empujes laterales

Los empujes laterales se darán en la zona donde se realicen cortes para la cimentación de la edificación y estarán soportados por los muros de contención que se deben diseñar de acuerdo a las Normas Sismo Resistentes NSR-98. Estos empujes se pueden catalogar como PL3.

3.5.3 Matriz de daños

Se asocian los Índices de Daños Potenciales (IDp) ocasionados por un evento dado, de acuerdo tanto al tipo de solicitud (magnitud del evento) como a la tipología de la vivienda (resistencia del elemento expuesto). A continuación se presenta la matriz de daño utilizada.

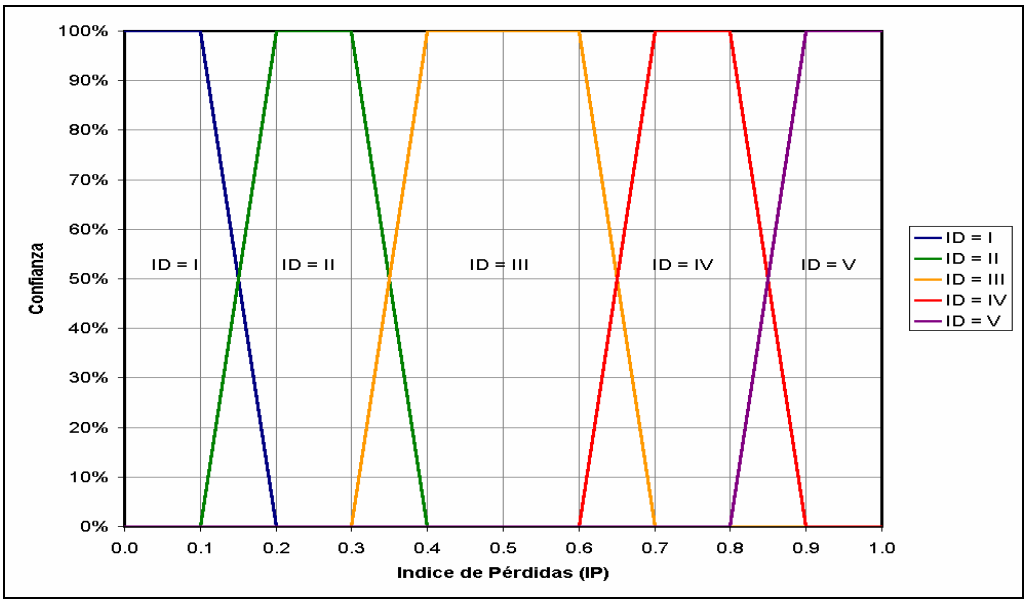
Matriz de daño por deslizamientos

	CLASE DE SOLICITACIÓN	TIPOLOGÍA DE VIVIENDA			
		B1	B2	B3	B4
DESPLAZAMIENTO LATERAL	VM1	V	V	V	IV
	VM2	V	V	IV	IV
	VM3	V	IV	III	II
	VM4	IV	III	III	I
	VM5	III	II	I	I
EMPUJE LATERAL	PL1	V	IV	III	III
	PL2	V	IV	III	II
	PL3	IV	III	II	I

De acuerdo con las solicitaciones posibles y el tipo de construcción proyectada, se puede considerar que el índice potencial de daño del proyecto es I para empujes laterales de tierra y de IV para desplazamientos laterales Es de anotar que esta clasificación corresponde a la topografía actual del terreno aplicando la sobrecarga inducida por las estructuras. Mientras que una vez implementadas las obras de mitigación clasifica como I para empujes de tierra y de I para desplazamientos. El sector donde clasificó como VM2 tendría un desplazamiento lateral de IV y un empuje lateral de I.

3.6 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FÍSICA (IVF)

El índice de daño determinado se cuantifica por medio de conjuntos difusos (véase la Figura siguiente) para hallar el porcentaje de daño o índice de pérdidas. Estos porcentajes de pérdidas, dependen del nivel de confianza en la valoración; en este caso se adoptó que, para una confianza de 1.0, los rangos de valores de cada ID fueran los propuestos por Leone (1996).



Valoración del índice de pérdidas por conjuntos difusos

Teniendo en cuenta la valoración propuesta se espera que el índice de pérdidas para el proyecto sea menor al 75%, es de anotar que este análisis parte de los resultados de estabilidad para la condición sin obras de mitigación con la carga generada por las estructuras. Mientras que incluyendo las obras de mitigación se tiene un índice de perdidas inferior al 15% en la mayor área del proyecto exceptuando la zona nor-oriental la cual tendría un índice de pérdidas menores al 75%. Cabe anotar que aunque el sector nor-oriental del proyecto tiene un bajo factor de seguridad y por lo cual el índice de pérdidas sería un poco elevado la probabilidad de falla de ocurrencia de este evento es del 0.0%.

3.7 VULNERABILIDAD POR DESLIZAMIENTOS

Con base en los resultados de la metodología explicada se puede categorizar la vulnerabilidad de las edificaciones por deslizamientos, según el valor del IVF de acuerdo con criterios establecidos en estudios previos realizados en Bogotá por F. Soler A. J. González y otros, los cuales se presentan en la siguiente tabla.

Criterios de categorización de la vulnerabilidad

CATEGORIA VULNERABILIDAD	CRITERIO
ALTA	IVF promedio $\geq$ 0.65
MEDIA	0.35 $\leq$ IVF promedio < 0.65
BAJA	IVF promedio < 0.35

Según esta categorización, la vulnerabilidad del proyecto se puede catalogar como baja ya que las probabilidades de falla son del 0.0%.

4 RIESGO

4.1 MÉTODO DE ANÁLISIS

El denominado riesgo (económico, social o ambiental, según sea el sector que represente al usuario) se puede simular mediante el modelo dinámico del tipo integral (Rivera, 2001):

$$R_{E,S,A} = \int P(e)\ \mathrm{P}_{(E,S,A)}$$

en donde,

$R_{E,S,A}$ Es el riesgo ya sea económico (E), social (S) o ambiental (A).

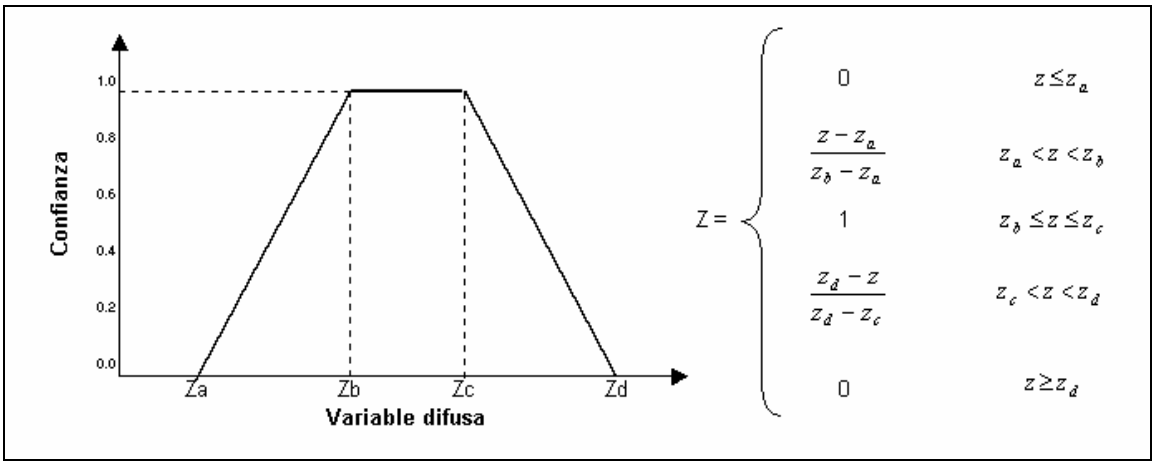
$P(e)$ Es la probabilidad cuantitativa del evento que se pronostica; denominado también amenaza (H).

$\mathrm{P}_{(E,S,A)}$ Es la pérdida en el sector ya sea económico (E), social (S) o ambiental (A) que se relaciona con el evento natural que se predice; también se suele denominar vulnerabilidad (V).

Para el caso en estudio, y una vez obtenida la amenaza y la vulnerabilidad por predio, se puede estimar el riesgo físico individual por vivienda definiendo el índice de riesgo (IR) como:

$$IR = P_f \cdot IVF$$

Teniendo en cuenta que la amenaza se definió como la probabilidad de ocurrencia del fenómeno y la vulnerabilidad como un índice de pérdidas, representado como un conjunto difuso, el índice de riesgo también es un conjunto difuso que, para el caso utilizado de conjuntos difusos trapezoidales, se puede representar por la función presentada en la siguiente figura.



Conjuntos difusos trapezoidales

Una vez calculado el índice de riesgo representado como una variable difusa se puede calcular el riesgo como la probabilidad de excedencia de las pérdidas, habiendo dos posibilidades de calcularla:

4.1.1 Hipótesis 1

En este caso se pueden determinar la esperanza y la varianza del factor de seguridad como el primer momento y el radio de giro con respecto a la media de la función difusa, respectivamente. Es decir,

Media

$\mu = \int_{-\infty}^{\infty} z \cdot f(z)\, dz$, para la esperanza o media.

Para el conjunto difuso trapezoidal

$$\mu = z_a + \frac{1}{A}\left[\frac{4\,A_1{}^2}{3} + A_2\left(\frac{A_2}{2} + 2\,A_1\right) + A_3\left(A_2 + 2\,A_1 + \frac{2\,A_3}{3}\right)\right]$$

Donde,

$$A_1 = \frac{z_b - z_a}{2}$$

$$A_2 = z_c - z_b$$

$$A_3 = \frac{z_d - z_c}{2}$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3$$

Varianza

$$V(z) = \sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (z - \mu)^2 \cdot f(z)\, dz$$

Para el conjunto difuso trapezoidal

$$\sigma^2 = \frac{I_\mu}{A} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{A}$$

Donde,

$$I_1 = \frac{(z_b - z_a)^3}{36} + A_1 \left[\mu - \left(\frac{2 z_b + z_a}{3} \right) \right]^2$$

$$I_2 = \frac{(z_c - z_b)^3}{12} + A_2 \left[\mu - \left(\frac{z_c + z_b}{2} \right) \right]^2$$

$$I_3 = \frac{(z_d - z_c)^3}{36} + A_3 \left[\mu - \left(\frac{z_d + 2 z_c}{3} \right) \right]^2$$

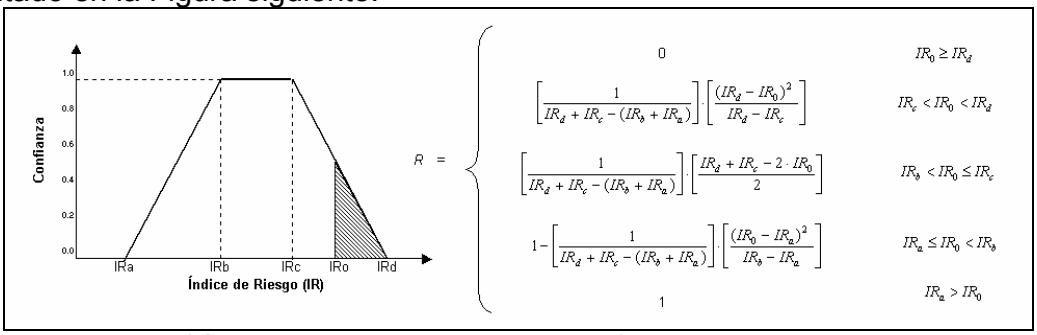
Con la esperanza (o media) y la desviación estándar del factor de seguridad se calcula la probabilidad de que el factor de seguridad sea menor a 1 (probabilidad de falla) ajustándolo a distribuciones de probabilidad conocidas (normal, lognormal, beta, etc.).

4.1.2 Hipótesis 2

Se calcula la probabilidad de excedencia de un valor dado como,

$$R = \frac{\int_{IR_0}^{\infty} Z \, dz}{\int_{-\infty}^{\infty} Z \, dz} \qquad Z \equiv IR$$

Para un conjunto difuso trapezoidal, la anterior ecuación da como resultado lo presentado en la Figura siguiente.



Cálculo del riesgo por conjuntos difusos trapezoidales

4.2 CRITERIOS APLICADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS

Para el caso de estudio, se aplicó la hipótesis 2 determinando la probabilidad de excedencia para los valores del índice de riesgo 0.1 y 0.3 para las viviendas y de 0.40 a 0.60 para el canal y la vía. El riesgo se categorizó en los tres niveles presentados en la Tabla siguiente.

Categorización del riesgo

Categoría del riesgo	Criterio
Alta	El porcentaje de pérdidas esperadas es mayor al 30%
Media	El porcentaje de pérdidas esperadas está entre el 10% y el 30%
Baja	El porcentaje de pérdidas esperadas es menor al 10%

Teniendo en cuenta que la probabilidad de falla máxima para la condición con obras de mitigación es del orden del 0.1%, el valor esperado de las pérdidas es menor al 1%, por lo que el riesgo del proyecto se puede catalogar como bajo para todas las estructuras analizadas.

5 MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Una vez localizadas las zonas de amenaza en el plano adjunto, así como los cuerpos deslizantes y flujos de tierra en el plano geomorfológico, se ubicaron las estructuras proyectadas con la localización de los sondeos efectuados durante las diferentes etapas de perforación. De lo anterior se tiene que las edificaciones identificadas como A, B, C y 3, se encuentran dentro de las zonas de flujos de tierra y por lo tanto a continuación se establecen las recomendaciones de estabilidad correspondientes.

5.1 MUROS DE CONTENCIÓN

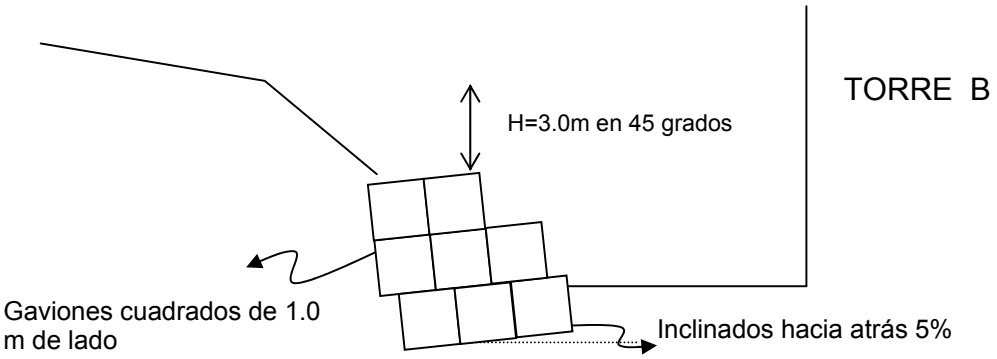
De los perfiles topográficos suministrados se obtuvo la altura de las excavaciones proyectadas las cuales se resumen a continuación:

Torre	Excavación
A	4.0 m
B	5.0 m
C	4.0 m
3	1.0 m

Con base en los sondeos perforados en los sitios de corte de cada una de las torres se estableció que las excavaciones se harán en su totalidad en los materiales de rellenos existentes y por lo tanto a continuación se establecen las recomendaciones para la ejecución de los cortes y diseño de los muros de contención requeridos.

De los perfiles topográficos se tienen cortes hasta de 5.0 m de altura en materiales de rellenos heterogéneos para los cuales se hace necesario darle pata a dichos taludes mediante la construcción de muros gavión diseñados con base en los siguientes parámetros (los diseños de los gaviones recomendados se anexan al final del presente informe):

- La estructura estará conformada por una base de gavión de 3 módulos de 1.0 m de lado la cual se empotrará 1.0 m por debajo de la superficie actual de terreno en la parte baja del talud. Sobre dicha base se dispondrá una nueva fila de gaviones de 1.0 m de lado y 1.0 m de altura para terminar la coronación mediante una tercera fila de gavión dispuesta en doble de acuerdo con el siguiente diagrama:



- Por detrás de los muros gavión se dejarán taludes a 45 grados, empradizados para garantizar su estabilidad en el largo plazo. Y en la medida de los posible revegetalizar la ladera con arbustos de raíces superficiales que mejoren la condición de estabilidad.

- La subrasante se conformará con una pendiente hacia adentro de 5% para mejorar las condiciones de estabilidad a movimientos horizontales y no se descarta dada la baja consistencia del manto de apoyo, que se requiera estabilizar el estrato portante con una capa de rajón.

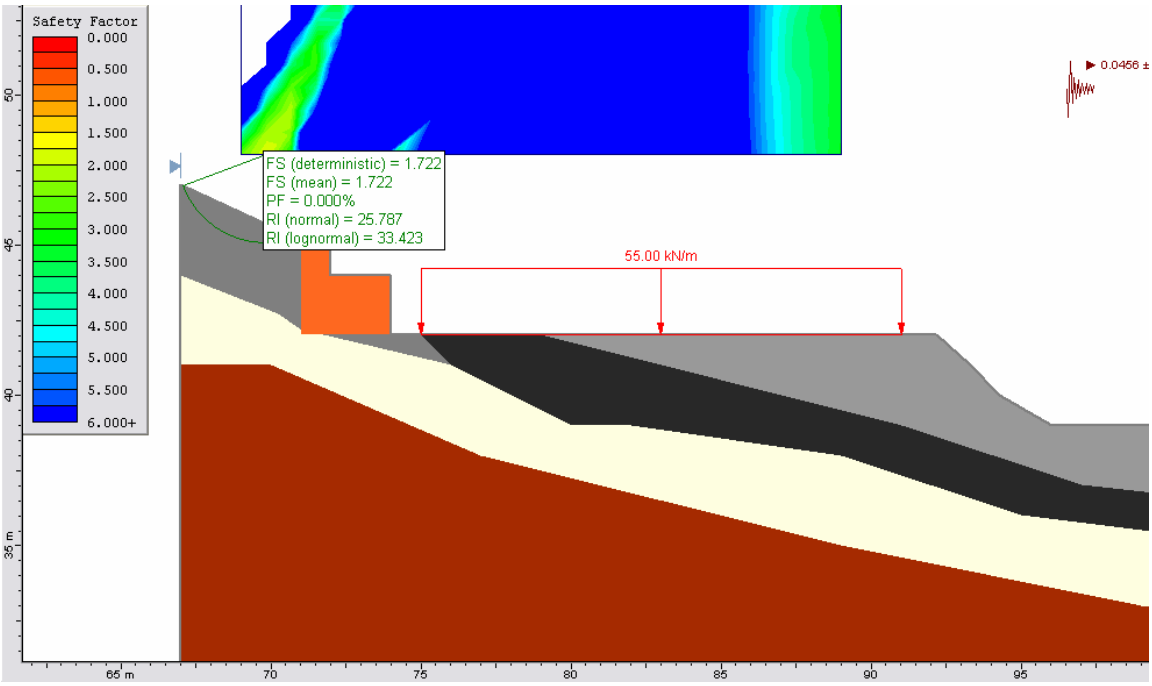
- Para la conformación de dichos gaviones se recomienda el uso de una malla hexagonal o de triple torsión con alambre calibre BWG 12. Como material de relleno del gavión se utilizará piedra hasta de 20 cms de diámetro preferiblemente angulosa y libre de arcillolitas o limolitas que presenten características pobres de resistencia al intemperismo

  A continuación se incluyen las características del alambre:

  Diámetro (mm) = 2.769
  Area (mm^2)= 6.022
  M/Kg= 21.154

- Dada la naturaleza orgánica de los suelos a contener se hace recomendable utilizar malla revestida con PVC.

Con el fin de revisar la condición de estabilidad temporal de dichos cortes se efectuó un análisis de estabilidad probabilística utilizando el programa slide 5.0 de la casa rocscience que usa los modelos bidimensionales de estado límite obteniendo un factor de seguridad determinístico de 1.72 con una probabilidad de falla del 0.0% como se ilustra en la siguiente figura:



Sin embargo para la condición definitiva el proyecto arquitectónico prevé una serie de muros de contención los cuales por un lado dan soporte lateral a los taludes y por otro permiten dar cabida a los edificios proyectados dentro de la topografía original de lote. Los muros se construirán por trincheras alternas (una si dos no) con anchos máximos de 2.50 m. Dichos muros de contención se diseñarán con base en los parámetros que se incluyeron en el estudio de suelos y que se resumen a continuación:

a) Muro libre en la corona.-
Ka*γ*h
En donde γ=1.80 Ton/m^3
Ka=0.25

b) Muro apuntalado en la corona.- Una distribución uniforme con un valor de
0.65*Ka*γ*h
En donde h será la altura máxima de la excavación.

c) Muro restringido horizontal.- Una distribución triangular con un empuje máximo de :
Ko*γ*h
En donde Ko=0.53

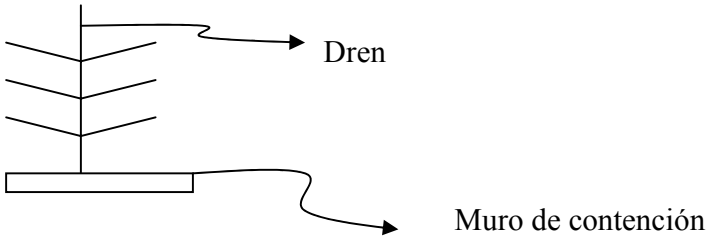
Finalmente, por detrás de los muros deberán proyectarse drenajes verticales compuestos por geodrenes o por un elemento de grava de ½ pulgada envueltos en geotextil tipo NT 1400 PAVCO o similar conectados al sistema de evacuación de aguas lluvias del proyecto.

Con el fin de darle estabilidad a los taludes por detrás de todas las edificaciones proyectadas se hace necesario proyectar una serie de gaviones en 1 y 2 filas como se muestra en el plano de obras de mitigación adjunto al presente informe, dichos gaviones se construiran teniendo en cuenta los diseños anexos y las recomendaciones y parámetros descritos anteriormente.

5.2 RECOMENDACIONES PARA DRENAJES

De lo observado en el terreno y teniendo en cuenta los cortes proyectados en materiales heterogéneos, será estrictamente necesario la proyección de drenajes para evacuar las aguas infiltradas en los rellenos detectados como inestables con el fin de evitar la saturación del suelo y garantizar la estabilidad tanto de los taludes como del comportamiento geotécnico de las estructuras.

Con base en lo anterior, se deberán construir drenajes tipo francés distribuidos en espina de pescado, por detrás de los muros de contención en los taludes proyectados en las torres A, B y C de acuerdo con la siguiente figura:



Los ramales se espaciarán entre si una distancia horizontal de 12.0 m establecidos de acuerdo con los modelos propuestos por Forrester en su libro Subsurface Drainage for Slope Stabilization y tendrán una sección de 3.0 m de profundidad y 0.60 m de ancho y estarán compuestos por gravilla de ½ pulgada envuelta en geotextil NT 1400 PAVCO o similar

Así mismo, se proyectará un drenaje por debajo de la losa de contrapiso de la torre 3, con la misma distribución en espina de pescado, conduciendo las aguas por fuera del área del proyecto.

Al final del presenta informe se incluye el plano con las medidas de mitigación.

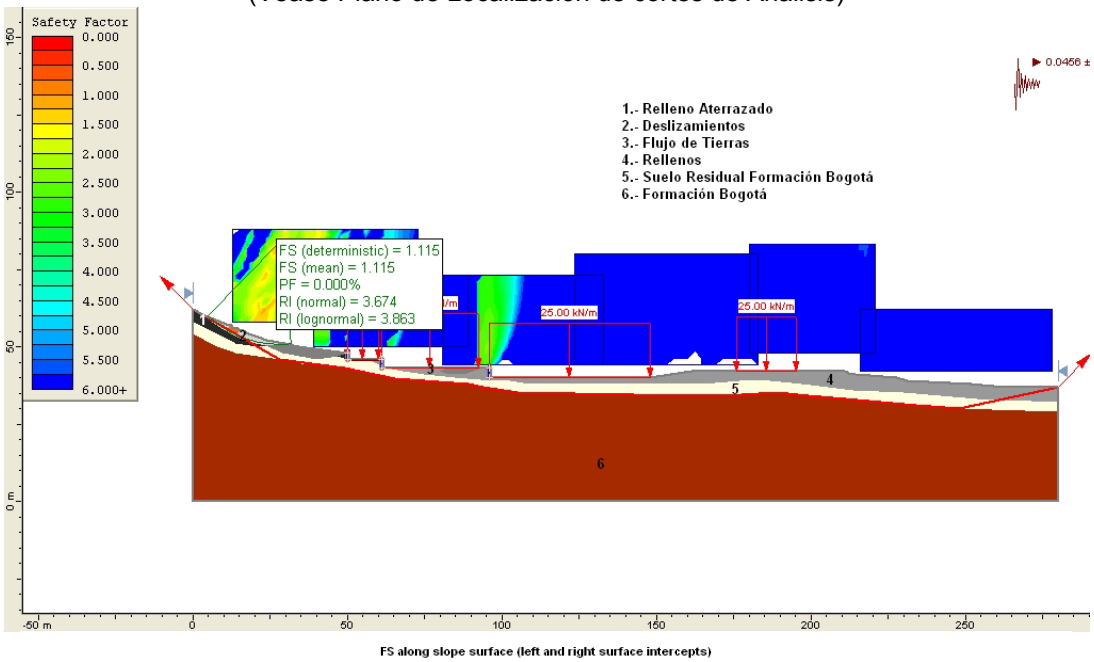
5.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CONSIDERANDO LAS OBRAS DE MITIGACIÓN.

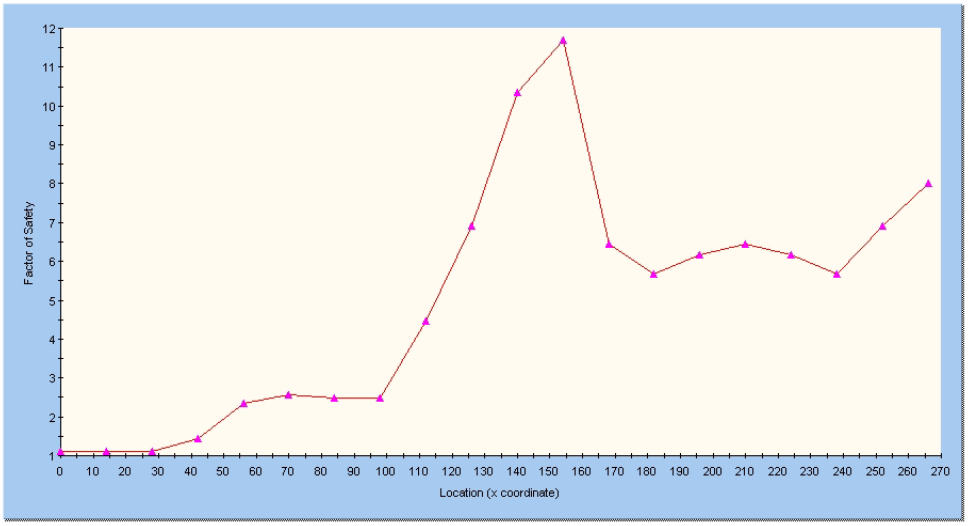
Adoptando las medidas de mitigación recomendadas, se efectuaron nuevamente los análisis de estabilidad general, para cada una de las secciones de análisis, arrojando como resultado los siguientes factores de seguridad:

CORTE B-B' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA CON OBRA DE MITIGACIÓN

(Falla Rotacional)

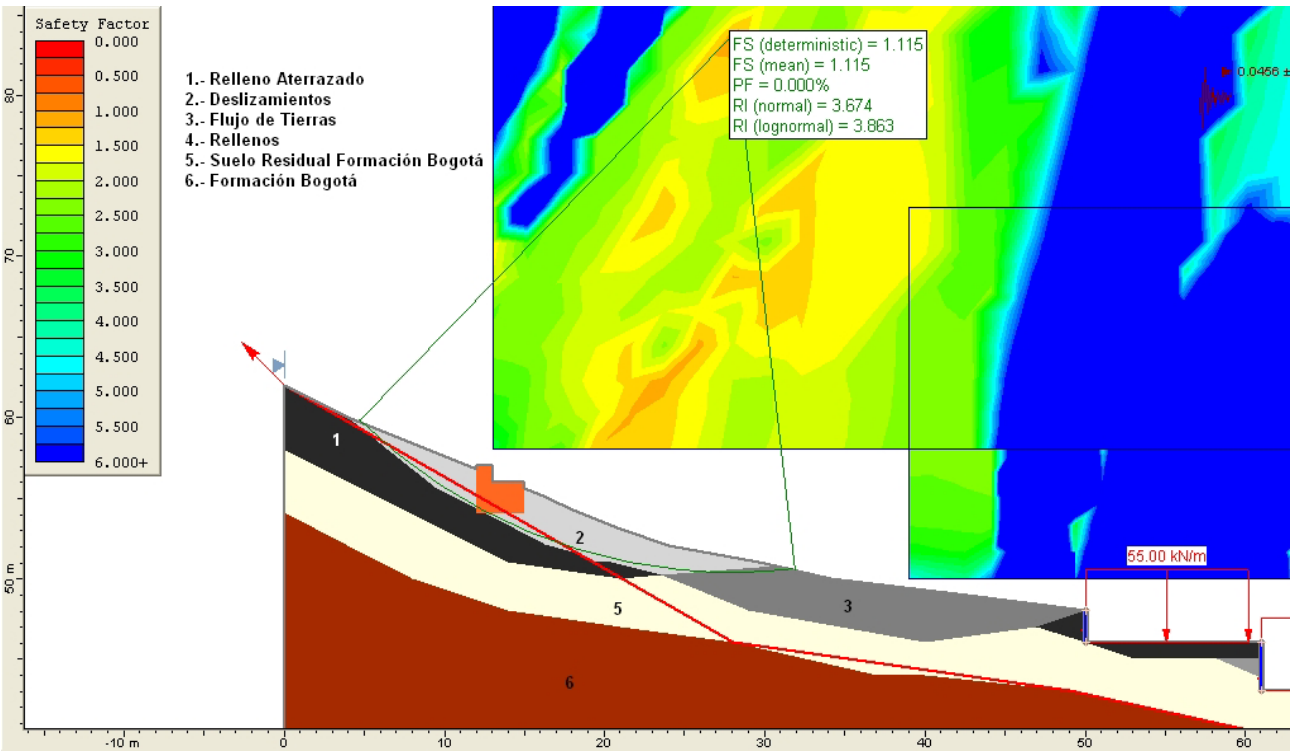
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)





Factor de seguridad Vs. Abscisa

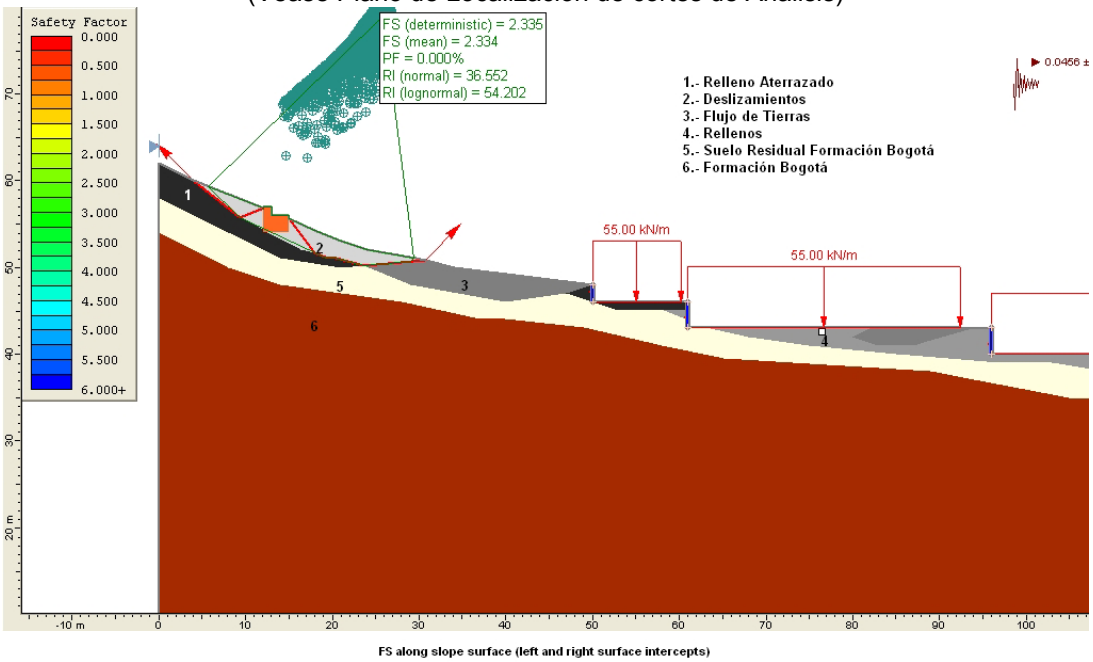
DETALLE

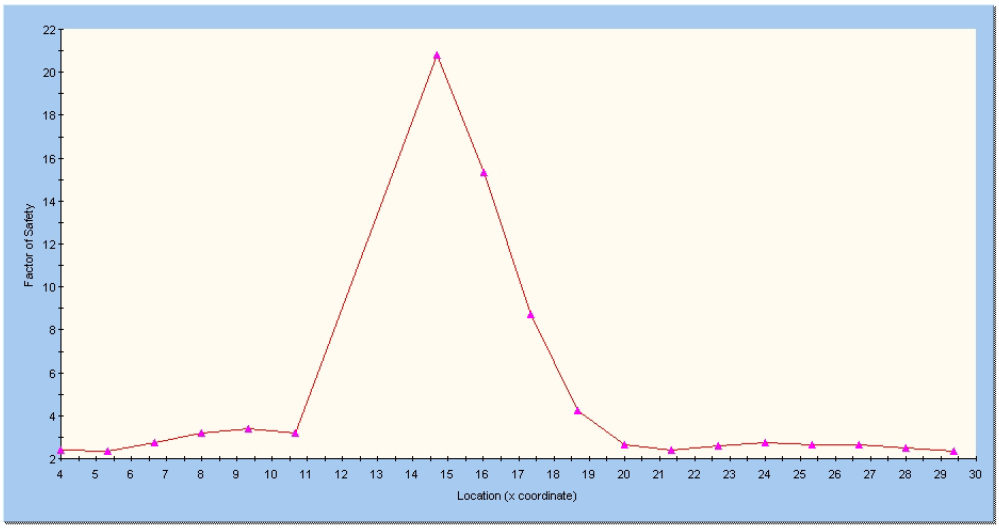

Safety Factor
0.000
0.500
1.000
1.500
2.000
2.500
3.000
3.500
4.000
4.500
5.000
5.500
6.000+
1.- Relleno Aterrazado
2.- Deslizamientos
3.- Flujo de Tierras
4.- Rellenos
5.- Suelo Residual Formación Bogotá
6.- Formación Bogotá
FS (deterministic) = 1.115
FS (mean) = 1.115
PF = 0.000%
RI (normal) = 3.674
RI (lognormal) = 3.863
55.00 kN/m
1
2
3
5
6
80
70
60
50 m
-10 m
0
10
20
30
40
50
60

CORTE B-B' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA CON OBRA DE MITIGACIÓN

(Falla Translacional)

(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)



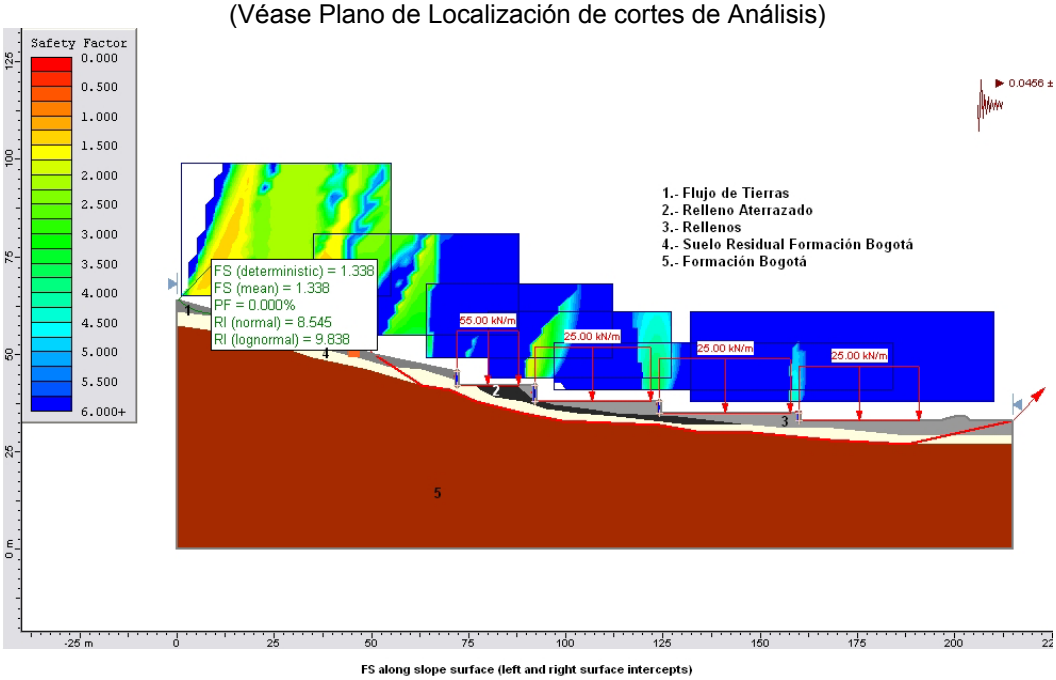


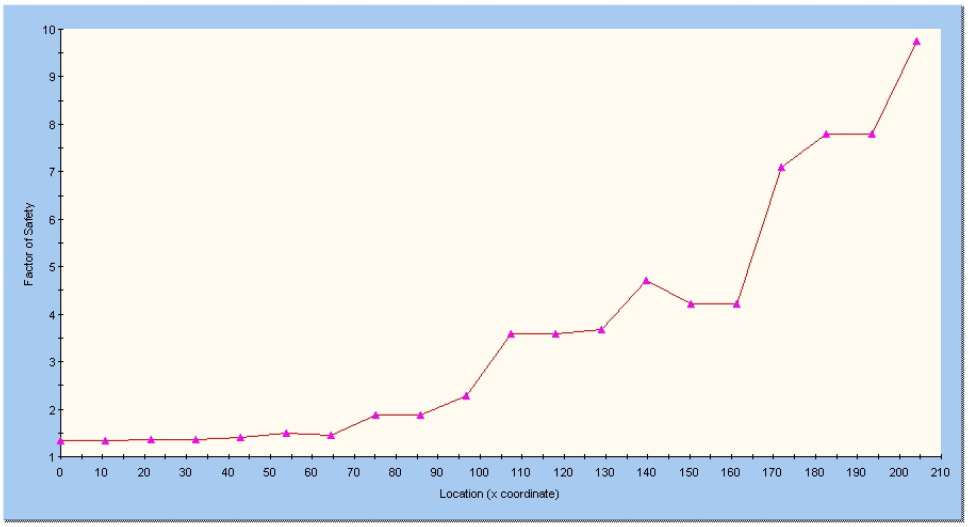
Factor de seguridad Vs. Abscisa

CORTE C-C' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA CON OBRA DE MITIGACIÓN

(Falla Rotacional)

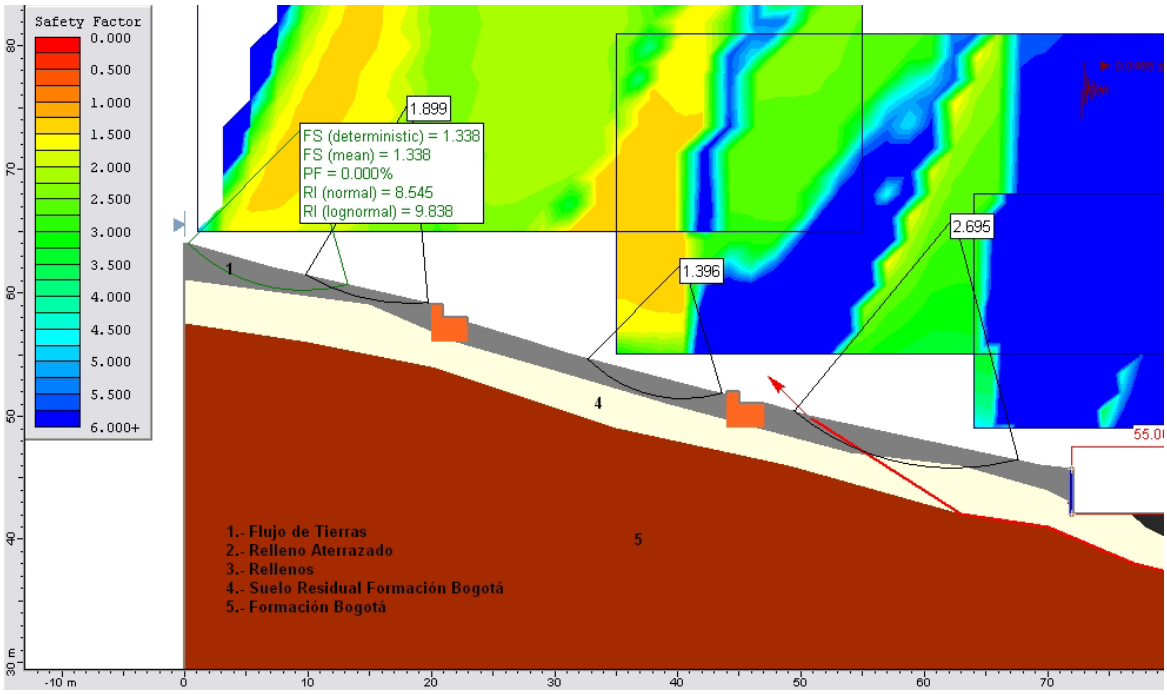
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)



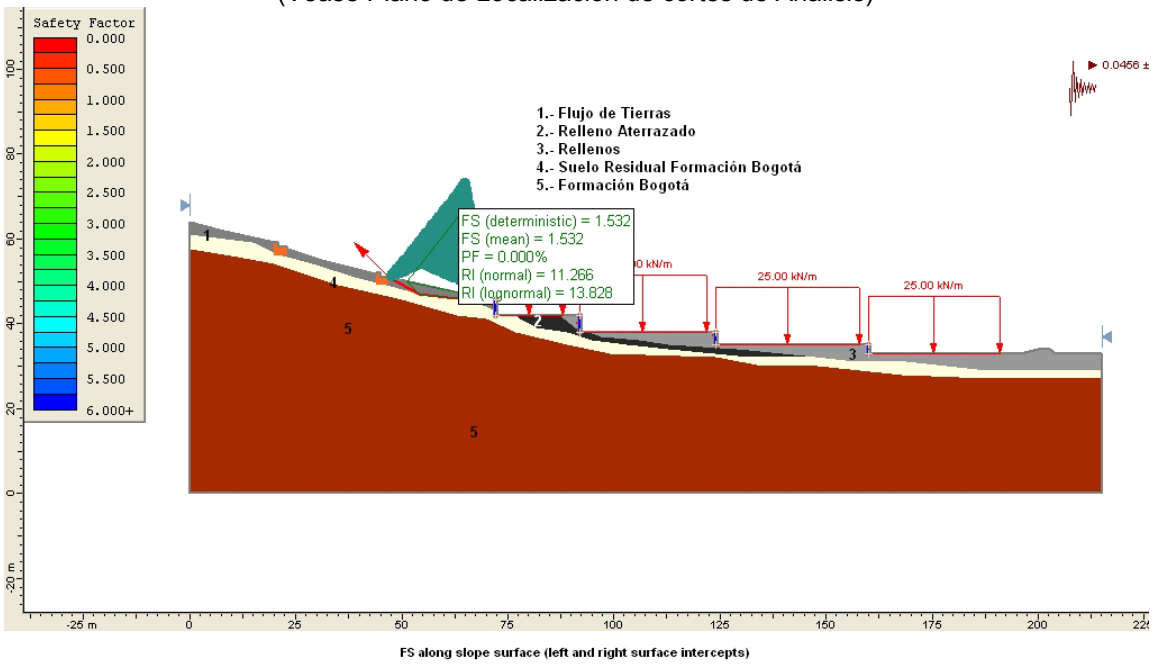


Factor de seguridad Vs. Abscisa

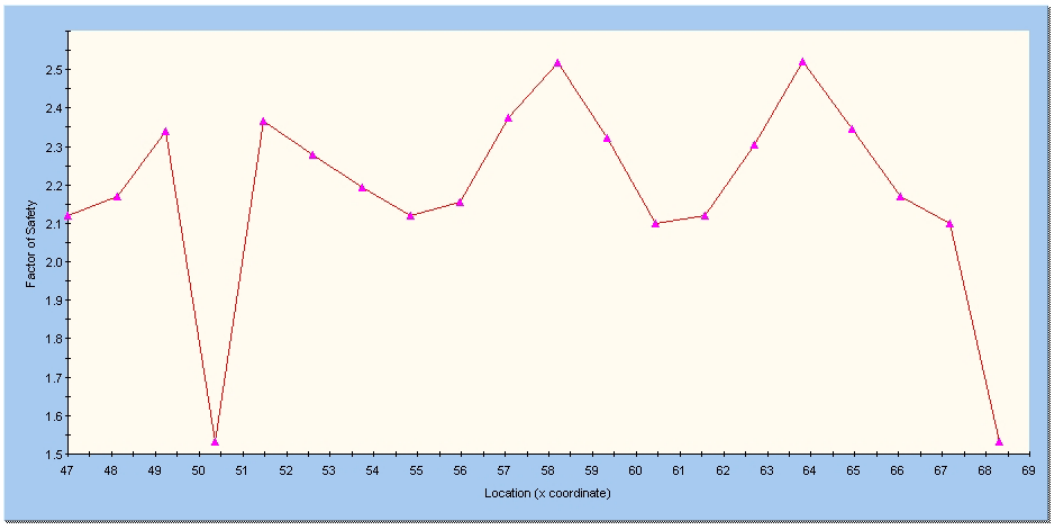
DETALLE


Safety Factor
0.000
0.500
1.000
1.500
2.000
2.500
3.000
3.500
4.000
4.500
5.000
5.500
6.000+
1.899
FS (deterministic) = 1.338
FS (mean) = 1.338
PF = 0.000%
RI (normal) = 8.545
RI (lognormal) = 9.838
1.396
2.695
1
4
5
1.- Flujo de Tierras
2.- Relleno Aterrazado
3.- Rellenos
4.- Suelo Residual Formación Bogotá
5.- Formación Bogotá
-10 m
0
10
20
30
40
50
60
70
80
70
60
50
40
30 m

CORTE C-C' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA CON OBRA DE MITIGACIÓN
(Falla Translacional)
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)

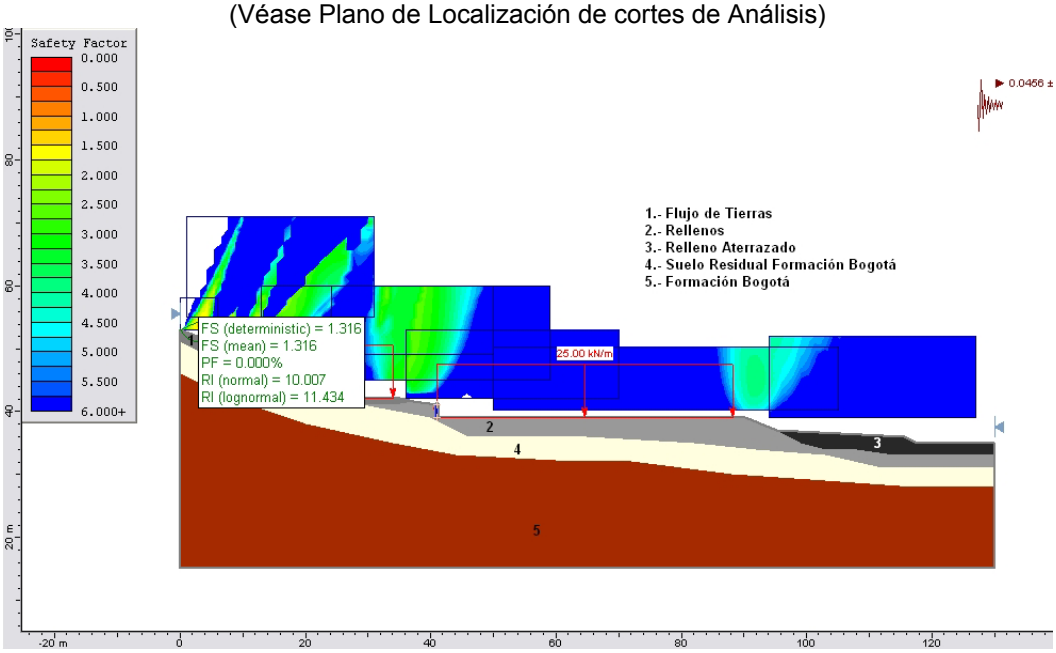


FS along slope surface (left and right surface intercepts)

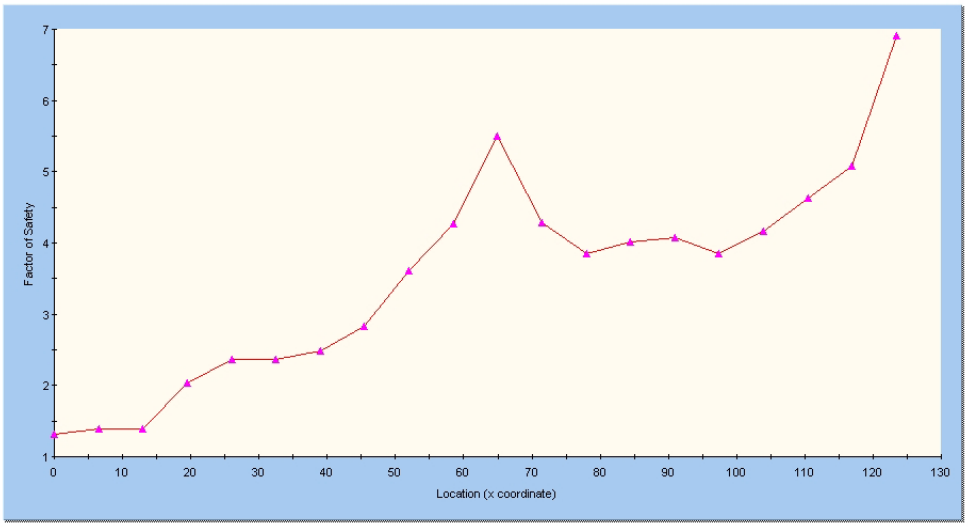


Factor de seguridad Vs. Abscisa

CORTE D-D' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA CON OBRA DE MITIGACIÓN
(Falla Rotacional)
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)

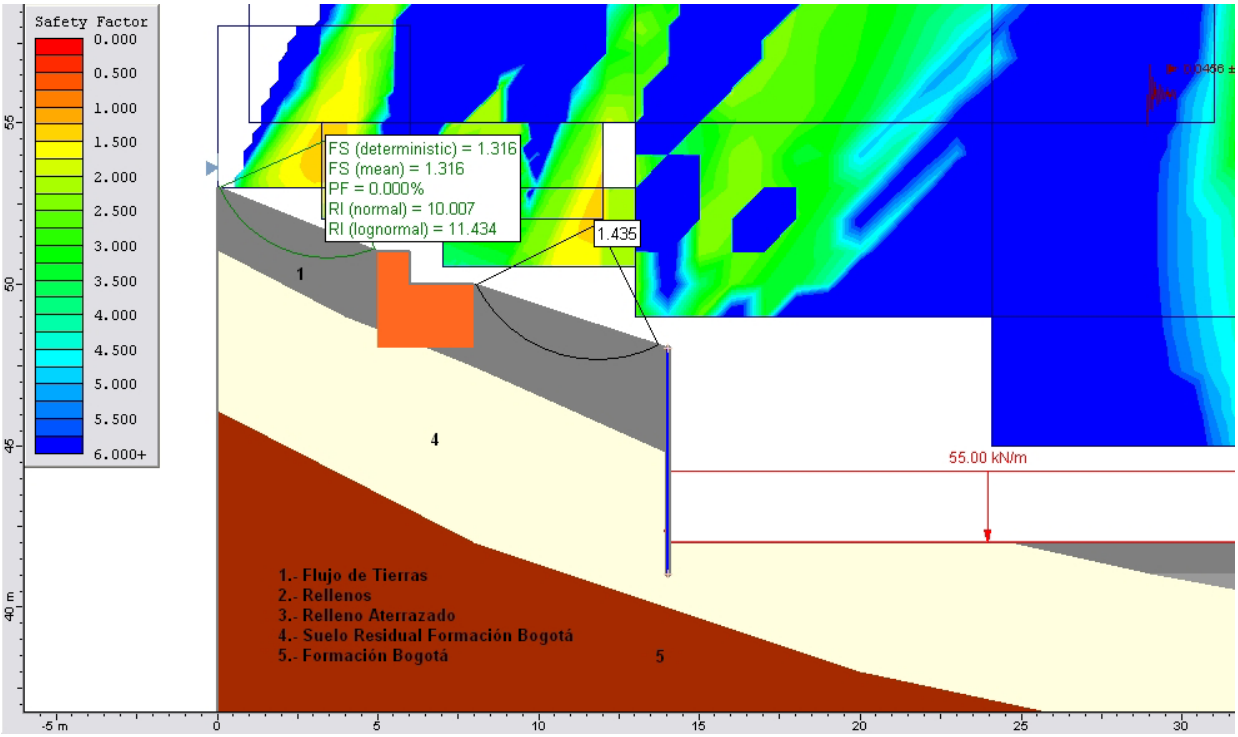


FS along slope surface (left and right surface intercepts)

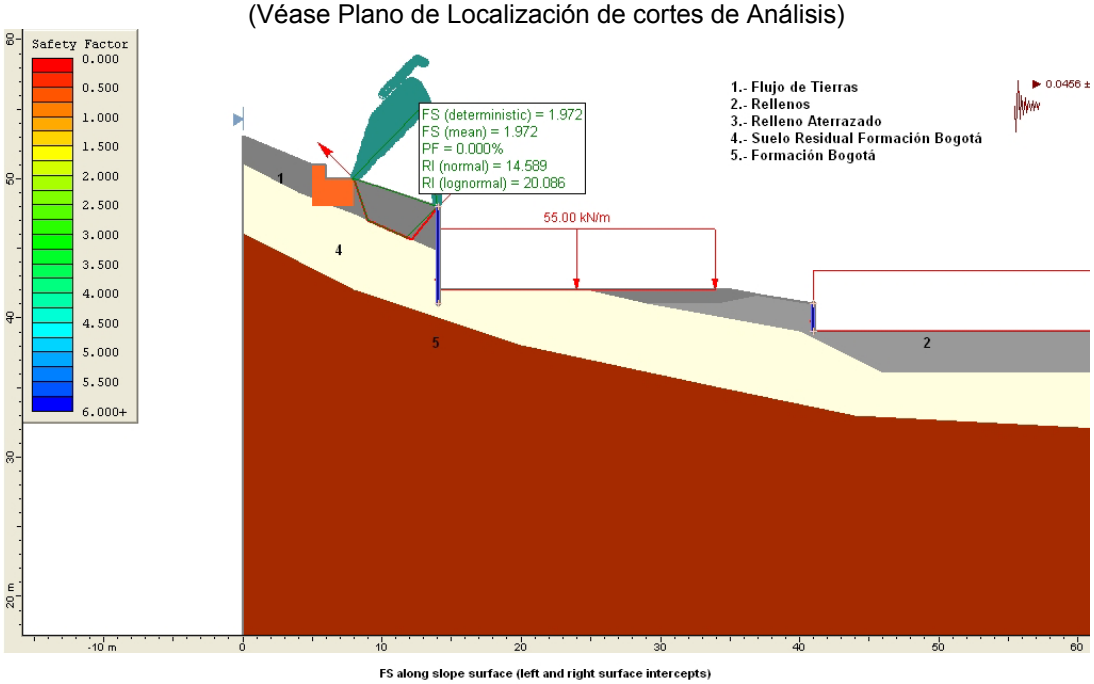


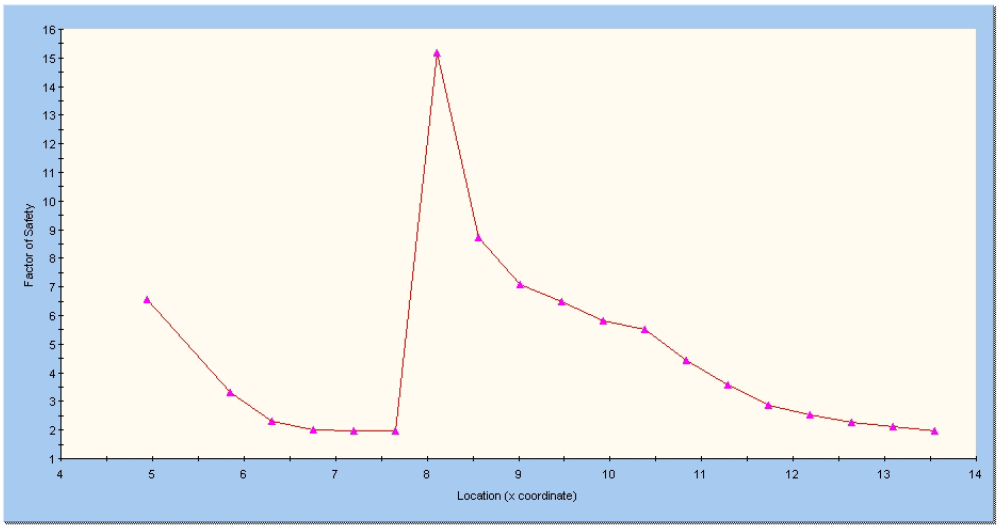
Factor de seguridad Vs. Abscisa

DETALLE


Safety Factor
0.000
0.500
1.000
1.500
2.000
2.500
3.000
3.500
4.000
4.500
5.000
5.500
6.000+
FS (deterministic) = 1.316
FS (mean) = 1.316
PF = 0.000%
RI (normal) = 10.007
RI (lognormal) = 11.434
1.435
55.00 kN/m
1
4
5
1.- Flujo de Tierras
2.- Rellenos
3.- Relleno Aterrazado
4.- Suelo Residual Formación Bogotá
5.- Formación Bogotá
55
50
45
40 m
-5 m
0
5
10
15
20
25
30

CORTE D-D' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA CON OBRA DE MITIGACIÓN
(Falla Translacional)
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)



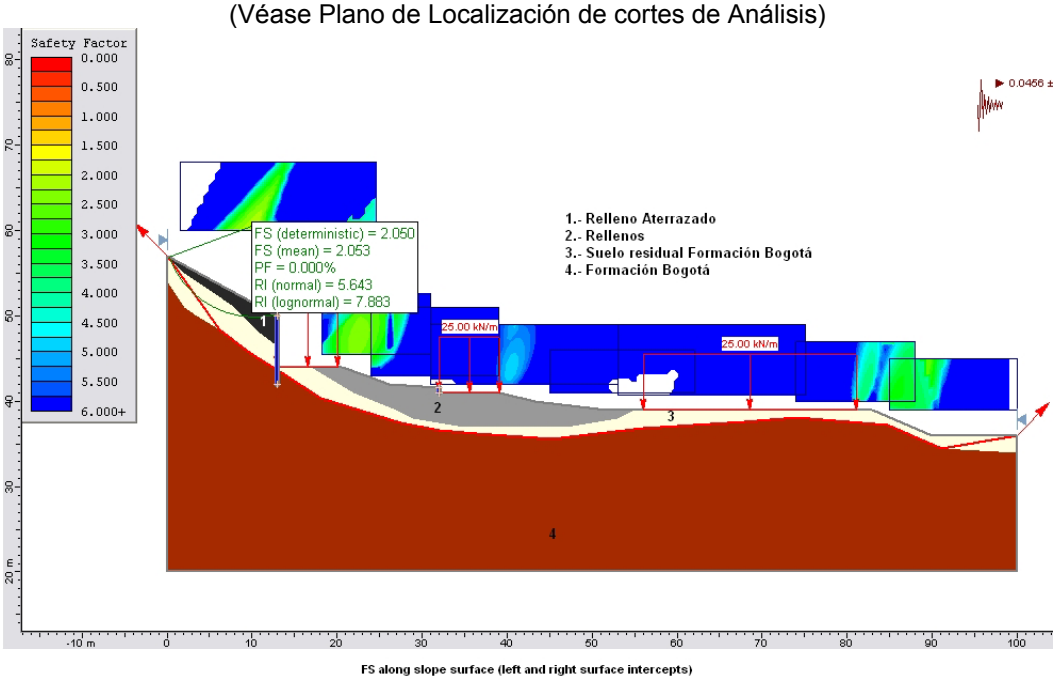


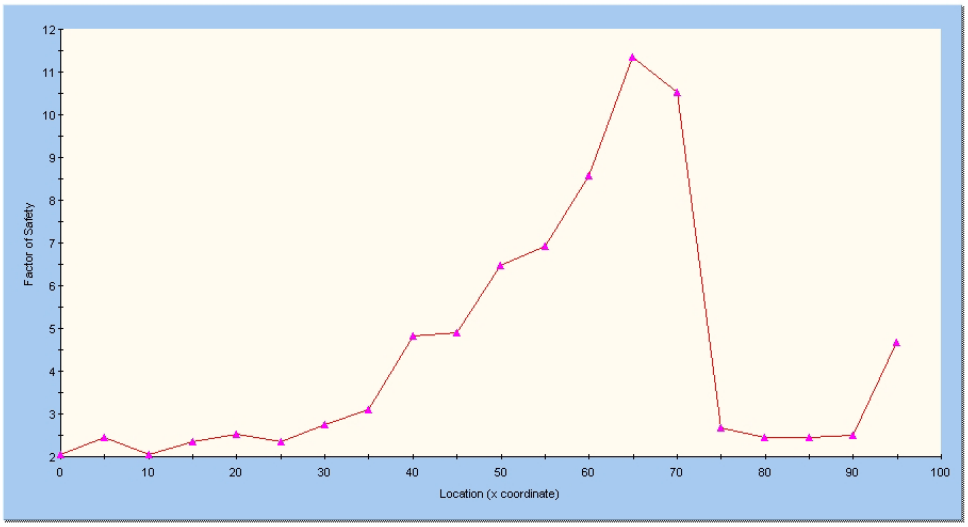
Factor de seguridad Vs. Abscisa

CORTE E-E' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA CON OBRA DE MITIGACIÓN

(Falla Rotacional)

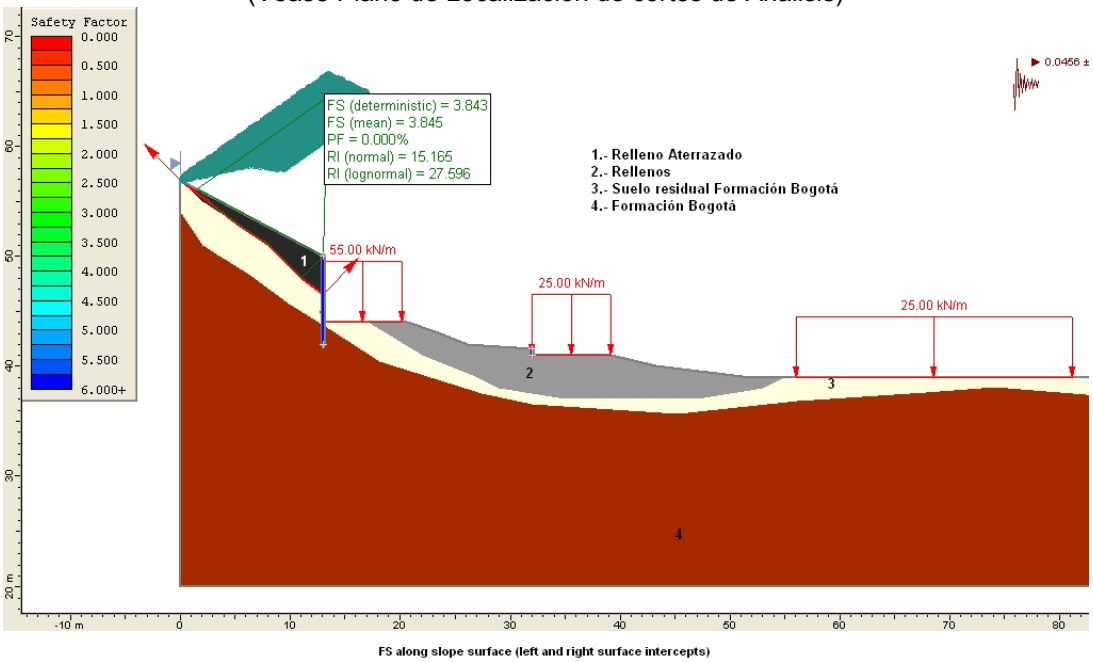
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)

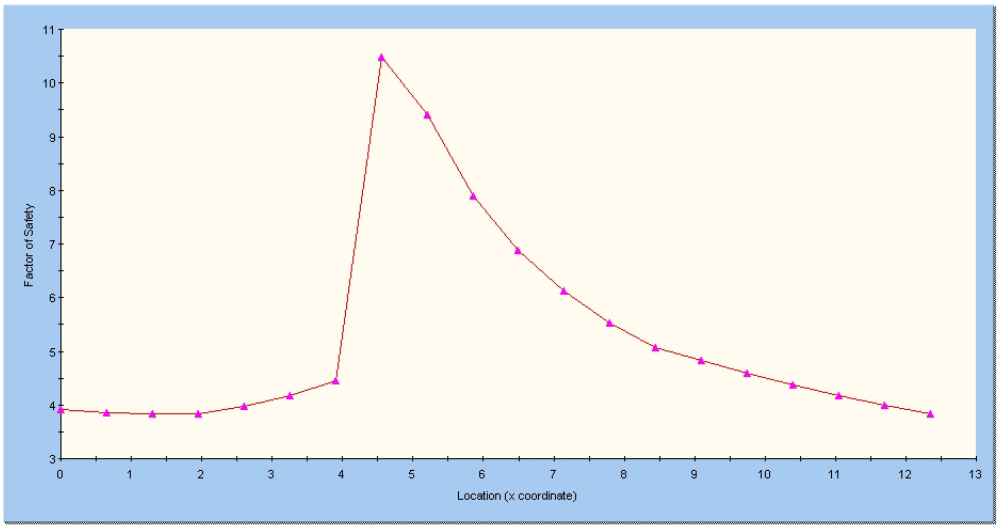




Factor de seguridad Vs. Abscisa

CORTE E-E' – ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA CON OBRA DE MITIGACIÓN
(Falla Translacional)
(Véase Plano de Localización de cortes de Análisis)





Factor de seguridad Vs. Abscisa

A continuación se muestra un cuadro en el que se hace un resumen de los factores de seguridad determinísticos y de las probabilidades de falla para cada uno de los cortes y de los análisis realizados.

	Condición	Falla Rotacional		Falla translacional	
		FS	PF (%)	FS	PF (%)
Corte B-B	Actual	0.64	100.0	1.02	25.2
	Con obra	0.64	100.0	0.99	63.9
	Obras de mitigación	1.11	0.0	2.33	0.0
Corte C-C	Actual	0.83	100.0	0.90	99.9
	Con obra	0.83	100.0	0.82	100.0
	Obras de mitigación	1.34	0.0	1.53	0.0
Corte D-D	Actual	0.71	100.0	0.80	100.0
	Con obra	0.53	100.0	1.05	5.9
	Obras de mitigación	1.31	0.0	1.97	0.0
Corte E-E	Actual	1.25	3.1	1.41	0.8
	Con obra	1.25	3.2	1.37	1.2
	Obras de mitigación	2.05	0.0	3.84	0.0

Del anterior cabe resaltar la mejoría generada por las obras de mitigación sin embargo para el corte C-C' se observa un leve incremento en la probabilidad de falla posiblemente generada por algún efecto de redondeo en los análisis del modelo de computador

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La zona se encuentra en el piedemonte de los cerros Orientales de Bogotá en donde afloran las rocas del Terciario constituidas por la Formación Bogotá aflorando areniscas interestratificadas con arcillolita. El buzamiento de estas capas en el costado Oriental es desfavorable de 30 grados al Occidente.

- En el sector predominan los materiales de cobertura de tipo Cuaternario de los cuales el más importante es el de los botaderos en el costado Oriental sin conformación ni compactación y en el costado Central - Occidental corresponde a rellenos conformados en una pequeña planicie en donde se desarrolla la mayor parte de la urbanización.

- Los afloramientos de la Formación Bogotá indican que ésta fue depositada en un ambiente continental puesto que hay estratificación cruzada.

- En la zona se detectaron dos focos de inestabilidad así: Flujos de Tierra concentrados en los pequeños valles que bajan del costado Oriental y que tienen bastante humedad, típicamente plásticos en algunos casos con materia orgánica. Estos depósitos pueden llegar hasta 2 m de profundidad. Los otros focos se concentran en los botaderos antiguos en el costado Nor Oriental en donde hay un deslizamiento y una cicatriz de deslizamiento que puede afectar la fachada Oriental del bloque de edificios construidos en el costado Norte.

- Desde el punto de vista de drenaje en general el agua está mal drenada, no tiene integración y el agua se acumula hacia el centro de la urbanización en una especie de pantano.

- Adelantar procesos de estabilización de los deslizamientos identificados en el costado Oriental del edifico actualmente construido y de la cancha de baloncesto. Así mismo se deben estabilizar los flujos de tierra mediante la construcción de drenajes superficiales y profundos y reconformación para evitar que durante las épocas invernales se disparen deslizamientos que puedan afectar las viviendas enfrentadas con estos. Para el efecto se deberán tener en cuenta las recomendaciones establecidas en el numeral 30 de la segunda parte de presente informe.

- La zona pantanosa deberá ser drenada y en lo posible colocar un material de recebo para evitar asentamientos. Es obvio que se deben retirar los materiales orgánicos que puedan estar allí presentes.

- La zona de los rellenos de la parte baja fue analizada desde el punto de vista geotécnico durante la ejecución del estudio de suelos recomendado el atravesar dichos mantos para evitar se presenten asentamientos diferenciales debido a la heterogeneidad de estos rellenos. Si se detecta la presencia de la Formación Bogotá ésta se puede clasificar como un material excelente desde el punto de vista geotécnico.

- La zona del costado Oriental en general debe ser bien drenada y reconformada en aquellos sectores en donde se presenten focos inestables protegiéndola con prado como parcialmente están ejecutados algunos de estos taludes.

- Hacia el fondo de la cañada existe un proceso erosivo en un canal de piedra pegada el cual se debe hacer un relleno principalmente con material de la misma zona haciendo una compactación lateral y reconstruyéndolo con vegetación, además hacer un trincho pequeño paralelo al cortacorrientes de 12 m de longitud en bolsas de suelo cemento

- Se deberán realizar gaviones a lo largo del talud nor-oriental en la zona de deslizamientos, dado el corte proyectado para la última terraza que se realizará para dar cabida a las torres. La construcción de dichos gaviones se desarrollará

por etapas correspondientes al desarrollo de cada conjunto de casas a construir. Dichos gaviones ayudarán a estabilizar y minimizar el riesgo de las masas deslizantes y los flujos de tierra muy susceptibles a fallas

- Así mismo se ha establecido como obra de mitigación la construcción de una red de drenajes en espina de pescado para disminuir el lavado de los suelos arcillosos y la matriz fina de los coluviones expuestos dichos drenes se ubicarán detrás de los muros de contención proyectados para las torres para garantizar en todo caso la recolección y evacuación de las aguas de infiltración.

Sin otro particular, nos suscribimos de ustedes.

Cordialmente,

E Y R ESPINOSA Y RESTREPO Y CIA. LTDA.

Ing. Carlos Restrepo G.
Matrícula No. 2520222127

AYR/acb.

CONTENIDO

GENERALIDADES 2

1 DESCRIPCION DEL PROYECTO Y LOCALIZACION 2

2 TOPOGRAFIA.- 4

3 OBJETO Y ALCANCE 4

Primera Parte: Estudios Básicos 5

4 GEOLOGÍA 5

4.1 LITOESTRATIGRAFÍA 5

4.1.1 Formación Bogotá (Tbs) 5

4.1.2 Depósitos Cuaternarios 6

- Flujos de Tierra (Qft) 6
- Rellenos semiconformados en terrenos semiplanos (Qr) 7
- Botaderos Aterrazados (Qb) 7
- Mantos Deslizantes (Qd) 8
- Zona Pantanosa (Qp) 8

4.2 CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES 8

5 GEOMORFOLOGÍA 9

5.1 GEOFORMAS 9

5.1.1 Geoformas de Origen Deposicional 9

5.1.2 Geoformas de Origen Denudacional - Estructural 9

5.2 MORFODINÁMICA 10

5.2.1 Drenaje 11

5.2.2 Procesos Erosivos 12

5.2.3 Fenómenos de Remoción en Masa. 12

5.2.4 Actividad Antrópica. 14

5.3 ZONIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA 14

6 CLIMA Y SUELOS 15

6.1 PRECIPITACIÓN 15

6.2 EVAPOTRANSPIRACIÓN Y HUMEDAD RELATIVA 15
6.3 CLIMA 15
6.4 SUELOS 16
7 HIDROGEOLOGÍA 16
8 SISMOLOGÍA 18
1 PROCESOS DE INESTABILIDAD 20
1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS 20
1.2 EVIDENCIAS DE PROCESOS DE INESTABILIDAD 21
1.3 INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA 22
2 AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA 31
2.1 GENERALIDADES 31
2.2 FACTORES INTRÍNSECOS 33
2.3 FACTORES DETONANTES 40
2.3.1 Lluvia 40
2.3.2 Sismo 43
2.4 RESULTADOS 43
2.4.1 Condición actual por deslizamiento 43
3 VULNERABILIDAD 61
3.1 GENERALIDADES 61
3.2 SOLICITACIONES 62
3.3 TIPIFICACIÓN DE VIVIENDAS 63
3.4 CALIFICACIÓN DE LOS DAÑOS 64
3.5 DAÑOS POTENCIALES 65
3.5.1 Desplazamientos laterales 65
3.5.2 Empujes laterales 66
3.5.3 Matriz de daños 66
3.6 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FÍSICA (IVF) 67
3.7 VULNERABILIDAD POR DESLIZAMIENTOS 68

4 RIESGO 69

4.1 MÉTODO DE ANÁLISIS 69

4.1.1 Hipótesis 1 70

4.1.2 Hipótesis 2 72

4.2 CRITERIOS APLICADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS 73

5 MEDIDAS DE MITIGACIÓN 73

5.1 MUROS DE CONTENCIÓN 74

5.2 RECOMENDACIONES PARA DRENAJES 77

5.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CONSIDERANDO LAS OBRAS DE MITIGACIÓN. 78

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 91

ANEXOS

ANEXO 1 REGISTROS DE PERFORACIONES

ANEXO 2 ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO 3 FIGURAS 1, 2, 3 Y 4

ANEXO 4 ANALISIS DE ESTABILIDAD PROBABILISTICA

ANEXO 4.1 CONDICIÓN ACTUAL

ANEXO 4.2 CONDICIÓN CON OBRA

ANEXO 4.3 CONDICIÓN CON OBRAS DE MITIGACIÓN

ANEXO 5 PLANO DE LOCALIZACION DE CORTES DE ANÁLISIS

ANEXO 6 PLANO DE LOCALIZACION DE SONDEOS

ANEXO 7 PLANO DE OBRAS DE MITIGACION

ANEXO 8 PLANOS DE ZONIFICACIÓN DE RIESGOS (ACTUAL, CON OBRAS Y CON OBRAS DE MITIGACION)

ANEXO 9 CALCULOS DE DISEÑO DE DRENAJES Y GAVIONES

ANEXO 10 PRESUPUESTO OBRAS DE MITIGACION

ANEXO 11 HOJAS DE VIDA DE PROFESIONALES Y CARTA DE RESPONSABILIDAD.