

**DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCIÓN
EN MASA PARA UN TALUD UBICADO EN EL BARRIO SAN MIGUEL DEL
MUNICIPIO DE BUCARAMANGA MEDIANTE UN ANÁLISIS DETERMINÍSTICO
UTILIZANDO LA TEORÍA DE EQUILIBRIO LÍMITE.**

CAROL MELISSA CHAPARRO ACEVEDO

DAMARIS PAOLA VARGAS BELTRÁN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2012

**DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCIÓN
EN MASA PARA UN TALUD UBICADO EN EL BARRIO SAN MIGUEL DEL
MUNICIPIO DE BUCARAMANGA MEDIANTE UN ANÁLISIS DETERMINÍSTICO
UTILIZANDO LA TEORÍA DE EQUILIBRIO LÍMITE.**

CAROL MELISSA CHAPARRO ACEVEDO

DAMARIS PAOLA VARGAS BELTRÁN

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniera Civil**

Director:

Ing. Wilfredo del Toro

Co-Director:

Ing. William Cortes - CDMB

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2012

DEDICATORIA

A Dios por darme la fortaleza, paciencia e inteligencia
para culminar esta etapa de mi vida

A mi papí y a mi mamá, por el esfuerzo que hacen para brindarme lo mejor
y hacer de mí una gran persona con su ejemplo

A mi novio por su apoyo incondicional, la paciencia y
el amor que me ha brindado siempre

A mis amigos y amigas por acompañarme en este camino
y llenarlo de grandes momentos

Paola Vargas

DEDICATORIA

A Dios porque siempre está conmigo y gracias a sus bendiciones

Pude culminar esta etapa de mi vida.

A mis Padres, Beatriz y Marco Antonio por creer en mí,

esto es de ellos y para ellos, porque con su amor y apoyo

me impulsaron a seguir siempre adelante en la vida.

Mi Triunfo es el de ustedes ¡Los Amo!

A mi Abuelita Flor de María (QEPD), quien nunca dudó

Que lograría este triunfo ¡Dios sabe cuánto Te Extraño!

A mi novio Alfonso porque siempre con su amor y paciencia me dio

fuerzas para combatir todas las barreras que se presentaron en el camino.

A mis familiares y amigos que gracias a su compañía y apoyo incondicional

me hicieron vivir momentos inolvidables. Mil Gracias.

Carol Melissa

AGRADECIMIENTOS

A Díos por darnos salud, fuerza y perseverancia durante mi carrera profesional

A nuestros padres por brindarnos la oportunidad de estudiar y garantizarnos un futuro profesional

A la universidad Industrial de Santander por nuestra formación profesional

A los ingenieros Miguel Ángel Camargo y Miguel Silva y a su Familia Construsuelos de Colombia S.A.S por su apoyo y colaboración en cada una de las etapas de la realización de este proyecto

A nuestro director de proyecto Ingeniero Wilfredo del Toro por ser la guía en este proceso

Al ingeniero William Cortes y a la CDMB por permitirnos desarrollar este proyecto

Al ingeniero Camilo Flórez por su colaboración y guía incondicional

A Cata, Sebas, Lucío, Juanito, Natha, Fabián, Jorgiño, Fabís, Chuchís, EverFit, Jhon F., por su amistad, apoyo, consejos y fuerza en todo momento

Gracias

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. OBJETIVOS	19
1.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2. GENERALIDADES DEL PROYECTO	20
3. GEOLOGIA.....	21
3.1 GEOLOGIA REGIONAL.....	21
4. INFORMACIÓN EXISTENTE	28
4.1 ESTUDIOS REALIZADOS EN LA ZONA.....	28
4.2 INFORMACIÓN HIDROLÓGICA.....	34
4.3 EVOLUCIÓN DEL PROCESO EROSIVO.....	36
4.4 OBRAS EXISTENTES	40
5. INVESTIGACIONES DE CAMPO.....	42
5.1 EXPLORACIÓN MEDIANTE APIQUES A CIELO ABIERTO	42
5.2 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO. Véase Anexo B. ...	43
6. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS.....	48
6.1 CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	48
6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS MÉTODO 3σ	49
6.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	52
7. ANÁLISIS DE CARGAS PRESENTES EN LA ZONA.....	54
8. EVALUACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA.....	57
8.1 REMOCIÓN EN MASA	57
8.2 AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA	57
8.3 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA	57

8.4	EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUDES MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE	58
8.5	ESCENARIO PSEUDOESTÁTICO	58
8.6	MODELOS GEOTÉCNICOS.....	59
8.7	CALIBRACIÓN DEL MODELO, TALUD ANTES DE LA FALLA.....	60
9.	PROPUESTAS DE LAS POSIBLES OBRAS DE MITIGACIÓN	63
	CONCLUSIONES	70
	BIBLIOGRAFÍA	72
	ANEXOS	75

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Información Sondeo 5 - ETA	30
Tabla 2. Información Sondeo 6 - ETA	30
Tabla 3. Información Sondeos por Geotecnología	32
Tabla 4. Información Sondeos - ConstruSuelos	33
Tabla 5. Registros históricos SRO-9	35
Tabla 6. Registros históricos SRO-11	35
Tabla 7. Información Apique 1	44
Tabla 8. Información Apique 2	45
Tabla 9. Información Apique 3	46
Tabla 10. Información Apique 4	47
Tabla 11. Resistencia del Suelo Sondeos	48
Tabla 12. Resistencia del Suelo Sondeos ConstruSuelos	48
Tabla 13. Resistencia Suelo en Apiques	49
Tabla 14. Método 3σ - Miembro Limos Rojos	50
Tabla 15. Método 3σ - Miembro Gravoso	51
Tabla 16. Método 3σ - Miembro Finos.	51
Tabla 17. Método 3σ - Miembro Órganos.	51
Tabla 18. Método 3σ - Coluvión.	52
Tabla 19. Coeficientes de variación de las propiedades del suelo	52
Tabla 20. Parámetros de Resistencia para cada UGS	53
Tabla 21. Valores de diseño finales para cada unidad geológica superficial.	53
Tabla 22. Carga de referencia según tipo de eje. Fuente: INVIAS	54
Tabla 23. Criterios de Evaluación de Amenaza	57

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Ubicación y delimitación del talud en estudio.....	20
Ilustración 2. Modelo tridimensional de la tectónica del área Metropolitana de Bucaramanga.....	21
Ilustración 3. Localización sondeos y apiques realizados por ETA en área de estudio.....	29
Ilustración 4. Localización sondeos y apiques por Geotecnología en área de estudio.....	31
Ilustración 5. Perfil estratigráfico PILA 3 - VIADUCTO LA NOVENA	33
Ilustración 6. Ubicación Piezómetros - CDMB.....	34
Ilustración 7. Plano curvas de niveles freáticos presentes en la zona	36
Ilustración 8. Planta General Procesos Erosivos - Carrera 9	37
Ilustración 9. Fotografía zona de estudio año 2002	38
Ilustración 10. Fotografía zona de estudio año 2011	38
Ilustración 11. Evidencias Erosivas y Falla en las estructuras existentes	39
Ilustración 12. Evidencia de árboles inclinados y basuras	39
Ilustración 13. Construcción Pantalla Anclada - Año 1995.....	40
Ilustración 14. Etapa Final de Construcción de la Pantalla Anclada	41
Ilustración 15. Método de campo para la toma de muestras inalteradas en apique	42
Ilustración 16. Ejecución Apique 1. Parte media del talud.....	43
Ilustración 17. Ejecución Apique 2. Parte media del talud.....	44
Ilustración 18. Ejecución Apique 3. Pie del talud.....	45
Ilustración 19. Ejecución Apique 4. Corona del talud	46
Ilustración 20. Corona del deslizamiento que afectó una vivienda de invasión posterior a la institución educativa.	60
Ilustración 21. Análisis del talud, condiciones de inestabilidad. Calibrado mediante “Retro Cálculo”	61
Ilustración 22. Condiciones de talud inestable.	63
Ilustración 23. Terraceo Perfil 7 – Escenario Estático.....	65
Ilustración 24. Modelamiento del Perfil 3 con nivel freático – Escenario Estático .	66
Ilustración 25. Detalle de zanja de coronación para el control de aguas superficiales.	67
Ilustración 26. Pantalla Anclada existente – Perfil 4 – Escenario Estático.	68
Ilustración 27. . Pantalla Anclada – Perfil 3 – Escenario Estático.	69

Ilustración 28. Pantalla Anclada – Perfil 7 – Escenario Estático.	69
--	----

LISTA DE ANEXOS

Pág.

ANEXO A.	MAPA GEOLÓGICO DEL TALUD.....	76
ANEXO B.	RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO	77
ANEXO C.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	89
ANEXO D.	RETRO CÁLCULO.....	93
ANEXO E.	MODELAMIENTO DEL TALUD - ESCENARIO ESTÁTICO	94
ANEXO F.	MAPAS DE AMENAZA EN REMOCION EN MASA ESCENARIO ESTATICO - ESCENARIO PSEUDOESTATICO	98
ANEXO G.	PERFILES CON OBRAS – PANTALLA ANCLADA ESCENARIO ESTATICO	100
ANEXO H.	MODELAMIENTO DE OBRAS PROPUESTAS MAPA DE AMENAZA CON OBRAS DE MITIGACIÓN PROPUESTAS.....	103

RESUMEN

TITULO: DETERMINACION DEL NIVEL DE AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA PARA UN TALUD UBICADO EN EL BARRIO SAN MIGUEL DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA MEDIANTE UN ANÁLISIS DETERMINÍSTICO UTILIZANDO LA TEORÍA DE EQUILIBRIO LÍMITE.*

AUTORES: CAROL MELISSA CHAPARRO ACEVEDO**
DAMARIS PAOLA VARGAS BELTRAN**

PALABRAS CLAVES: Equilibrio limite, Talud, Factor de Seguridad, Estabilidad, Mohr Coulomb, Amenaza, Deslizamiento.

DESCRIPCIÓN

El estudio se realizó con el fin de determinar el nivel de amenaza de un talud ubicado en el barrio San Miguel del Área Metropolitana de Bucaramanga.

El talud presenta una geología conformada por los distintos miembros de la Formación Bucaramanga: Limos rojos (Qblr), gravoso (Qbg), finos (Qbf) y órganos (Qbo); provenientes de suelos aluviales. Debido a los evidentes problemas erosión y estabilidad del talud es necesario analizar el comportamiento y determinar el nivel de amenaza de este, para de esta manera proponer posibles soluciones que mitiguen esta problemática.

El estudio se llevó a cabo en varias etapas, la primera, fue la recopilación de información existente en la zona de estudio con ayuda de la CDMB, Área Metropolitana de Bucaramanga y la empresa ConstrSuelos de Colombia S.A.S; la segunda etapa, consistió en la ejecución y posterior clasificación de 4 apiques en campo en las distintas unidades geológicas superficiales existentes. Seguidamente se analizó la información con el fin de obtener los parámetros de resistencia del suelo y evaluar el nivel de amenaza por fenómenos de remoción en masa a través del software Slope/W de GEO/SLOPE que usa la teoría del equilibrio límite para calcular el factor de seguridad en condiciones estáticas y pseudoestática obteniendo así resultados para los diferentes escenarios; con esto se zonificó el área de estudio en tres zonas representativas de amenaza (Amenaza Alta, Media y Baja) de acuerdo a criterios de la CDMB.

Una vez obtenida esta zonificación se plantearon y evaluaron diferentes alternativas de obras que mitiguen la inestabilidad y la erosión de la zona en estudio, entre las cuales encontramos: sistema de anclajes pasivos y activos, sistemas de contención rígidos, sistemas de bioingeniería para el control de erosión y sistemas para el control de aguas.¹

*Proyecto de Grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Wilfredo del Toro.
Co-director: William Cortés

ABSTRACT

TITTLE: THREAT LEVEL DETERMINATION OF MASS REMOVAL PROCESSES FOR A SLOPE LOCATED IN THE NEIGHBORHOOD SAN MIGUEL OF THE MUNICIPALITY OF BUCARAMANGA THROUGH A DETERMINISTIC ANALYSIS USING THE THEORY OF LIMIT EQUILIBRIUM.*

AUTHORS: CAROL MELISSA CHAPARRO ACEVEDO**
DAMARIS PAOLA VARGAS BELTRAN**

KEYWORDS: Limit equilibrium, Slope, Factor of Safety, Stability, Mohr Coulomb, Threat, Landslide.

DESCRIPTION

The study was conducted to determine the threat level of a slope located in the neighborhood of San Miguel in the metropolitan area of Bucaramanga.

The slope has a geology which consists from different members of Bucaramanga's formation: Limos rojos (Qblr), gravoso (Qbg), finos (Qbf) y órganos (Qbo) from alluvial soils. Because of the erosion and slope stability problems is necessary to analyze the behavior and determinate the threat level in this place, for this way propose possible solutions to mitigate this problem.

The study was carried out in several stages; the first one was the collection of information from the study area with the assistance from CDMB, Metropolitan Area of Bucaramanga and Construsuelos Company, the second stage consisted in the execution and classification of 4 field probes in different geologic units existing surface. Then the information is analyzed to obtain soil strength parameters and evaluate the threat level for mass wasting processes using the software Slope/ W GEO / SLOPE that uses limit equilibrium theory to calculate the factor of safety under static and Pseudo static conditions and getting results for different scenarios, with this information the study area was zoning into three zones representing threat (High, Medium and Low Threat) according to CDMB criteria.

After get these zoning, different alternatives were raised and evaluated to mitigate the instability and erosion in the study area, some of them are: passive and active anchors, rigid containment systems, bioengineering systems to control erosion and control systems for water.

*Work of Investigation

**Faculty of Fisicomecanicas Sciences, School of Civil Engineering, Ing. Wilfredo del Toro. Co-director: William Cortés

INTRODUCCIÓN

El Barrio San Miguel ubicado en la ciudad de Bucaramanga, históricamente viene presentando problemas de inestabilidad en los taludes que conforman la zona. Debido a esto, es importante comprender el nivel de amenaza que presenta este talud para de esta manera plantear posibles obras que mitiguen dicho fenómeno.

La geología presente en la zona está definida por la Formación Bucaramanga, la cual se caracteriza por presentar miembros limos rojos, finos, gravoso y órganos provenientes de suelos aluviales.

La evaluación de Amenaza por fenómenos de remoción en masa se realizó por medio de los factores de seguridad de las laderas en la zona de estudio. El modelo fue generado a través del software SLOPE/W, de GEO-SLOPE (Propiedad de CDMB), que usa la teoría del Equilibrio Límite para calcular el factor de seguridad de taludes de tierra y roca, en condiciones estáticas y pseudoestáticas (sismo).

Al obtener los resultados de los modelos para los diferentes escenarios, se zonificó el área de estudio en tres zonas representativas de amenaza, Amenaza Alta, Amenaza Media y Amenaza Baja, de acuerdo a criterios de la CDMB.

Se elaboró modelos de estabilidad implementando e investigando diferentes técnicas de estabilización de taludes, entre las cuales está, Sistema de anclajes pasivos y activos, Sistemas de contención rígidos y Sistemas de Bioingeniería para el control de erosión. El desarrollo de este proyecto de grado es indispensable y de gran ayuda en los estudios y proyectos constructivos posteriores que hayan de realizarse en la zona que abarca el talud

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el nivel de amenaza por procesos de remoción en masa para un talud ubicado en el Barrio San Miguel del Municipio de Bucaramanga mediante un análisis determinístico utilizando la Teoría de Equilibrio Límite.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar la información existente (cartografía, geología, geomorfología, mapas de pendientes, climatología).
- Plantear un modelo geológico-geotécnico característico de la zona afectada.
- Ejecutar apiques en campo sobre las diferentes unidades geológicas superficiales.
- Realizar ensayos de resistencia al cortante mediante el ensayo de corte directo a las diferentes unidades geológicas superficiales.
- Evaluar la amenaza por fenómenos de remoción en masa del talud en estudio ubicado en el Barrio San Miguel mediante un análisis determinístico implementando la Teoría de Equilibrio Límite.
- Proponer obras de mitigación en zonas de amenaza alta mitigable utilizando diferentes metodologías.

2. GENERALIDADES DEL PROYECTO

El talud estudiado está ubicado en la parte occidental del escarpe de la Meseta de Bucaramanga, se encuentra rodeado al Este con la Quebrada la Rosita en donde actualmente se encuentra el vivero de la CDMB y al Oeste limitando con el Barrio San Miguel Comuna 6 del Área Metropolitana de Bucaramanga. Este tiene aproximadamente 30.00 metros de altura y 400.0 metros de longitud.

Ilustración 1. Ubicación y delimitación del talud en estudio



Fuente: Google Earth

En la zona se encuentran espacios de recreación para la comunidad, viviendas y una institución educativa, entre otros. Presenta cobertura vegetal compuesta por una alta densidad de árboles, arbustos y en algunos sectores se aprecia escombros y basuras arrojadas por la comunidad.

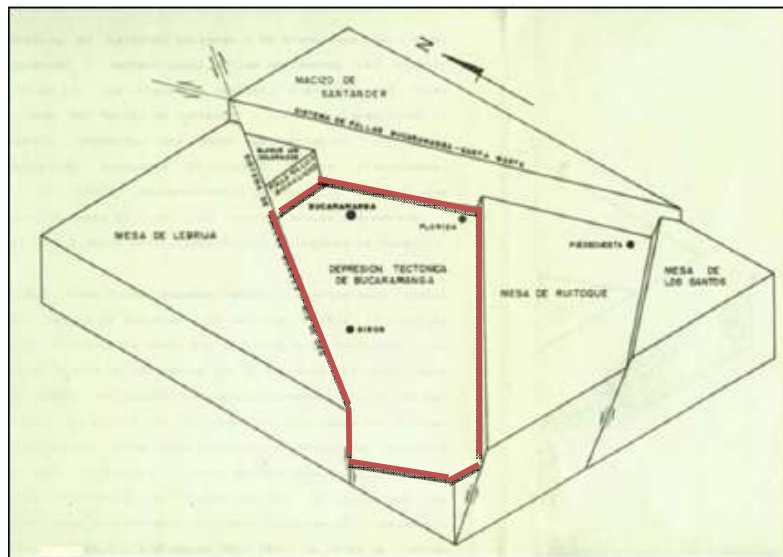
3. GEOLOGIA

Según mapa geológico **INGEOMINAS (2001)** las características geológicas de la zona estudiada son de vital importancia para la determinación de la amenaza del presente proyecto, ya que teniendo en cuenta la estructura geológica del suelo podemos analizar y modelar posteriormente el comportamiento del talud.

3.1 GEOLOGIA REGIONAL

El Área Metropolitana de Bucaramanga está conformada por tres bloques tectónicos principales limitados por dos grandes sistemas de fallamiento: al occidente por el sistema de fallas del Suarez y al oriente por el de Bucaramanga-Santa Marta.

Ilustración 2. Modelo tridimensional de la tectónica del área Metropolitana de Bucaramanga.



Fuente: INGEOMINAS 2001

3.1.1 Bloque Central

Corresponde a un bloque hundido, el cual fue rellenado por depósitos aluviales recientes (730.000 años a 1 millón de años) dentro de los que están: El abanico de Bucaramanga, que constituye la formación Bucaramanga (Qb), con un espesor aproximado de 290 metros y los abanicos sobre los cuales se ubican las cabeceras municipales de Floridablanca y Piedecuesta. También se encuentran flujos de escombros (Qfe) provenientes principalmente del bloque oriental, Terrazas aluviales Altas (Qal3), Medias (Qal2) y bajas (Qal1), llanuras aluviales asociadas principalmente a los ríos de Oro y Frío (Qal).

3.1.1.1 Formación Bucaramanga

Conformada de base a techo por los miembros Órganos (Qbo), Finos (Qbf), Gravoso (Qbg) y Limos Rojos (Qblr).

- a) **Miembro Órganos (Qbo).** Definido por Hubach (1952). Esta es la unidad más potente de la formación Bucaramanga, estimándose que su espesor podría superar los 180 m.;

De acuerdo con Bueno y Solarte (1994), corresponde a una serie monótona de niveles polimicticos de fragmentos gruesos, de aspecto conglomeratico, con alternancia de capas y lentes limo arenosos con variaciones laterales y verticales en composición y textura. Hubach (1952) describe niveles lenticulares limos arenosos con espesores de hasta 5 metros.

Los niveles de aspectos “conglomeraticos” conforman depósitos de gravas y bloques, débilmente consolidados, clasto-soportados y grano-soportados, dispuestos en capas gruesas a muy gruesas, con espesores hasta de 15 metros. El tamaño de los cantos varía entre 10 y 30 cm, alcanzando bloques mayores de un metro de diámetro. Estos se componen en su mayoría de areniscas silíceas de grano medio, bien cementadas y en

menor proporción de fragmentos de rocas ígneas ácidas de textura fanerítica, neis micáceo de color amarillo hasta rosado, areniscas lodosas rojizas de grano fino y alto contenido de micas, cuarzo lechoso, lilitas y cherts. Todos los fragmentos tienen formas redondeadas a sub-redondeadas, esfericidad baja a media y mala selección. Los niveles gravosos presentan matriz arcillosa, pardo amarillento, con algunas variaciones a gris amarillento. Los niveles finos corresponden a arcillas arenosas y arenas arcillosas compactas, de consistencia firme ligeramente micáceas, con trazas de materia orgánica.

- b) **Miembro Finos (Qbf).** Este nivel fue reconocido y definido por Hubach (1952). Se ubica estratigráficamente entre el miembro Órganos y el miembro Gravoso, en contactos netos planos paralelos.

La secuencia de los miembros finos se puede dividir en dos conjuntos:

- **Conjunto Arcilloso:** Localizado hacia la base, se caracteriza por ser arcillo-limoso, masivos, de colores grises a verdes, con estratificación plana paralela, en donde el espesor varía ampliamente, como el barrio Porvenir (9m) y cuchillas de Palomitas (2m).
- **Conjunto Arenoso:** Se localiza hacia el techo, donde muestra una alternancia de niveles areno-limosos con niveles limo-arenosos feldespáticos, de colores amarillentos a pardo amarillento. Hacia la base de este conjunto predominan costras y un nivel arcilloso pardo oscuro. En la cuchilla de palomitas solo se observan las arcillas grises a verdes en contacto erosivo con el suprayacente miembro Gravoso (Qbg).

En el barrio Malpaso, el miembro Finos, muestra niveles arenosos abigarrados, con un nivel intermedio de base conglomeraticasuprayaciendo el nivel arcillo arenoso.

- c) **Miembro Gravoso (Qbg):** Ubicado sobre la escarpa occidental y norte de Bucaramanga, también conforma los escarpes superiores de la parte alta del nacimientos de la quebrada la Iglesia, en los alrededores de los barrios Lagos del Cacique, Diamante II y San Luis. Otras secciones importantes se localizan en los barrios La Cumbre, La Feria, Polvorines, Don Bosco y la vía a Café Madrid.

Los cantos son en su mayor parte de tamaño grava, con diámetro promedio de 15 cm y bloques de roca en menor cantidad hasta de 0.8 m de diámetro, sub-angulares a sub-redondeados, en matriz arcillo-areno-limosa, color pardo rojizo, rojizo y ocre pálido. Están compuestos en su mayor parte por rocas metamórficas e ígneas del Macizo de Santander y areniscas cuarzosas, areniscas limosas y limolitas violáceas de las formaciones Girón y Jordán.

La matriz es de composición cuarzo feldespático micáceo (cuarzo, plagioclasas, láminas de moscovita), de consistencia media y de baja cohesión. Su espesor varía entre 8 y 30 m, presenta niveles gravosos, gravo arenosos y gravo lodosos.

El general el depósito es matriz soportado, aunque localmente se presenta clastosoportado. El contacto inferior con el miembro Finos es neto, continuo y suavemente ondulado; el contacto superior con el miembro Limos Rojos es gradacional (Niño y Vargas 1992).

- d) **Miembro Limos Rojos (Qblr).** Novel definido por Julievert (1963). Este miembro se localiza en el sector urbanizado de Bucaramanga, aunque no en forma uniforme, y se continúa hacia el sur, hasta el sector norte del municipio de Floridablanca.

Está constituido por arenas arcillosas gravosas y limos de colores rojizos amarillentos y naranjas. Se observó la presencia esporádica de bloques angulares de areniscas asociados superficialmente a este miembro, estos cantos pueden estar embebidos dentro de los limos rojos y se caracterizan por estar meteorizados.

Suprayace el segmento gravoso y su contacto con este es gradacional. El ambiente de depositación indica un dominio de flujo de lodos combinados con caídas de bloques de la pendiente del macizo.

3.1.1.2 Depósitos de Flujos de Escombros (Qfe)

Son depósitos de piedemonte de origen flujotorrencial y fluviogradacional, provenientes principalmente de la denudación de materiales alterados que componen el Macizo el Santander, los cuales son transportados a lo largo de los cauces de las corrientes de agua que nacen en este.

Se presentan sobre el piedemonte oriental del Área Metropolitana, entre el casco urbano de Floridablanca y Piedecuesta, donde se reconocen materiales cuyos depósitos, al pie de la ladera montañosa, forman abanicos y conos de deyección coalescentes con pendiente de 2° a 4° y superficies suavemente onduladas. Sobre esta unidad se desarrolla un drenaje paralelo a subparalelo.

Están constituidos esencialmente por fragmentos de rocas ígneas y metamórficas del macizo, tamaño grava y bloque principalmente neises y granodiorita, esporádicamente anfibolitas, dioritas y esquistos, en matriz areno-limosa. Estos depósitos sedimentarios se han venido acumulando mediante repetidos episodios de descargas torrenciales, probablemente violentas por lo que los espesores y sus proporciones granulométricas y volumétricas son muy variados. Se pueden encontrar eventos clasto-soportados, con predominio de bloques y gravas, como también matriz soportados, con predominio de arena, el tamaño máximo de estos

bloques pueden sobrepasar 1m de diámetro. Estos depósitos descansan principalmente sobre rocas de las formaciones Girón, Jordán y Silgará, su espesor medio se estima entre 10 y 15 m.

3.1.1.3 Aluvial Reciente (Qal)

Los depósitos aluviales recientes corresponden a sedimentos de matriz arcillo arenosa y limo arenosa, con presencia de cantos redondeados de variada composición. Se encuentran principalmente formando el cauce de la quebrada La Rosita, actualmente cubierto por el vivero de la CDMB y el cauce de la quebrada El Loro.

3.1.1.4 Depósitos Coluviales (Qc)

Corresponden a los depósitos generados por fenómenos de remoción en masa (deslizamientos) que han ocurrido en la zona de estudios, estos depósitos constituyen casi toda la escarpa localizada al sur de la Calle 45 y se presentan también en ambos márgenes de las quebradas La Rosita y El Loro. Están constituidos principalmente por una matriz arcillo arenosa y limo arenosa de color amarillento, gris y marrón claro, húmeda con presencia de gravas y cantos muy meteorizados de areniscas, lodolitas, rocas ígneas y metamórficas. Son depósitos sueltos con alta susceptibilidad a deslizamientos.

3.1.1.5 Llenos Antropogénicos (Qllm)

Relleno sin compactar, compuesto por arenas limosas, sueltas, muy húmedas, color marrón con trozos de concreto, ladrillo rojo y gravas de arenisca color amarillo.

En la zona se presentan rellenos con espesores importantes tanto en la zona cercana la Escarpa Occidental, como es en el sector de Chorreras de Don Juan, junto a la plaza de Mercado La Rosita, el Relleno de la antigua quebrada La Rosita y un relleno importante junto al estribo sur del puente sobre la quebrada El Loro. Además, se presentan rellenos de bajo espesor en diversos taludes de la escarpa (estos rellenos presentan espesores inferiores a 3 metros). Véase Anexo A.

4. INFORMACIÓN EXISTENTE

El proceso de recopilación primaria de información de la zona estudio inició con la topografía existente suministrada por la Corporación Regional de la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB). Posteriormente se obtuvo de la misma fuente la geología tomada de **Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, girón y Piedecuesta** (INGEOMINAS 2001, CDMB).

4.1 ESTUDIOS REALIZADOS EN LA ZONA

Otra información de vital importancia para el desarrollo del proyecto de grado fue suministrada por el **Área Metropolitana de Bucaramanga con el Proyecto CONEXIÓN ALTERNA CENTRO-SAN MIGUEL-CIUDELA REAL DE MINAS**.

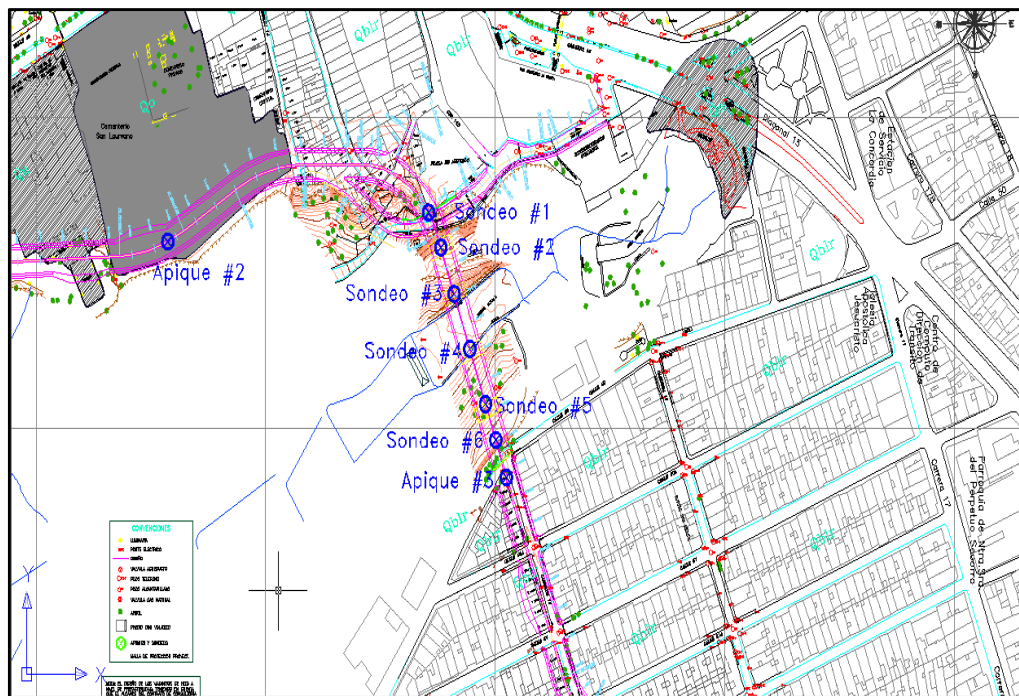
Para el desarrollo del proyecto **VIADUCTO LA NOVENA** se realizaron diferentes estudios en el talud del Barrio San Miguel y sus alrededores, con base en estos se seleccionó información significativa para relacionarla con los resultados obtenidos en campo.

La información de dichos estudios se resume en datos de clasificación de suelo, gradación de suelo, límites de consistencia, parámetros de resistencia, niveles freáticos, perfiles geológicos-geotécnicos, geomorfología de la zona y obras de mitigación existentes.

Analizando y clasificando la información existente de los distintos estudios suministrados por el **Área Metropolitana de Bucaramanga**, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Consultoría para la revisión, adecuación y complementación de los estudios y diseños viales existentes y elaboración de estudios y diseños de dos (2) puentes vehiculares para la prolongación de la Carrera Novena – Conexión Alternativa Centro – Ciudadela Real de Minas pasando por San Miguel, para su funcionamiento en doble sentido y doble calzada con separador. **ETA S.A.**

Ilustración 3. Localización sondeos y apiques realizados por ETA en área de estudio



Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga

Tabla 1. Información Sondeo 5 - ETA

SONDEO 5 PROF		%pasa200	%w	LL	LP	IP	CLASF.	DESCRIP.
0	0.45		16					RELLENO
0.45	0.9		16					RELLENO
0.9	1.35		9.8					RELLENO
1.35	1.8		9.8					RELLENO
1.8	2.25		9.6					RELLENO
2.25	2.7		9.6					RELLENO
2.7	3.15	40.2	9.7	26.2	15.5	10.7	SC-SP	
3.15	3.6	40.2	9.7	26.2	15.5	10.7	SC-SP	
3.6	4.05							NO RECUPERO
4.05	4.5							NO RECUPERO
4.5	4.95	41.8	17	35.5	18.6	17	SC-SP	
4.95	5.4	41.8	17	35.5	18.6	17	SC-SP	
5.4	5.85	41.8	13.2	35.5	18.6	17	SC-SP	
5.85	6.3	41.8	13.2	35.5	18.6	17	SC-SP	
6.3	6.75	41.8	19.9	35.5	18.6	17	SC-SP	
6.75	7.2	41.8	19.9	35.5	18.6	17	SC-SP	
7.2	7.45							SE ENCAMIZO
7.45	7.9							RECHAZO
7.9	8.9		18.5					SE BAJO BARRENA
8.9	9.35	13.1	18.5	25.2	16.8	8.4	SC-SP	
9.35	9.8	13.1	18.5	25.2	16.8	8.4	SC-SP	
9.8	10.25	43.7	12	25	12.8	12.2	SC-SP	
10.25	10.7	43.7	12	25	12.8	12.2	SC-SP	
10.7	11.15	43.7	16.8	25	12.8	12.2	SC-SP	
11.15	11.6	43.7	16.8	25	12.8	12.2	SC-SP	
11.6	12.05							NO RECUPERO
12.05	12.5							NO RECUPERO
12.5	12.95	39.9		32.3	16	16.4	SC-SP	
12.95	13.1	39.9		32.3	16	16.4	SC-SP	

Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga

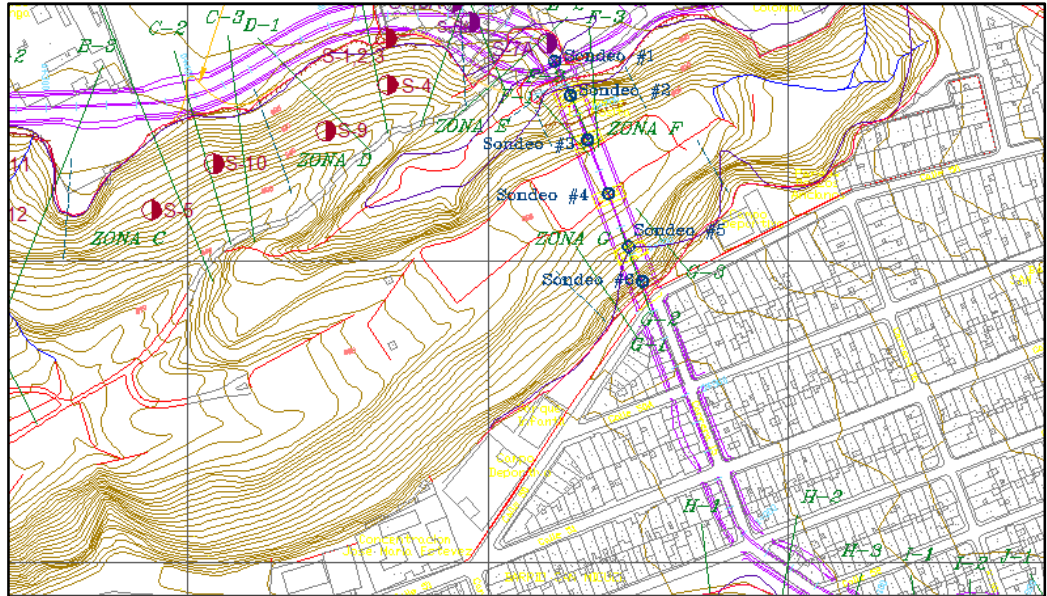
Tabla 2. Información Sondeo 6 - ETA

SONDEO 6 PROF		%pasa200	%w	LL	LP	IP	CLASF.	DESCRIP.
0	0.56							RELLENO
0.56	1							RELLENO
1	1.55							RELLENO
1.55	2							
2	2.45	42.9	14.1	34.9	23.7	11.2	SC-SP	
2.45	2.9	42.9	14.1	34.9	23.7	11.2	SC-SP	
2.9	3.35	42.9	11.7	34.9	23.7	11.2	SC-SP	
3.35	3.65	42.9	11.7	34.9	23.7	11.2	SC-SP	
3.65	4.3		18.2					SE BAJO BARRENA
4.3	4.75		18.2					HUBO UN VACIO
4.75	5.2	23.7	18.2	24.7	17.5	7.2	SCSP	
5.2	5.4							SE ENCAMISO
5.4	5.85	23.7	7.5	24.7	17.5	7.2	SCSP	
5.85	6.3	23.7	7.5	24.7	17.5	7.2	SCSP	
6.3	6.85							SE BAJO BARRENA
6.85	7.3							NO RECUPERO NADA
7.3	7.95							SE BAJO BARRENA
7.95	8.4	35.1	14.7	24.8	16.4	8.4	SC-SP	
8.4	8.85	35.1		24.8	16.4	8.4	SC-SP	
8.85	10.35							SE BAJO BARRENA
10.35	10.8	57.4	17.6	37.8	21.8	15.9	CL	
10.8	11.25	57.4	17.6	37.8	21.8	15.9	CL	
11.25	11.4							RECHAZO
11.4	12							SE BAJO BARRENA
12	12.45	57.4	22	37.8	21.8	15.9	CL	

Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga

- Diagnóstico de la estabilidad de las laderas en el proyecto de prolongación de la carrera 9 en Bucaramanga. **Geotecnología Ltda.**

Ilustración 4. Localización sondeos y apiques por Geotecnología en área de estudio.



Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga

Tabla 3. Información Sondeos por Geotecnología

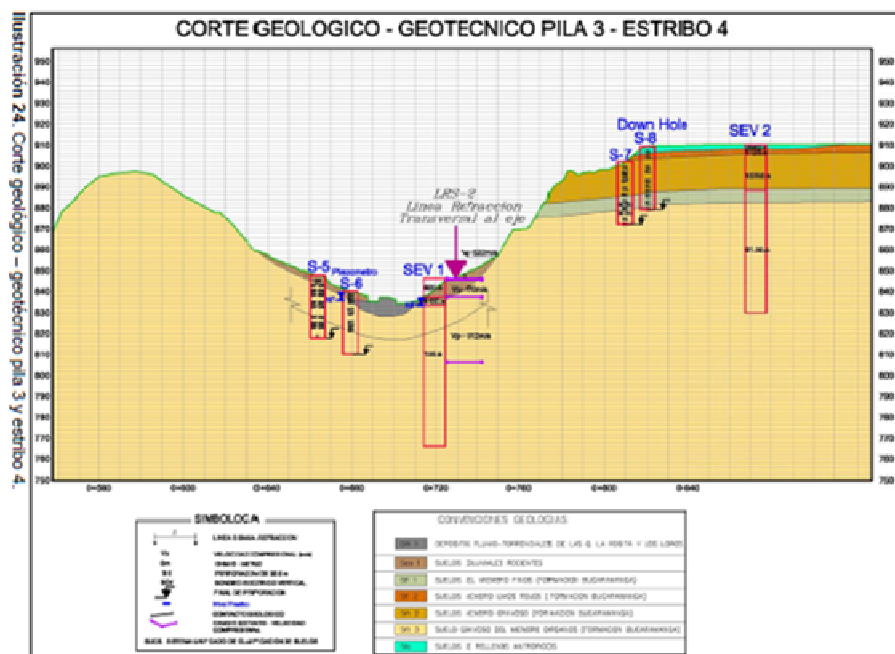
Sondeo	Prof. (m)	% W	% Finos	% L.L	% L.P	% I.P	Clasificación SUCS
1	1.50	15.56	49.15				SM
4	2.00			26.15	23.16	2.99	ML
5	1.50	15.39	52.26				CL
5	3.50	19.14	56.93				CL
5	3.50			31.05	28.07	2.98	ML
5	5.50			30.53	27.98	2.55	ML
5	6.50	18.35	1.27				SC
6	2.50	12.84	79.82				CL
7	3.00	12.81	51.01				CL
9	2.00			30.28	26.28	3.99	ML
9	3.00	13.13	72.71				CL
10	3.00			29.54	12.04	17.50	CL
12	3.00	8.29	30.11				SM
12	4.50			37.46	28.01	9.45	ML

Sondeo	Profundidad (metros)	Angulo de fricción ϕ	Cohesión (kg/cm ²)
5	4.50	28.677	0.132
9	2.00	25.019	0.157

Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga

- Estudio geotécnico, estabilidad de taludes y peligro sísmico para las cimentaciones del viaducto de la Carrera novena. **ConstruSuelos de Colombia S.A.S.**

Ilustración 5. Perfil estratigráfico PILA 3 - VIADUCTO LA NOVENA



Fuente: Construsuelos de Colombia S.A.S

Tabla 4. Información Sondeos - Construsuelos

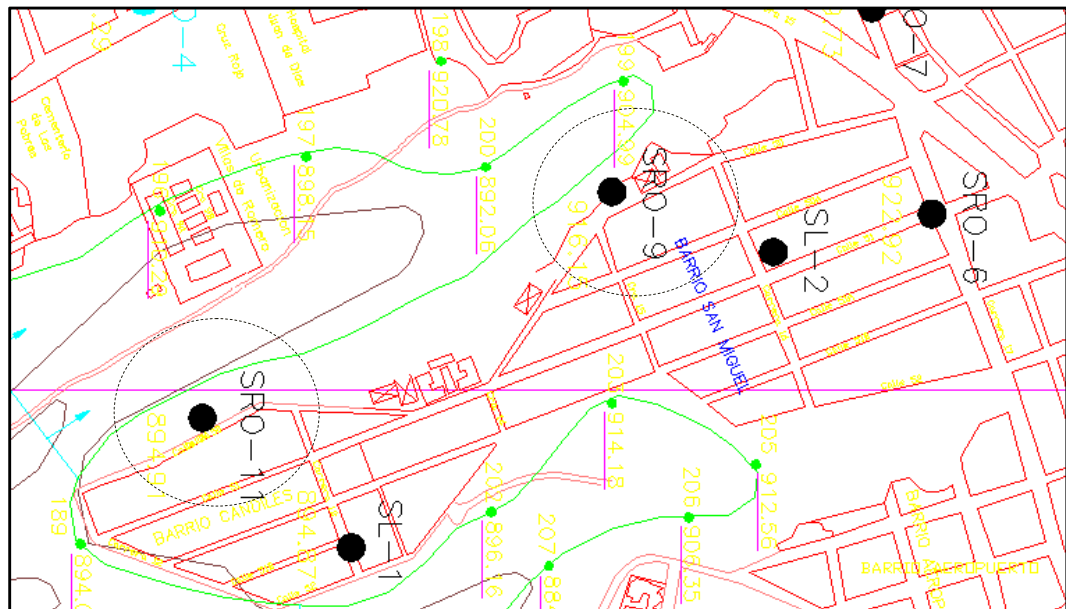
CONSTRUSUELOS LTDA.					
SONDEO	MUESTRA	PROF.[M]	Ø(°)	C(kg/cm2)	MIEMBRO GEOLOGICO
1	28	16.25 - 18.00	35	0.3	Gravoso
	25	22.40 - 24.00	33	0.49	Finos
2	23	14.30 - 15.00	38	0.23	Gravoso
	29	18.30 - 19.80	31	0.36	Finos
	38	28.10 - 30.00	16	0.81	Organos
3	6	3.60 - 5.10	34	0.28	Coluvion
	16	19.60 - 21.5	27	0.15	Organos
4	14	13.70 - 15.70	30	0.23	Organos
	20	19.55 - 21	28	0.37	Organos
	25	26.50 - 28.00	32	0.08	Organos
5	8	5.55 - 7.10	42	0.33	Organos
	12	9.50 - 11.00	36	0.66	Organos
	17	14.95 - 16.45	40	0.51	Organos
6	6	5.10 - 6.60	42	0.18	Organos
	15	18.65 - 22.20	39	0.35	Organos
7	22	20.45 - 22.00	26	0.59	Finos
	28	27.50 - 29.00	21	0.6	Organos
8	15	10.80 - 12.00	28	0.24	Gravoso
	31	27.45 - 28.50	29	1.04	Finos

Fuente: Autores

4.2 INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

Para el modelamiento del talud en Slope/W fue necesario obtener informacion acerca de los niveles freaticos presentes en la zona. Esta informacion fue suministrada por la CDMB a partir de los registros presentados por los piezómetros instalados en la zona.

Ilustración 6. Ubicación Piezómetros - CDMB



Fuente: CDMB

Existen varios piezometros instalados en la zona, pero los mas representativos y de los cuales nos basamos para conocer la cota del nivel freático del presente estudio fueron **SRO-11** y **SRO-9**, a continuación presentaremos los registros históricos.

Tabla 5. Registros históricos SRO-9

SRO-9 (1)			SRO-9 (2)		
COTA	933.15		COTA	933.15	
PROF.[m]	34.3		PROF.[m]	23.7	
AÑO	N.F. (min)	N.F. (max)	AÑO	N.F. (min)	N.F. (max)
1984	908.21	908.50	1984	913.05	916.72
1985	908.21	910.23	1985	913.05	916.65
1986	908.21	909.65	1986	913.77	916.65
1987	907.49	908.93	1987	915.57	919.46
1988	908.21	908.93	1988	918.81	919.17
1989	908.21	909.65	1989	918.81	918.81
1990	908.07	908.93	1990	918.09	919.17
1991	908.07	908.93	1991	917.95	918.09
	907.49	910.23		913.05	919.46

Fuente: CDMB

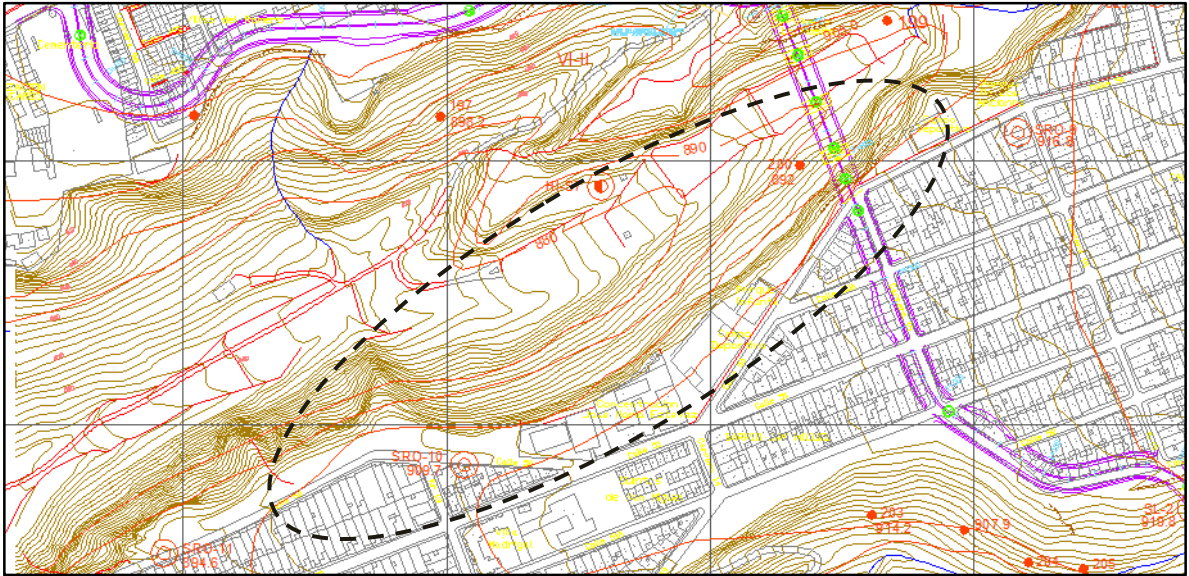
Tabla 6. Registros históricos SRO-11

SRO-11		
COTA	914.21	
PROF.[m]	29	
AÑO	N.F. (min)	N.F. (max)
1984	893.85	895.44
1985	891.69	895.22
1986	892.63	893.42
1987	890.25	893.13
1988	890.25	893.49
1989	892.77	893.49
1990	892.41	894.21
1991	893.85	894.00
	890.25	895.44

Fuente: CDMB

Por otra parte y con el fin de comparar la información anterior analizamos el plano de curvas de los niveles freáticos presentes en la zona, el cual fue generado en uno de los estudios realizados para el desarrollo del proyecto del **VIADUCTO LA NOVENA**.

Ilustración 7. Plano curvas de niveles freáticos presentes en la zona



Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga

4.3 EVOLUCIÓN DEL PROCESO EROSIVO

Con base en la información suministrada por el Área Metropolitana de Bucaramanga en el **Diagnóstico de la estabilidad de laderas en el proyecto de prolongación de la Carrera 9** realizado por **Geotecnología Ltda.** En donde se mencionan los siguientes aspectos del proceso erosivo que se ha generado en la zona de estudio,

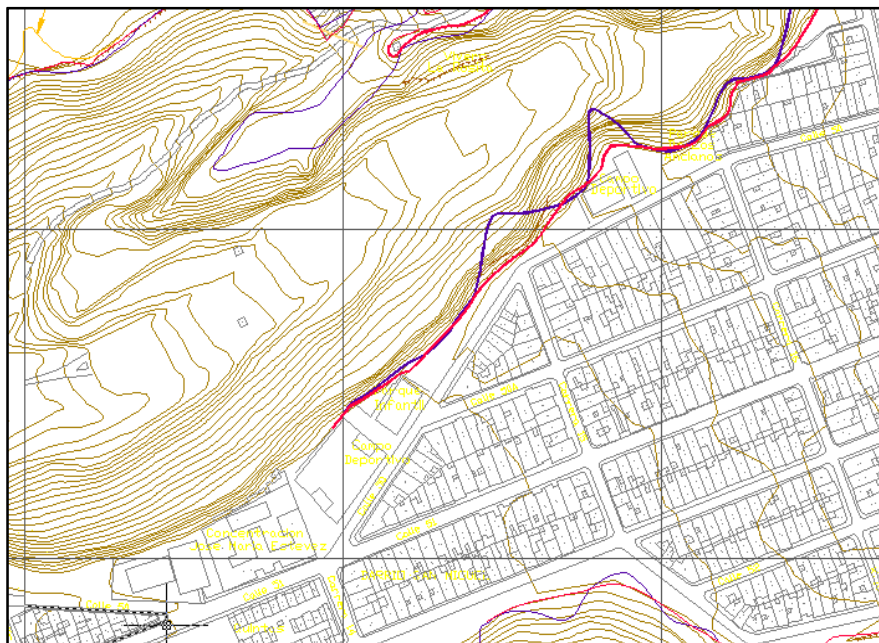
- La problemática inicio con la profundización del cauce del río de Oro relacionado aparentemente por procesos de origen tectónico.
- Un acelerado avance del problema fue provocado por el afloramiento de aguas subterráneas del acuífero colgado sobre el miembro Finos del depósito de Bucaramanga
- El crecimiento rápido de la población en la ciudad causó asentamientos humanos en las laderas y este a su vez produjo una concentración en los

vertimientos del sistema de alcantarillado generando una mayor susceptibilidad de los suelos a la erosión.

- Hidroestudios Ltda. presentó su primer informe a la CDMB, donde se comprobó que en catorce años la ciudad había perdido un área de 21.860 metros cuadrados por acción de la erosión.
- Los procesos de erosión en las quebradas La Rosita y El Loro están relacionados con la erosión lateral por inestabilidad de los taludes debidos a los afloramientos de agua subterránea.
- Los afloramientos de agua subterránea del acuífero superior de Bucaramanga producen problemas de reptación de los coluviones y deslizamientos aislados en algunos sectores de la escarpa.

En la **ilustración 8**, se observa el avance significativo de la erosión en la zona de estudio mediante la morfología del escarpe de los años 1953(línea azul) y, 2007(línea roja), producto de los procesos mencionados anteriormente.

Ilustración 8. Planta General Procesos Erosivos - Carrera 9



Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga

En años recientes, la evolución de los procesos morfodinámicos en las laderas de la zona en estudio, muestran el deslizamiento activo entre los años 2002 y 2011.

Ilustración 9. Fotografía zona de estudio año 2002



Fuente: Google Earth.

Ilustración 10. Fotografía zona de estudio año 2011



Fuente: Google Earth

Con el fin de corroborar la información mencionada anteriormente se realizaron visitas de campo donde se observaron e identificaron deslizamientos de la parte alta del talud, la falla de algunas estructuras, zonas cubiertas por desechos y árboles inclinados, entre otros, como evidencia de la inestabilidad de la zona. A continuación se presentan fotografías en donde se observan dichas evidencias:

Ilustración 11. Evidencias Erosivas y Falla en las estructuras existentes



Fuente: Autores

Ilustración 12. Evidencia de árboles inclinados y basuras



Fuente: Autores

4.4 OBRAS EXISTENTES

La CDMB construyó una pantalla anclada para estabilizar y controlar la erosión del talud. A pesar de esto, se han presentado movimientos en el coluvión y falla en algunas partes del talud. Sin embargo, esta obra ha mitigado parcialmente el problema, ya que no fue construida a lo largo de todo el talud donde en algunas zonas se ha evidenciado daños en la infraestructura causadas por diversos factores.

Ilustración 13. Construcción Pantalla Anclada - Año 1995



Fuente: CMBD

Ilustración 14. Etapa Final de Construcción de la Pantalla Anclada



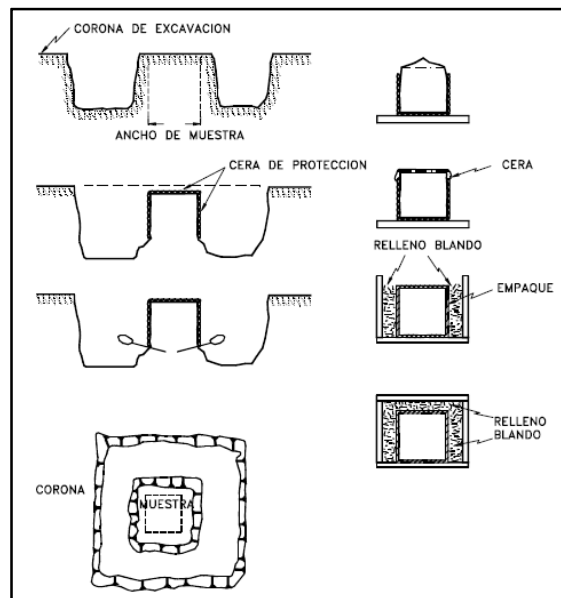
Fuente: CDMB

5. INVESTIGACIONES DE CAMPO

5.1 EXPLORACIÓN MEDIANTE APIQUES A CIELO ABIERTO

Se realizaron cuatro excavaciones manuales o apiques, que alcanzaron una profundidad entre 1.00 y 1.50 m, de esta excavación manual a cielo abierto, se tomaron muestras inalteradas de bloque, realizando su extracción de acuerdo al procedimiento indicado en la **Ilustración 15**. La muestra fue sellada con parafina para conservar su humedad natural.³

Ilustración 15. Método de campo para la toma de muestras inalteradas en apique



Fuente: Deslizamientos y estabilidad de laderas en zonas tropicales.

³Suárez Díaz Jaime, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Bucaramanga 1998

Se realizaron visitas a campo en varias ocasiones con el fin de obtener información acerca de la composición, geología y comportamiento del suelo por medio de la ejecución de CUATRO (4) apiques en las diferentes unidades geológicas superficiales del talud. Una vez obtenidas las muestras, fueron llevadas al laboratorio para realizarle los ensayos de gradación (I.N.V E-123), límites de consistencia (I.N.V E-125 y I.N.V E-126) y ensayo de corte directo consolidado y drenado (I.N.V E-154). Este último constituye uno de los puntos fundamentales al resolver problemas de diseño geotécnicos como la de estabilidad de taludes, esto debido a que, generalmente las fallas resultan de la aplicación de esfuerzos cortantes excesivos⁴.

Estos ensayos fueron necesarios para obtener la clasificación y parámetros de resistencia del suelo que se resume en los siguientes cuadros:

5.2 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO. Véase Anexo B.

- **Apique 1**

Ilustración 16. Ejecución Apique 1. Parte media del talud



Fuente: Autores.

⁴Instituto de Ingeniería UNAM, Pruebas de Laboratorio Para Determinar Propiedades de los Suelos. Comisión Federal de Electricidad. Diciembre de 2007.

Tabla 7. Información Apique 1

APIQUE 1 DESCRIPCIÓN	USC	LL	LP	IP	%Pasa 200	Ø (°)	C kg/cm ²
Material arenoso-limoso de color marrón, el tamaño de estas arenas son finas y muy finas de formas angulares y sub-angulares, grado de consolidación muy bajo, presenta una matriz lodosa en un porcentaje aproximado de 15%, contenido de partículas de cuarzo y moscovita.	SM	N.P	N.P	-	20.41	36	0.15
						40	0.15

Fuente: Autores.

- **Apique 2**

Ilustración 17. Ejecución Apique 2. Parte media del talud



Fuente: Autores.

Tabla 8. Información Apique 2

APIQUE	USC	LL	LP	IP	%Pasa 200	Ø (°)	C kg/cm2
2	SC	32	19.05	12.95	47.55	P-37	0.16
						R-35	0.11
						34	0.19

Fuente: Autores. P: Pico R: Residual

- **Apique 3**

Ilustración 18. Ejecución Apique 3. Pie del talud



Fuente: Autores.

Tabla 9. Información Apique 3

APIQUE 3 DESCRIPCIÓN	USC	LL	LP	IP	%Pasa 200	Ø (°)	C kg/cm ²
Material arcilloso, color marrón claro, consolidación muy baja, presenta fragmentos líticos tamaño guijas de formas principalmente esféricas bien redondeado, producto del transporte que han sufrido éstas partículas.	CL	33	15.35	17.65	51.17	P-33 R-29	0.27 0.21
						27	0.33

Fuente: Autores. P: Pico R: Residual

- **Apique 4**

Ilustración 19. Ejecución Apique 4. Corona del talud



Fuente: Autores.

Tabla 10. Información Apique 4

APIQUE 4 DESCRIPCIÓN	USC	LL	LP	IP	%Pas a 200	Ø (°)	C kg/cm ²
Material areno-arcilloso, color gris claro con presencia de material vegetal, en zonas presenta tonalidades rojizas producto de la meteorización de los minerales ricos en hierro, consolidación baja a moderada, contenido considerable de limos, con presencia de partículas de cuarzo tamaño gránulos y guijas.	SC	28	17.45	10.55	33.83	32	0.17

Fuente: Autores.

La determinación precisa de las resistencias de los materiales de un talud es esencial para un análisis de estabilidad representativo de sus condiciones reales, aunque es posible en algunas circunstancias realizar ensayos in situ, la forma más común de obtener los parámetros de resistencia al corte determinados en ensayos de laboratorio dependen de factores, tales como la calidad de las muestras, su tamaño y el método de ensayo. La resistencia al cortante depende del grado de saturación y esta varia con el tiempo. Esta situación dificulta la realización de ensayos representativos en muestras no saturadas y generalmente, se acostumbra a trabajar con muestras saturadas.⁵

⁵Suárez Díaz Jaime, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Bucaramanga 1998

6. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

6.1 CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para caracterizar cada estrato de suelo presente en el talud de estudio fue necesario clasificar y realizar un análisis estadístico de los datos del sector con la información suministrada por el Área Metropolitana de Bucaramanga, Construsuelos y los resultados de los apiques realizados en campo.

- Área Metropolitana de Bucaramanga.

Tabla 11. Resistencia del Suelo Sondeos

SONDEO	PROF.[M]	Ø(°)	C(kg/cm ²)
5	4.50	28.677	0.132
9	2.00	25.019	0.157

Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga.

- Construsuelos de Colombia S.A.S.

Tabla 12. Resistencia del Suelo Sondeos Construsuelos

CONSTRUSUELOS LTDA.				
SONDEO	MUESTRA	PROF.[M]	Ø(°)	C(kg/cm ²)
1	28	16.25 - 18.00	35	0.3
	25	22.40 - 24.00	33	0.49
2	23	14.30 - 15.00	38	0.23
	29	18.30 - 19.80	31	0.36
	38	28.10 - 30.00	16	0.81
3	6	3.60 - 5.10	34	0.28
	16	19.60 - 21.5	27	0.15
4	14	13.70 - 15.70	30	0.23
	20	19.55 - 21	28	0.37
	25	26.50 - 28.00	32	0.08
5	8	5.55 - 7.10	42	0.33
	12	9.50 - 11.00	36	0.66
	17	14.95 - 16.45	40	0.51
6	6	5.10 - 6.60	42	0.18
	15	18.65 - 22.20	39	0.35
7	22	20.45 - 22.00	26	0.59
	28	27.50 - 29.00	21	0.6
8	15	10.80 - 12.00	28	0.24
	31	27.45 - 28.50	29	1.04

Fuente: Construsuelos de Colombia S.A.S.

- Apiques de Campo

Tabla 13. Resistencia Suelo en Apiques

APIQUE	MUESTRA	$\phi_{PICO} (^{\circ})$	$C_{PICO} (kg/cm^2)$	$\phi_{RES} (^{\circ})$	$C_{RES} (kg/cm^2)$
1	1	36	0.15		
	2	40	0.75		
2	1	37	0.16	35	0.11
	2	34	0.19		
3	1	33	0.27	29	0.21
	2	27	0.33		
4	1	32	0.17		

Fuente: Autores. RES: Residual

6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS MÉTODO 3σ

Para estimar valores razonables de los parámetros de resistencia del suelo de las diferentes series estratigráficas, considerando los valores máximos y mínimos de cohesión y ángulos de fricción, se utilizó la regla de los 3 Sigmas.

Este criterio propuesto por Dai & Wang (1992), nos proporciona una herramienta para estimar la variabilidad de los parámetros de diseño mediante el criterio de las 3σ (tres desviaciones estándar). Este criterio considera el hecho de que el 99.73% de todos los valores de un parámetro que tiene una distribución normal, cae en un rango de tres desviaciones estándar del promedio o media. Por lo tanto, si HCV = valor más “alto” concebible del parámetro, y LCV = valor más “bajo” concebible del parámetro, estos valores estarían aproximadamente a tres desviaciones estándar por arriba y abajo del valor promedio. La regla de las 3σ se la puede utilizar para estimar el valor de la desviación estándar, pero antes se deberá determinar o estimar los valores de HCV y LCV, donde:

$$\sigma = \frac{HCV - LCV}{6}$$

La regla 3σ usa una distribución normal simple como base para estimar que el rango de 3σ desviaciones estándar) cubre virtualmente la población entera. Sin embargo, lo mismo es cierto para otras distribuciones (Harr, 1987), por lo expuesto la regla 3σ no está restringida a una sola distribución de la variable.

Basados en análisis estadísticos, Christian and Baecher (2001), modifican la regla 3σ , y recomiendan que para una mejor estimación de la desviación estándar la diferencia entre HCV y LCV debería dividirse para 4 y no para 6, de esta manera tenemos:

$$\sigma = \frac{HCV - LCV}{4}$$

De esta manera se obtiene una mejor estimación de los parámetros de resistencia, para las diferentes unidades geológicas, igual al valor de la media menos una desviación estándar ($m-1\sigma$).⁶

El análisis anteriormente descrito se realizó para cada una de las unidades geológicas superficiales presentes en el talud de estudio. A continuación se presentan los resultados:

Tabla 14. Método 3σ - Miembro Limos Rojos

Limos Rojos				
$\phi(^{\circ})$	C[Kg/cm ²]	σ	0.05	0.025
32	0.17	PROMEDIO	32.1	0.22
32.2	0.27	V.Diseño	32.05	0.195

Fuente: Autores.

⁶Duncan and Wright, Soil Strength and Slope Stability. John Wiley & Sons. 1ra. Ed. 2005

Tabla 15. Método 3 σ - Miembro Gravoso.

Gravoso				
$\emptyset(^{\circ})$	C[Kg/cm2]			
28.677	0.132			
25.019	0.157			
33	0.27			
27	0.33			
35	0.3	σ	3.24525	0.0495
38	0.23	PROMEDIO	30.6708571	0.237
28	0.24	V.Diseño	27.4256071	0.1875

Fuente: Autores.

Tabla 16. Método 3 σ - Miembro Finos.

Finos				
$\emptyset(^{\circ})$	C[Kg/cm2]			
33	0.49			
31	0.36	σ	1.75	0.17
26	0.59	PROMEDIO	29.75	0.62
29	1.04	V.Diseño	28	0.45

Fuente: Autores.

Tabla 17. Método 3 σ - Miembro Órganos.

Organos				
$\emptyset(^{\circ})$	C[Kg/cm2]			
16	0.81			
27	0.15			
30	0.23			
28	0.37			
32	0.08			
42	0.33			
36	0.66			
40	0.51			
42	0.18	σ	6.5	0.1825
39	0.35	PROMEDIO	32.0909091	0.38818182
21	0.6	V.Diseño	25.5909091	0.20568182

Fuente: Autores.

Tabla 18. Método 3σ - Coluvión.

Coluvión				
$\phi(^{\circ})$	C[Kg/cm ²]			
36	0.15			
40	0.15			
37	0.16	σ	1.5	0.0325
34	0.19	PROMEDIO	36.2	0.186
34	0.28	V.Diseño	34.7	0.1535

Fuente: Autores.

6.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Estos resultados fueron comparados con Coeficientes de Variación de las Propiedades Geotécnicas y Pruebas en sitio dadas por la **Teoría de Duncan**, esto con el fin de observar si los resultados obtenidos en el análisis se encuentran en el rango de valores presentados en la siguiente tabla:

Tabla 19. Coeficientes de variación de las propiedades del suelo

Table 13.4 Coefficients of Variation for Geotechnical Properties and In Situ Tests		
Property or in situ test	COV (%)	References
Unit weight (γ)	3–7	Harr (1987), Kulhawy (1992)
Buoyant unit weight (γ_b)	0–10	Lacasse and Nadim (1997), Duncan (2000)
Effective stress friction angle (ϕ')	2–13	Harr (1987), Kulhawy (1992), Duncan (2000)
Undrained shear strength (S_u)	13–40	Kulhawy (1992), Harr (1987), Lacasse and Nadim (1997)
Undrained strength ratio (s_u/σ'_v)	5–15	Lacasse and Nadim (1997), Duncan (2000)
Standard penetration test blow count (N)	15–45	Harr (1987), Kulhawy (1992)
Electric cone penetration test (q_c)	5–15	Kulhawy (1992)
Mechanical cone penetration test (q_c)	15–37	Harr (1987), Kulhawy (1992)
Dilatometer test tip resistance (q_{DMT})	5–15	Kulhawy (1992)
Vane shear test undrained strength (S_v)	10–20	Kulhawy (1992)

Fuente: Duncan and Wright, Soil Strength and Slope Stability. 2005

Se concluye con esto que los resultados finales se encuentran dentro del rango de valores, lo que nos indica que los valores de diseño pueden ser utilizados para el modelamiento del talud. De igual forma se tuvo en cuenta los valores típicos

utilizados por INGEOMINAS al verificar los resultados del análisis. Dichos valores se muestran a continuación:

Tabla 20. Parámetros de Resistencia para cada UGS.

PARAMETRO	UNIDAD GEOLOGICA SUPERFICIAL									
		Sco1	Sco2	Sat2	Sft2	Sft3	Sft1	Sft2	Sfe1	Sfe2
q_u (Kg/cm ²)	Min	1,74	0,35	-	0,42	0,16	4,76	-	-	1,37
	Prom	1,74	0,86	-	1,70	2,93	5,19	-	-	1,37
	Máx	1,74	1,15	-	2,40	20,60	6,00	-	-	1,37
c' pico (Kg/cm ²)	Min	0,02	0,10	0,12	0,11	0,09	0,04	0,05	0,21	0,09
	Prom	0,63	0,12	0,12	0,25	0,25	0,14	0,27	0,21	0,12
	Máx	5,10	0,14	0,12	0,63	0,40	0,30	0,44	0,21	0,14
ϕ' pico (°)	Min	17,3	26,1	30,0	19,0	16,7	11,9	23,4	37,6	29,5
	Prom	33,1	30,7	30,0	30,9	31,4	27,8	32,2	37,6	34,6
	Máx	43,5	34,4	30,0	36,5	41,0	43,8	40,1	37,6	39,7
c' residual (Kg/cm ²)	Min	0,00	0,02	0,08	0,01	0,01	0,00	0,00	0,14	0,06
	Prom	0,07	0,05	0,08	0,07	0,09	0,06	0,05	0,14	0,08
	Máx	0,45	0,07	0,08	0,14	0,25	0,20	0,10	0,14	0,09
ϕ' residual (°)	Min	14,1	20,0	28,1	17,5	9,5	15,4	14,6	30,4	24,5
	Prom	32,1	24,0	28,1	26,0	25,8	26,0	26,6	30,4	27,5
	Máx	43,5	29,8	28,1	31,3	39,3	40,6	36,2	30,4	30,4

Fuente: Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta. INGEOMINAS. 2001.

Teniendo en cuenta esta información, se concluye que los valores de diseño resultantes se encuentran en el intervalo de datos del INGEOMINAS y se acercan a los valores promedios de cada una de las unidades geológicas.

Los valores de diseño de cada una de las unidades geológicas superficiales para el modelamiento del talud en Slope/W son:

Tabla 21. Valores de diseño finales para cada unidad geológica superficial.

VALORES DE DISEÑO		
MIEMBRO	ϕ (°)	C[Kg/cm ²]
LIMOS ROJOS	32.1	0.20
GRAVOSO	27.4	0.19
FINOS	28.0	0.45
ORGANOS	25.6	0.21
COLUVION	34.7	0.15

Fuente: Autores.

7. ANÁLISIS DE CARGAS PRESENTES EN LA ZONA

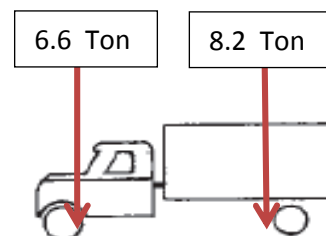
Para realizar la modelación de cada uno de los perfiles es necesario evaluar las cargas presentes en la zona para determinarla amenaza y de esta manera observar el comportamiento del talud. En la zona de estudio existen distintos tipos de cargas dependiendo de las estructuras presentes en el sitio, tales como: una vía terciaria de bajo volumen de tránsito, espacios deportivos como canchas (de arena y de losas de concreto), viviendas y una institución educativa. A continuación realizaremos un análisis de cargas global ya que los objetivos del proyecto no se enfatizan en el análisis detallado de dichas estructuras.

- **VÍA:** Calle 50, vía local del Barrio San Miguel, donde circulan automóviles y buses urbanos de ejes sencillos. Al realizar el análisis no son tenidos en cuenta porque no generan una carga significativa. Para no despreciar dichas cargas y evaluar la situación más crítica consideramos que por la Calle 50 circularían vehículos C-2P (Es un camión o autobús, con eje simple (eje direccional) y un eje de rueda doble (eje de tracción)). Considerando las cargas de referencia adoptadas por el Instituto Nacional de Vías para el diseño de pavimentos asfálticos, tenemos:

Tabla 22. Carga de referencia según tipo de eje. Fuente: INVIAS

Tipo de eje	Carga de referencia	
	kN	Ton
Eje sencillo de rueda simple	65	6.6
Eje sencillo de rueda doble	80	8.2

$$P = 6.6 + 8.2 = 148 \text{ kN}$$



También existen escenarios deportivos y de actividad lúdica para la comunidad, algunos de estos como canchas (de arena o de concreto) que transmiten cargas que deben ser tenidas en cuenta al momento de modelar la zona. Para el análisis consideramos cada una de las canchas con un espesor de losa de 25 cm y una aceleración de gravedad aproximadamente de 10 m/s^2 .

- **CANCHA ARENA**

Densidad de la arena = 1600 kg/m^3

$$P = 1600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 25 \text{ cm} \times \left(\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right) \times 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- **CANCHA DE CONCRETO**

Densidad del concreto = 2400 kg/m^3

$$P = 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 25 \text{ cm} \times \left(\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right) \times 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- **INSTITUCIÓN EDUCATIVA**

El Colegio Técnico Empresarial José María Estévez se encuentra localizado en la Calle 51 entre Cra 13ª y 14. Esta edificación le transmite al talud una carga considerable y que debe ser analizada y tenida en cuenta al modelar el talud. Dicho análisis se realizó teniendo en cuenta la **NSR-10, capítulo B**, donde suministra valores sin detalle utilizados en el campo de la ingeniería. A continuación mostraremos los valores de las cargas utilizadas para el modelamiento:

- Carga Muerta

Tabla B.3.4.3 – 1. Valores mínimos alternativos de carga muerta de elementos no estructurales cuando no se efectuó un análisis más detallado. **(NSR-10)**

Educativos – Salones de Clase

• Fachada y particiones (kN/m ²):	2.0
• Afinado de piso y cubierta (kN/m ²):	1.5
Total Carga Muerta (kN/m²):	3.5

- Carga Viva

Tabla B.4.2.1 – 1. Valores mínimos alternativos de carga muerta de elementos no estructurales cuando no se efectuó un análisis más detallado. **(NSR-10)**

Educativos

• Salones de Clase (kN/m ²):	2.0
• Corredores y escaleras (kN/m ²):	5.0
• Bibliotecas	
✓ Salones de Lectura (kN/m ²):	2.0
✓ Estantería (kN/m ²):	7.0
Total Carga Viva (kN/m²):	16.0

$$\text{Carga Mayorada} = 1,2 \left(3,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) + 1,6 \left(16 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) = 29,8 \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right)$$

8. EVALUACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA

8.1 REMOCIÓN EN MASA

Son movimientos en masa de los materiales que forman laderas (tierra y roca) por una pendiente. Se clasifican según la geomorfología en caídos, volcamientos, reptación, deslizamientos rotacionales y traslacionales, flujos; según el tipo de material transportado puede ser roca, residuos (detritos) o suelo; y la velocidad del movimiento ya que pueden ser deslizamientos lentos o rápidos.

8.2 AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA

Es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente nocivo, dentro de un período específico de tiempo y en un área dada.

8.3 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

Es el proceso mediante el cual se determina la probabilidad de ocurrencia y la severidad de un evento en un tiempo dado y en un área establecida, se determinó mediante la evaluación de los factores de seguridad en diferentes tramos del talud en estudio, se clasificó el área según los siguientes criterios de evaluación:

Tabla 23. Criterios de Evaluación de Amenaza

Condición Estática	FS
Amenaza Baja	> 1.5
Amenaza Media	1.25 - 1.5
Amenaza Alta	< 1.25
Condición con Sismo y agua Extrema	FS
Amenaza Baja	> 1.20
Amenaza Media	1.0 – 1.20
Amenaza Alta	< 1.0

Fuente: Norma Geotécnica CDMB.

8.4 EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUDES MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE

Un análisis de Equilibrio Límite permite obtener un factor de seguridad por medio de los parámetros de resistencia del suelo básicos como lo son cohesión y ángulo de fricción del material, además del peso unitario de los suelos, utilizando la teoría de Mohr Coulomb.

Este análisis de estabilidad consiste en determinar si existe suficiente resistencia en los suelos del talud para soportar los esfuerzos que tienden a causar la falla o deslizamiento. Véase Anexo C.

Para dicho análisis del modelo se utilizó el software SLOPE/W, de GEO-SLOPE (Propiedad de CDMB), que usa la teoría de Equilibrio Límite para calcular el factor de seguridad de taludes de tierra y roca, en condiciones estáticas y pseudoestáticas.

8.5 ESCENARIO PSEUDOESTÁTICO

Corresponde al estudio de las condiciones naturales de un terreno con relación a los valores de aceleración establecidos que permitan modelar la estabilidad de laderas y taludes que afecten las obras proyectadas. Para el análisis de estabilidad de taludes o laderas se exige como mínimo utilizar un coeficiente sísmico horizontal de 0.15g.⁷

⁷ Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. Normas Geotécnicas CDMB.2005.

8.6 MODELOS GEOTÉCNICOS

Estrato 1 – Miembro Limos Rojos Formación Bucaramanga

Modelo: Mohr-Coulomb

Peso volumétrico: 18.2 kN/m³

Cohesión: 20 KPa

ϕ : 32.1°

Estrato 2 – Miembro Gravoso Formación Bucaramanga

Modelo: Mohr-Coulomb

Peso volumétrico: 20.3 kN/m³

Cohesión: 19KPa

ϕ : 27.4°

Estrato 3 – Miembro Finos Formación Bucaramanga

Modelo: Mohr-Coulomb

Peso volumétrico: 19.2 kN/m³

Cohesión: 45 KPa

ϕ : 28°

Estrato 4 – Miembro Órganos Formación Bucaramanga

Modelo: Mohr-Coulomb

Peso volumétrico: 21 kN/m³

Cohesión: 21 KPa

ϕ : 25.6°

Estrato 5 – Coluvión

Modelo: Mohr-Coulomb

Peso volumétrico: 19.5 kN/m³

Cohesión: 15 KPa

ϕ : 34.7°

Estrato 6 – Relleno Antrópico (Fuente: CDMB) Modelo: Mohr-Coulomb

Peso volumétrico: 17.4 kN/m³

Cohesión: 0 KPa

Ø: 30°

8.7 CALIBRACIÓN DEL MODELO, TALUD ANTES DE LA FALLA.

La calibración del modelo geotécnico consiste en analizar la morfología antes de la falla del talud, por medio de observaciones de campo y evolución en los procesos morfológicos. Por medio de “Retro Cálculo” (Véase Anexo D) se calibró el modelo geotécnico, ajustando los parámetros de resistencia del suelo hasta obtener un factor de seguridad de 1.0, que indica que el talud se encuentra en el límite entre la estabilidad y la inestabilidad, y habrá fallado. Se analizó el perfil 2 para el estrato 2 (Miembro Gravoso), ya que por medio de visitas de campo se pudo observar e identificar deslizamientos en la corona del talud con fallas en algunas estructuras cercanas. (**Ilustración 20**).

Ilustración 20. Corona del deslizamiento que afectó una vivienda de invasión posterior a la institución educativa.



Fuente: Autores.

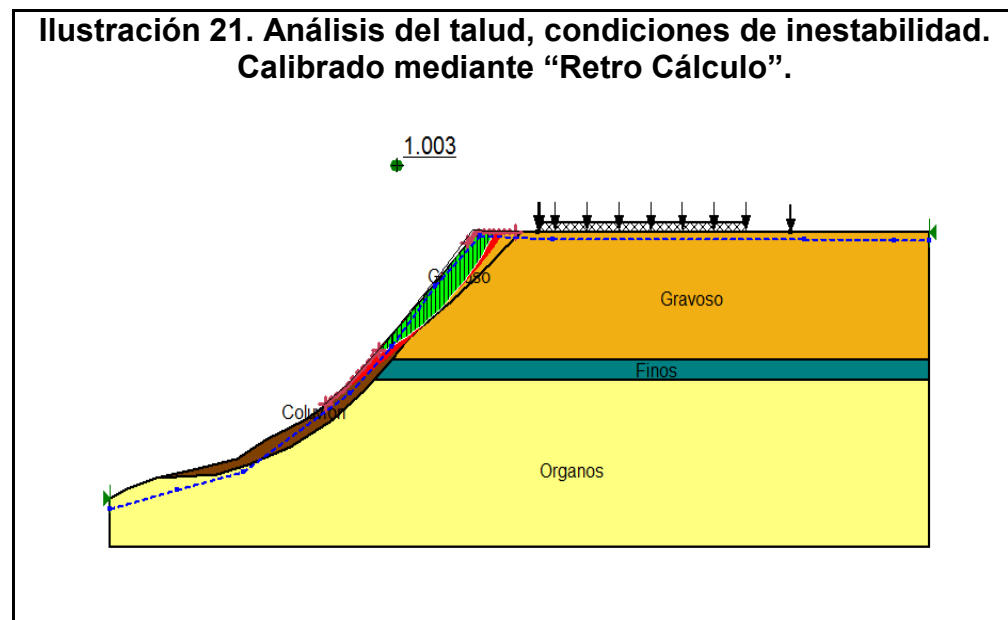
Se asumió para la calibración mediante “Retro Cálculo” la saturación del suelo debido al ascenso en el nivel freático, la disminución del valor de la cohesión debido al evidente desprendimiento del terreno y el aumento en el ángulo de fricción se dio para alcanzar un factor de seguridad igual a 1. La combinación de estas características se usó con el fin de simular las posibles causas del deslizamiento, además se adicionó parte del suelo desplazado producto de la erosión y posibles deslizamientos por las causas anteriormente mencionadas. La calibración mostró los siguientes valores utilizando el modelo de Mohr-Coulomb, para un factor de seguridad de 1.003, (**Ilustración 21**).

Estrato 2 – Miembro Gravoso (calibrado mediante Retro calculo)

Modelo: Mohr-Coulomb

Peso volumétrico: 20.3 kN/m³

Cohesión: 17 KPa ϕ : 34°



Fuente: Autores.

Una vez obtenidos los parámetros de resistencia del miembro gravoso por medio del “Retro Calculo”, se realizó la modelación de cada uno de los perfiles del talud (Véase Anexo E), y a partir de esto, se zonificaron y generaron los mapas de amenaza para los escenarios estático y pseudoestático. Véase Anexo F.

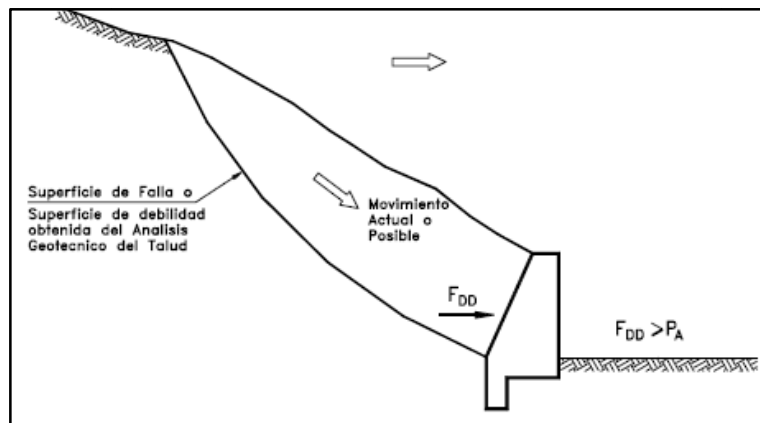
De acuerdo a los análisis realizados para condiciones estáticas y pseudoestáticas, los factores de seguridad obtenidos en el 5% de la zona, muestran valores inferiores a los admisibles, lo que indica que parte del área del talud se encuentre en amenaza alta a deslizamientos. Más del 40% de la zona se encuentra en amenaza media y con el fin de evitar que con el tiempo avance la problemática, tanto en zonas con amenaza alta y como en zonas con amenaza media, se plantearan obras que ayuden a mitigar la erosión e inestabilidad actual.

9. PROPUESTAS DE LAS POSIBLES OBRAS DE MITIGACIÓN

- **Alternativa 1: Muros de contención**

El objetivo de una estructura de contención es el resistir las fuerzas ejercidas por la tierra contenida, y transmitir esas fuerzas en forma segura a la fundación o a un sitio por fuera de la masa analizada de movimiento⁸, su estabilidad la deben fundamentalmente al peso propio y al peso del material que está sobre su fundación. En el caso de un deslizamiento de tierra el muro ejerce una fuerza para contener la masa inestable y transmite esa fuerza hacia una cimentación o zona por fuera de la masa susceptible de moverse. Las deformaciones excesivas o movimientos de la estructura de contención o del suelo a su alrededor deben evitarse para garantizar su estabilidad.

Ilustración 22. Condiciones de talud inestable.



Fuente: Suárez Díaz Jaime, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales.

⁸Suárez Díaz Jaime, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Bucaramanga 1998.

El análisis de la estructura contempla la determinación de las fuerzas que actúan por encima de la base de fundación, tales como empuje de tierra, peso propio, peso de la tierra de relleno, cargas y sobrecargas con la finalidad de estudiar la estabilidad al volcamiento y deslizamiento, así como el valor de las presiones de contacto.

Para este caso la implementación de muros de contención no es una buena alternativa ya que dichas estructuras son antieconómicas en alturas muy grandes y requieren de formaletas especiales al momento de su ejecución, además el principal problema de inestabilidad en la zona se presenta hacia la corona del talud, donde se recomienda la mayor intervención para su estabilidad.

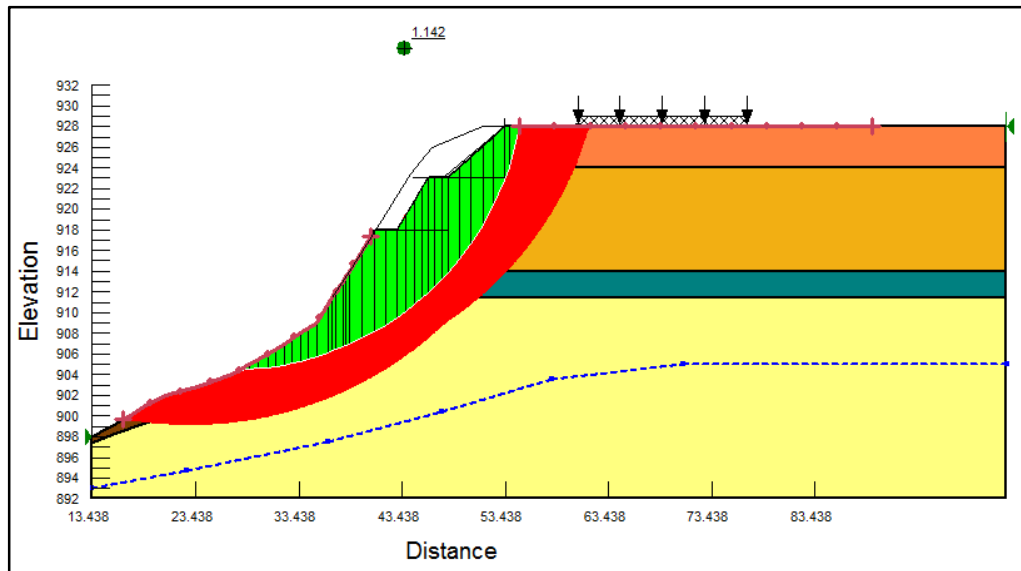
- **Alternativa 2: Conformación de un talud o ladera (Terraceo)**

Este sistema disminuye las fuerzas desestabilizadoras actuantes, en la zona más crítica, de esta forma el círculo crítico de falla se hace más profundo y más largo aumentándose el factor de seguridad. Al construir las terrazas, el talud puede quedar dividido en varios taludes de comportamiento independiente, los cuales a su vez deben ser estables. El terraceo se puede realizar con el propósito de controlar la erosión y facilitar el establecimiento de la vegetación.⁹

La conformación de terrazas en el talud, dadas las condiciones topográficas presentes, no es una alternativa viable de estabilización, debido a que no es posible el desarrollo de suficientes terrazas para aumentar considerablemente el factor de seguridad y garantizar la estabilidad en el talud.

⁹Suárez Díaz Jaime, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Bucaramanga 1998.

Ilustración 23. Terraceo Perfil 7 – Escenario Estático



Fuente:

Autores.

- **Alternativa 3:**

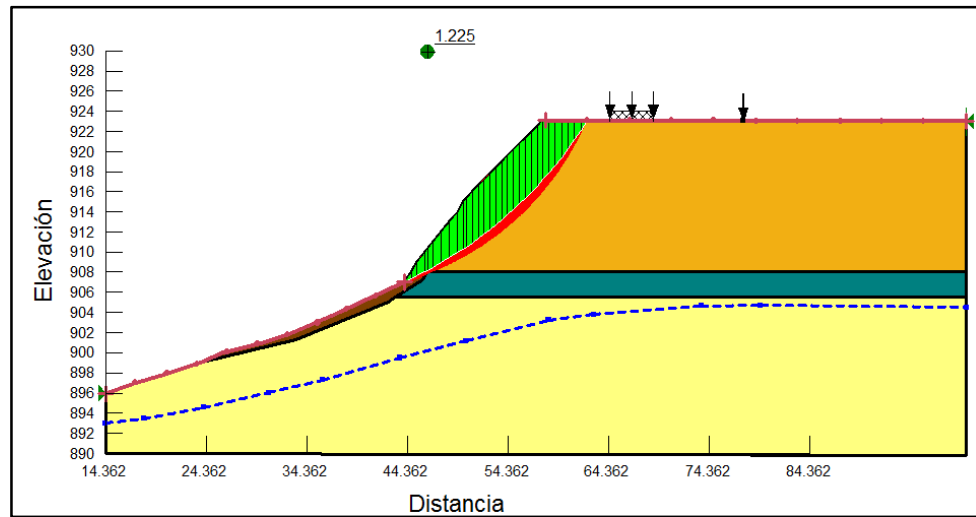
Control de aguas superficiales

Actualmente existen diversos tipos de obras para la estabilización de taludes, que contemplan el control de aguas, tanto superficial como subterránea, son muy viables y más económicas comparadas con grandes obras de contención.

Estos métodos hacen que el factor de seguridad de cualquier superficie de falla que pasa por debajo del nivel de agua, puede ser mejorado de tal forma que generen estabilidad en el talud.

En nuestro caso, donde el nivel freático se encuentra por debajo de la superficie de falla, no genera ningún cambio en el factor de seguridad y el talud sigue siendo inestable, pero sí ayudaría a mitigar los problemas de erosión, disminuyendo la saturación superficial de los primeros estratos de suelo. Ver **Ilustración 24**.

Ilustración 24. Modelamiento del Perfil 3 con nivel freático – Escenario Estático

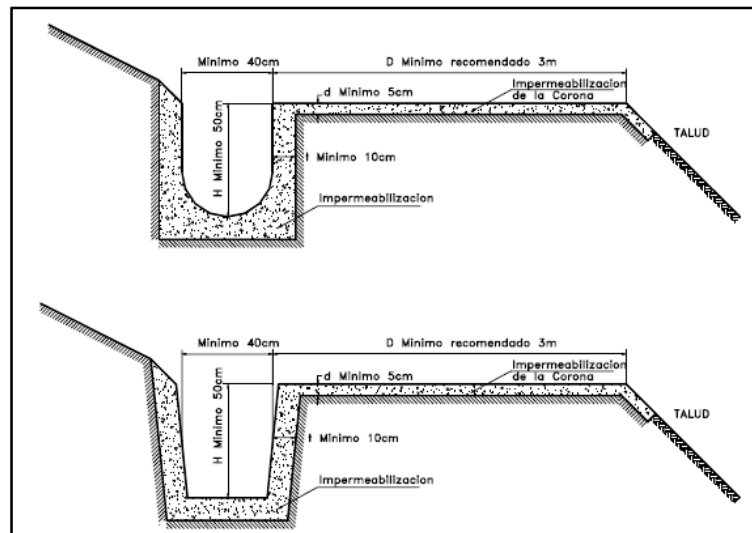


Fuente: Autores

Por esto, para controlar las aguas superficiales y evitar la falla de la parte alta se recomienda el diseño de zanjas de corona en toda la longitud del talud con el fin de interceptar y conducir adecuadamente las aguas lluvias. No debe construirse muy cerca al borde superior del talud, esto con el objetivo de impedir que se conviertan en el inicio y guía de un deslizamiento en cortes recientes o en una nueva superficie de falla. Deben ser totalmente impermeabilizadas, así como debe proporcionar una suficiente pendiente para asegurar un rápido drenaje del agua captada. Se sugiere que al menos cada dos años se deben reparar las zanjas de coronación para impermeabilizar las fisuras y grietas que aparezcan.¹⁰

¹⁰Suárez Díaz Jaime, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Bucaramanga 1998.

Ilustración 25. Detalle de zanja de coronación para el control de aguas superficiales.



Fuente: Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Jaime Suarez.

Pantalla Anclada

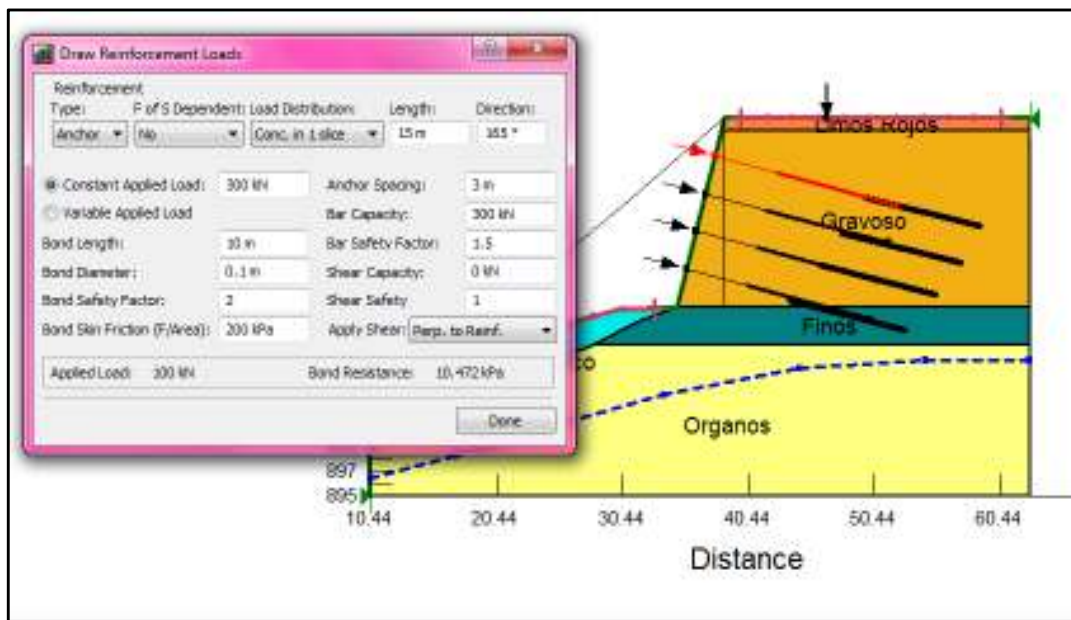
Los muros anclados constituyen en la actualidad un medio esencial para garantizar la estabilidad de diversas estructuras, son soportados por el propio suelo que trata de empujarlos, a través de la incorporación de anclajes apropiados. Los anclajes deben llegar hasta una distancia tal que queden por detrás del posible plano de falla del suelo, y a esa distancia inicial se le añade una longitud adicional necesaria para resistir el empuje del suelo por fricción.¹¹

Debido a que en una parte del talud ya había sido diseñada y construida una pantalla anclada por CDMB, y se ha tenido evidencia del mejoramiento que causó en cuanto a erosión y estabilidad, esta alternativa se convierte en una de las más viables y eficientes para minimizar el nivel de amenaza que se presenta actualmente.

¹¹Suárez Díaz Jaime, Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Bucaramanga 1998.

La ampliación de la pantalla impide las grietas de tensión mejorándolas zonas en amenaza media y alta, evitando de esta manera problemas futuros que afecten de forma negativa a la comunidad. Esta ampliación abarca desde el perfil 2, donde se encuentra ubicada la institución educativa hasta el perfil 7, la cual es zona residencial amenazada. El diseño será el implementado por la CDMB, esta conservará la misma altura y el mismo número de filas de anclajes para garantizar su continuidad.

Ilustración 26. Pantalla Anclada existente – Perfil 4 – Escenario Estático.

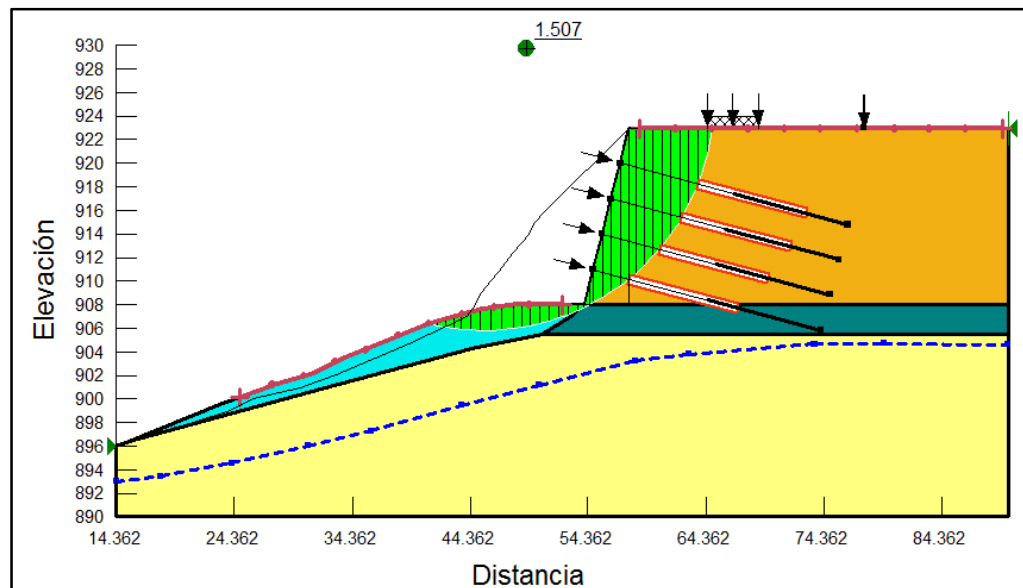


Fuente:

Autores

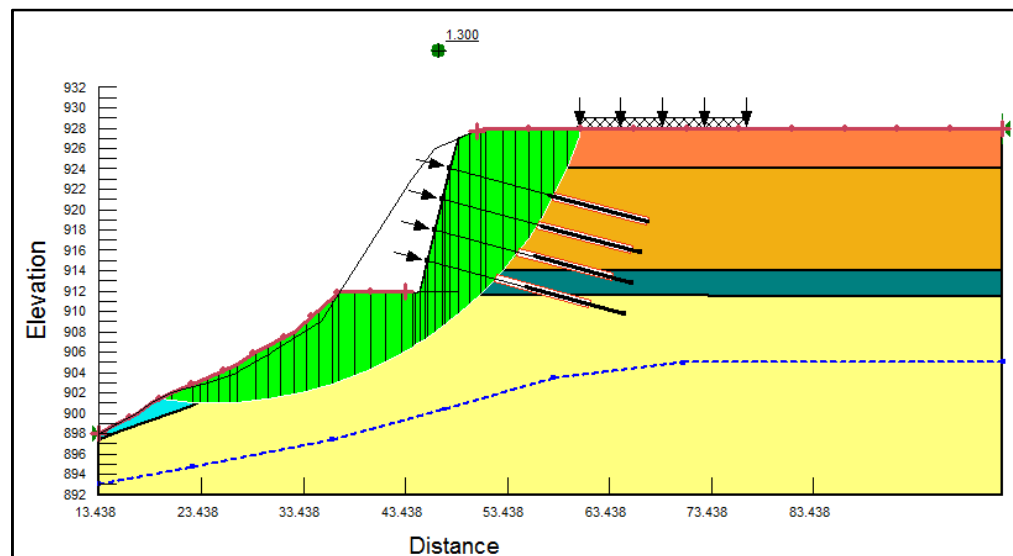
La longitud de los anclajes para algunas zonas donde no existían obras de mitigación fue modificada con el fin de optimizar la función de los anclajes y de esta manera mitigar las áreas del talud que se encuentran en amenaza media y alta. Al modelar los perfiles con pantallas ancladas (Véase Anexo G), se obtiene un incremento notable en el factor de seguridad, lo que nos garantiza estabilidad y control de erosión a lo largo del talud. Véase Anexo H.

Ilustración 27. . Pantalla Anclada – Perfil 3 – Escenario Estático.



Fuente: Autores

Ilustración 28. Pantalla Anclada – Perfil 7 – Escenario Estático.



Fuente: Autores.

CONCLUSIONES

- La poca vegetación, el manejo indiscriminado de basuras y escombros por parte de la comunidad, la realización de construcciones sin conservar el aislamiento mínimo de la corona del talud y los deficientes sistemas de captación de aguas, son unas de las principales causas del avance acelerado de la erosión y los problemas de inestabilidad que se presentan actualmente en el talud del Barrio San Miguel.
- El proceso mediante el cual se determina la probabilidad de ocurrencia y la severidad de un evento en un tiempo dado y en un área determinada, Amenaza, se determinó mediante la evaluación de los factores de seguridad en la zona de estudio, clasificando el área con base en los criterios de la CDMB.
- Al zonificar el talud y generar mapas de amenaza tanto para el escenario estático como para el escenario pseudoestático, se observa que el 5% del área del talud se encuentra en amenaza es alta. Por esto, y con las evidencias de falla en las estructuras existentes, es necesario proponer obras que mitiguen el problema de inestabilidad.
- Las zonas en amenaza media que representan más del 40% el área del talud también deben ser objetivo de estabilización con el fin de evitar que con el paso del tiempo avance la erosión y afecte gran parte de las zonas que se consideran estables actualmente.
- La evaluación y el modelamiento de diferentes alternativas de obras que mitiguen los problemas de erosión e inestabilidad que ha venido presentando la zona, y la existencia de una pantalla anclada y su efectivo comportamiento, nos lleva a proponer que un sistema combinado de

manejo de aguas superficiales en la parte alta del talud y la continuación de la pantalla existente sería la alternativa más viable que garantice la estabilidad y aumenta considerablemente del factor de seguridad, disminuyendo así la amenaza en la zona.

- En aquellas zonas donde el nivel de amenaza es bajo y medio, se sugiere implementar obras de bioingeniería revegetalizando naturalmente los terrenos que han sido expuestos a la precipitación directa y manejo inadecuado de las basuras del sector.
- Se recomienda que la CDMB realice un estudio de riesgo y vulnerabilidad de las estructuras existentes para evaluar que tan viable resulta hacer dichas obras de estabilización.
- Se sugiere realizar diseños a nivel de fase III definiendo los diseños a detalle de las obras anteriormente propuestas para implementarlas en la zona de estudio ya que el alcance del proyecto solo permitía proponer preliminares de obras de mitigación y/o estabilización.

BIBLIOGRAFÍA

ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA, Geotecnología Ltda. Diagnóstico de estabilidad de laderas en el proyecto de prolongación de la carrera 9 Bucaramanga. Bucaramanga, 2007. 210p.

ASOCIACIÓN Colombiana de Ingeniería Sísmica (Colombia). Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente (NSR-10). Bogotá, 2010. 1625p.

CONSTRUSUELOS LTDA. Estudio Geotécnico, estabilidad de taludes y peligro sísmico para las cimentaciones del viaducto de la carrera novena. Bucaramanga, 2010. 30p.

CORPORACIÓN de la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (Colombia). Normas Geotécnicas CDMB. Bucaramanga, 2005. 64p.

DUNCAN, J. Michael and WRIGHT, Stephen G. Soil Strength and Slope Stability. 1ra. Ed. 2005. 312p.

ETA S.A. Consultoría para la revisión, adecuación y complementación de los estudios y diseños viales existentes y elaboración de estudios y diseños de dos (2) puentes vehiculares para la prolongación de la carrera novena – conexión alterna centro – ciudadela real de minas pasando por san miguel, para su funcionamiento

en doble sentido y doble calzada con separador. Estudio geológico, geotécnico y diseño de pavimentos. Bucaramanga, 2006. 86p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA, Ingeominas. Informe final zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta. 2001. 632p.

INSTITUTO Nacional de Vías (Colombia). I.N.V. E-123. Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado. 7p.

INSTITUTO Nacional de Vías (Colombia). I.N.V. E-125. Determinación del Límite Líquido de los Suelos. 8p.

INSTITUTO Nacional de Vías (Colombia). I.N.V. E-126. Límite Plástico e Índice de Plasticidad. 4p.

INSTITUTO Nacional de Vías (Colombia). I.N.V. E-154. Determinación de la Resistencia al Corte. Método del Corte Directo (Consolidado Drenado). 10p.

INSTITUTO Nacional de Vías (Colombia). Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para Vías con Bajos Volúmenes de Tránsito. 2007. 103p.

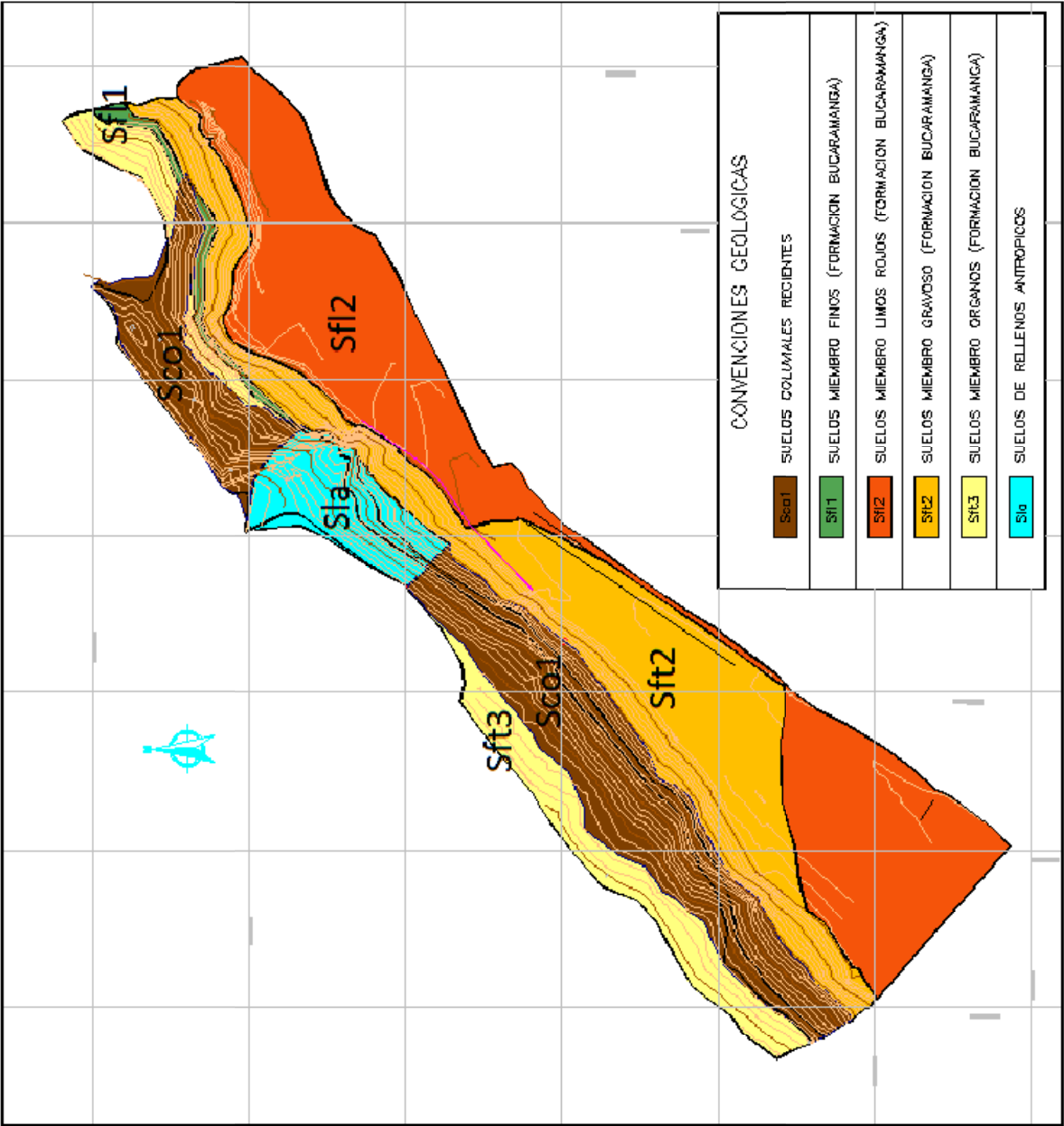
R. HOLLINGSWORTH AND J. STEWART. Guidelines for analyzing and mitigating landslide hazards in California (2002).

SUAREZ DIAZ, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga, Editor: Ingeniería de Suelos Ltda.1998.540p.

ZONIFICACION SISMOGEOTECNICA INDICATIVA DEL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA, Mapa Geológico. Edgar Carrillo, Eduardo Castro, Diego Ibáñez, Heyley Vergara. Escala 1:25000. 2001.

ANEXOS

ANEXO A. MAPA GEOLÓGICO DEL TALUD



Fuente: Autores.

ANEXO B. RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO



CONSTRU SUELOS DE COLOMBIA S.A.S.
NIT. 804,015,242 - 8

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : DETERMINACIÓN DE AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCIÓN
EN MASA PARA UN TALUD UBICADO EN EL BARRIO SAN MIGUEL
DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA MEDIANTE UN ANÁLISIS
DETERMINÍSTICO UTILIZANDO LA TEORÍA DE EQUILIBRIO LÍMITE.

SITIO : TALUD SAN MIGUEL
MUESTRA : APIQUE 1 PROF. 0,00-1,50 M.

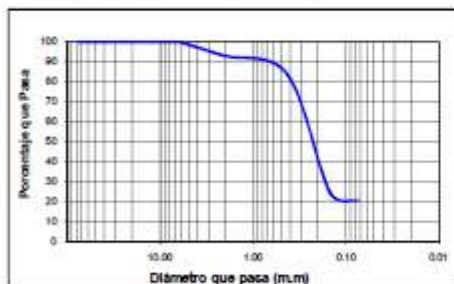
FECHA : AGOSTO DE 2011
LABORATORISTA: VÍCTOR A. CABRERA

INV. E - 122
W Tara + S. Hum. :
W tara + S. Seco :
W tara :
W Suelo Seco :
W Agua :
Humedad Natural % :

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA (GRADACIÓN) (N.L.V. E-123)

Tamiz		Peso Retenido	% retenido	% que pasa
No.	m.m			
3	75.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2	62.50	0.00	0.00	100.00
2	50.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2	37.50	0.00	0.00	100.00
1 1/4	25.00	0.00	0.00	100.00
3/4	19.50	0.00	0.00	100.00
1/2	12.50	0.00	0.00	100.00
3/8	9.50	0.00	0.00	100.00
1/4	6.35	0.00	0.00	100.00
4	4.75	14.70	1.60	98.40
10	2.00	49.90	5.42	92.98
40	0.43	86.10	9.36	83.62
100	0.149	543.70	59.09	24.53
200	0.074	37.90	4.12	20.41
PASA 200		167.9		
TOTAL		920.16		

W suelo inicial seco : 920.10 grs
W suelo despues de lavado: 732.70 grs
Porcentaje de error : 0.01 %



GRAVA: 1.60
ARENA: 77.99
FINOS: 20.41
CLASIFICACION: ARENA LIMOSA

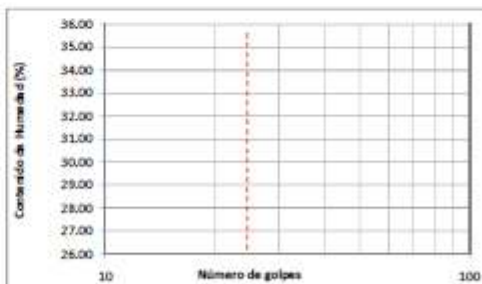
LÍMITES DE CONSISTENCIA (ATTEMBERG)

LÍMITE LÍQUIDO INV. E - 126

Tara No.				
W Tara + S. Hum.				
W tara + S. Seco				
W tara				
W Suelo Seco	0.00	0.00	0.00	0.00
W Agua	0.00	0.00	0.00	0.00
Humedad %				
No. de Golpes				

LÍMITE PLÁSTICO INV. E - 126

Tara No.				
W tara + S. Hum.				
W tara + S. Seco				
W tara				
W Suelo Seco	0.00	0.00	0.00	
W Agua	0.00	0.00	0.00	
Humedad %				0.00



LÍMITE LÍQUIDO: 0.00
LÍMITE PLÁSTICO: 0.00
ÍNDICE PLÁSTICO: 0.00
USC SM
A.A.S.H.O. A-2-4

MARY CALDERON J.
ELABORO

FANNY L. RAMÍREZ S.
REVISO

Ing. MIGUEL ANGEL CAMARGO J.
APPROBO



CONSTRUSUELOS DE COLOMBIA S.A.S.
NIT. 804,015,242 - 8

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : DETERMINACIÓN DE AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCIÓN
EN MASA PARA UN TALUD UBICADO EN EL BARRIO SAN MIGUEL
DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA MEDIANTE UN ANÁLISIS
DETERMINÍSTICO UTILIZANDO LA TEORÍA DE EQUILIBRIO LÍMITE.

SITIO : TALUD SAN MIGUEL
MUESTRA : APIQUE 2 PROF. 0,00-1,50 M.

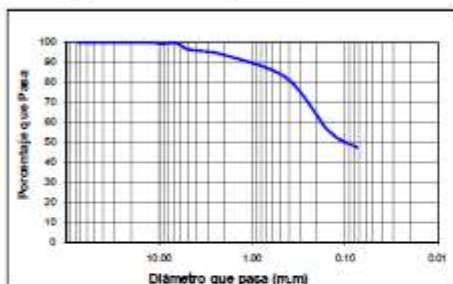
FECHA : AGOSTO DE 2011
LABORATORISTA: VÍCTOR A. CABRERA

INV. E - 122
W Tara + S. Hum.
W Tara + S. Seco
W Tara
W Suelo Seco
W Agua
Humedad Natural %

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA (GRADACIÓN) (I.N.V. E-122)

Tamiz		Peso Retenido	% Retenido	% que pasa
No.	m.m.			
3	75.00	0.00	0.00	100.00
21/2	62.50	0.00	0.00	100.00
2	50.00	0.00	0.00	100.00
11/2	37.50	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	0.00	0.00	100.00
3/4	19.50	0.00	0.00	100.00
1/2	12.50	0.00	0.00	100.00
3/8	9.50	1.50	0.34	99.66
1/4	6.35	0.00	0.00	99.66
4	4.75	14.20	3.23	96.43
10	2.00	11.60	2.64	93.79
40	0.43	51.30	11.68	82.11
100	0.149	115.70	26.34	55.77
200	0.074	36.10	8.22	47.55
PASA 200		209.1		
TOTAL		439.46		

W suelo inicial seco : 439.30 grs
W suelo después de lavado: 230.70 grs
Porcentaje de error : 0.04 %



GRAVA: 3.57

ARENA: 48.87

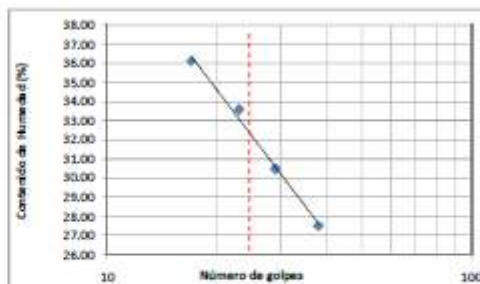
FINOS: 47.55

CLASIFICACION: ARENA ARCILLOSA

LÍMITES DE CONSISTENCIA (ATTEMBERG)

LÍMITE LÍQUIDO		INV. E - 126			
Tara No.		208	312	167	103
W Tara + S. Hum.		20.40	25.30	24.60	23.20
W Tara + S. Seco		17.40	21.40	20.10	18.90
W Tara		6.50	8.60	6.70	7.00
W Suelo Seco		10.90	12.80	13.40	11.90
W Agua		3.00	3.90	4.50	4.30
Humedad %		27.52	30.47	33.58	36.13
No. de Golpes		38	29	23	17

LÍMITE PLÁSTICO		INV. E - 126			
Tara No.		197	18	33	
W Tara + S. Hum.		20.40	20.90	20.30	
W Tara + S. Seco		18.20	18.70	18.30	
W Tara		6.70	7.10	7.80	
W Suelo Seco		11.50	11.60	10.50	
W Agua		2.20	2.20	2.00	
Humedad %		19.13	18.97	19.05	19.05



LÍMITE LÍQUIDO: 32.00

LÍMITE PLÁSTICO: 19.05

ÍNDICE PLÁSTICO: 12.95

USC SC
A.A.S.H.O. A-6

MARY CALDERÓN J.
ELABORÓ

FABRY L. RAMÍREZ B.
REVISÓ

Ing. MIGUEL ÁNGEL CAMARGO J.
APROBÓ



CONSTRUSUELOS DE COLOMBIA S.A.S.
NIT. 804,015,242 - 8

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : DETERMINACIÓN DE AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCIÓN
EN MASA PARA UN TALUD UBICADO EN EL BARRIO SAN MIGUEL
DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA MEDIANTE UN ANÁLISIS
DETERMINÍSTICO UTILIZANDO LA TEORÍA DE EQUILIBRIO LÍMITE.

SITIO : TALUD SAN MIGUEL
MUESTRA : APIQUE 3 PROF. 0,00-1,50 M.

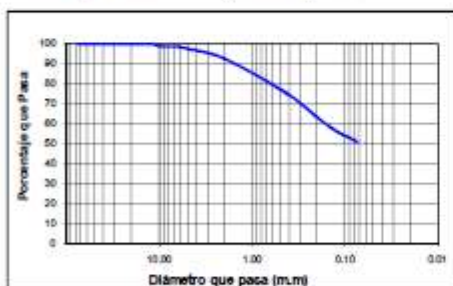
FECHA : AGOSTO DE 2011
LABORATORISTA: VICTOR A. CABRERA

INV. E - 122
W Tara + S. Hum. :
W tara + S. Seco :
W tara :
W Suelo Seco :
W Agua :
Humedad Natural % :

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA (GRADACIÓN) (N.L.V. E-122)

Tamiz		Peso Retenido	% retenido	% que pasa
No.	mm			
3	75.00	0.00	0.00	100.00
21/2	62.50	0.00	0.00	100.00
2	50.00	0.00	0.00	100.00
11/2	37.50	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	0.00	0.00	100.00
3/4	19.50	0.00	0.00	100.00
1/2	12.50	0.00	0.00	100.00
3/8	9.50	4.70	1.19	98.81
1/4	6.35	0.00	0.00	98.81
4	4.75	5.70	1.45	97.36
10	2.00	16.00	4.57	92.79
40	0.43	66.70	17.45	75.34
100	0.149	65.20	16.56	58.79
200	0.074	30.00	7.62	51.17
PASA 200		201.6		
TOTAL		393.66		

W suelo inicial seco : 393.80 grs
W suelo despues de lavado: 192.70 grs
Porcentaje de error : 0.02 %

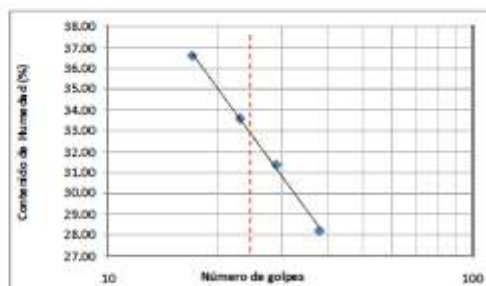


GRAVA: 2.64
ARENA: 46.19
FINOS: 51.17
CLASIFICACION: ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA A.
MEDIA PLASTICIDAD

LÍMITES DE CONSISTENCIA (ATTEMBERG)

LÍMITE LÍQUIDO		INV. E - 126			
Tara No.		322	129	304	28
W Tara + S. Hum.		23.00	28.80	25.70	22.20
W tara + S. Seco		19.70	24.00	21.30	18.10
W tara		8.00	8.70	8.20	6.90
W Suelo Seco		11.70	15.30	13.10	11.20
W Agua		3.30	4.80	4.40	4.10
Humedad %		28.21	31.37	33.59	36.61
No. de Golpes		38	29	23	17

LÍMITE PLÁSTICO		INV. E - 126			
Tara No.		51	34	60	
W tara + S. Hum.		24.90	20.80	27.50	
W tara + S. Seco		22.50	19.00	25.00	
W tara		7.00	7.10	8.80	
W Suelo Seco		15.50	11.90	16.20	
W Agua		2.40	1.80	2.50	
Humedad %		15.48	15.13	15.43	15.35



LÍMITE LÍQUIDO: 33.00
LÍMITE PLÁSTICO: 15.35
ÍNDICE PLÁSTICO: 17.65
USC CL
A.A.S.H.O. A-6

MARY CALDERON J.
ELABORO

FANNY L. RAMIREZ S.
REVISO

Ing. MIGUEL ANGEL CAMARGO J.
APROBO



CONSTRUSUELOS DE COLOMBIA S.A.S.
NIT. 804,015,242 - 8

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : DETERMINACIÓN DE AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCIÓN
EN MASA PARA UN TALUD UBICADO EN EL BARRIO SAN MIGUEL
DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA MEDIANTE UN ANÁLISIS
DETERMINÍSTICO UTILIZANDO LA TEORÍA DE EQUILIBRIO LÍMITE.

SITIO : TALUD SAN MIGUEL
MUESTRA : APIQUE 4 PROF. 0,00-1,50 M.

FECHA : AGOSTO DE 2011
LABORATORISTA: VICTOR A. CABRERA

INV. E - 122

W Tara + S. Hum.

W tara + S. Seco

W tara

W Suelo Seco

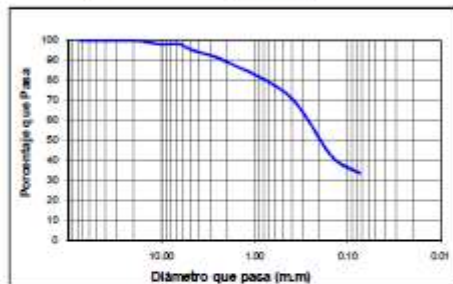
W Agua

Humedad Natural %

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA (GRADACIÓN) (S.N.V. E-123)

Tamiz		Peso Retenido	% retenido	% que pasa
No.	m.m			
3	75.00	0.00	0.00	100.00
21/2	62.50	0.00	0.00	100.00
2	50.00	0.00	0.00	100.00
11/2	37.50	0.00	0.00	100.00
1*	25.00	0.00	0.00	100.00
3/4	19.50	0.00	0.00	100.00
1/2	12.50	9.80	1.31	98.69
3/8	9.50	3.90	0.52	98.16
1/4	6.35	0.00	0.00	98.16
4	4.75	20.70	2.78	95.39
10	2.00	44.50	5.97	89.42
40	0.43	126.30	17.20	72.22
100	0.149	223.50	29.97	42.25
200	0.074	62.80	8.42	33.83
PASA 200		252.1		
TOTAL		745.56		

W suelo inicial seco : 745.80 grs
W suelo despues de lavado: 484.20 grs
Porcentaje de error : 0.03 %



GRAVA: 4.61
ARENA: 61.56
FINOS: 33.83
CLASIFICACION: ARENA ARCILLOSA

LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTEMBERG)

LIMITE LIQUIDO		INV. E - 126			
Tara No.		219	57	66	125
W Tara + S. Hum.		25.00	21.00	19.60	24.80
W tara + S. Seco		21.60	18.10	16.70	20.30
W tara		6.70	6.90	6.60	6.50
W Suelo Seco		14.90	11.20	10.10	13.80
W Agua		3.40	2.90	2.90	4.50
Humedad %		22.82	25.89	28.71	32.61
No. de Golpes		38	29	23	17

LIMITE PLASTICO		INV. E - 126			
Tara No.		78	501	176	
W tara + S. Hum.		20.60	21.10	20.40	
W tara + S. Seco		18.80	19.20	18.40	
W tara		8.70	8.40	6.60	
W Suelo Seco		10.10	10.80	11.80	
W Agua		1.80	1.90	2.00	
Humedad %		17.82	17.59	16.95	17.45



LIMITE LIQUIDO: 28.00
LIMITE PLASTICO: 17.45
INDICE PLASTICO: 10.55
USC SC
A.A.S.H.O A-2-6

MARY CALDERON J.
ELABORO

PABLO L. RAMIREZ S.
REVISO

Ing. MIGUEL ANGEL CAMARDO J.
APROBO

DETERMINACION DE RESISTENCIA AL CORTE
ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO
 Normas INV-E 154 - ASTM D3080

OBRA:	DETERMINACION DEL NIVEL DE AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCION EN MASA PARA UN TALUD UBICADO EN EL BARRIO SAN MIGUEL DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA MEDIANTE UN ANALISIS DETERMINISTICO UTILIZANDO LA TEORIA DE EQUILIBRIO LIMITE.
LOCALIZACION:	SAN MIGUEL
EMPRESA	CONSTRUSUELOS DE COLOMBIA S.A.S.
LABORATORISTA	EDWIN GOMEZ
FECHA DEL ENSAYO	AGOSTO DE 2011

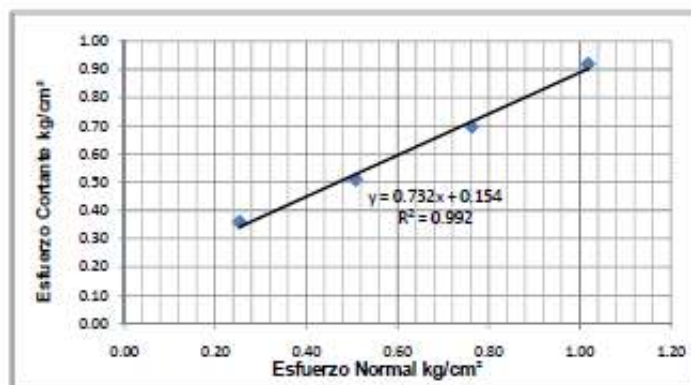
APIQUE	1	MUESTRA	1	PROFUNDIDAD	0,00-1,50	MT
---------------	----------	----------------	----------	--------------------	------------------	-----------

DIMENSIONES DE LA MUESTRA			
Diámetro:	5.0 cm	Area:	19.63 cm ²
Altura:	2.3 cm	Volumen:	45.16 cm ³

Clasificación del suelo :
ARENA LIMOSA (SM)

GRAFICA DE ESFUERZO NORMAL VS ESFUERZO CORTANTE

Punto N°	Area cm ²	Esfuerzo Normal kg/cm ²	Esfuerzo Cortante Máximo kg/cm ²
1	19.63	0.255	0.3500
2	19.63	0.509	0.5092
3	19.63	0.764	0.6065
4	19.63	1.019	0.9187



RESULTADOS		Densidad kg/cm ³		
Fricción ϕ (Pico)	36	PUNTO N° 1	1.73	grs/cm ³
		PUNTO N° 2	1.73	grs/cm ³
Cohesión kg/cm ²	0.15	PUNTO N° 3	1.74	grs/cm ³
		PUNTO N° 4	1.72	grs/cm ³

MARY CALDERON
ELABORO

FANNY L RAMIREZ
REVISO

ING MIGUEL ANGEL CAMARGO J
APROBO

DETERMINACION DE RESISTENCIA AL CORTE
ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO
 Normas INV-E 154 - ASTM D3080

OBRA:	DETERMINACION DEL NIVEL DE AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCION EN MASA PARA UN TALUD UBICADO EN EL BARRIO SAN MIGUEL DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA MEDIANTE UN ANALISIS DETERMINISTICO UTILIZANDO LA TEORIA DE EQUILIBRIO LIMITE.
LOCALIZACION:	SAN MIGUEL
EMPRESA	CONSTRUSUELOS DE COLOMBIA S.A.S.
LABORATORISTA	EDWIN GOMEZ
FECHA DEL ENSAYO	AGOSTO DE 2011

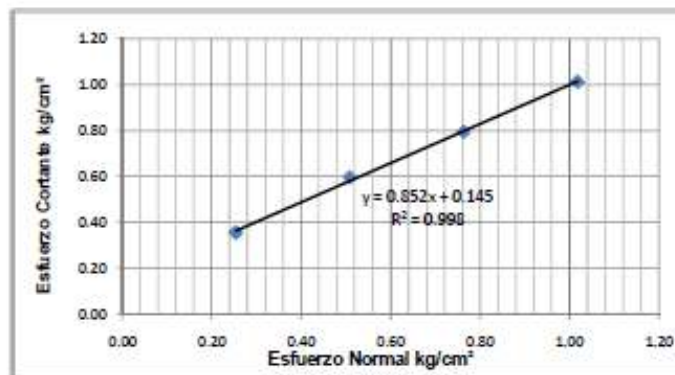
APIQUE	1	MUESTRA	2	PROFUNDIDAD	0,00-1,50	MT
--------	---	---------	---	-------------	-----------	----

DIMENSIONES DE LA MUESTRA			
Diámetro:	5.0 cm	Area:	19.63 cm ²
Altura:	2.3 cm	Volumen:	45.16 cm ³

Clasificación del suelo :
ARENA LIMOSA (SM)

GRAFICA DE ESFUERZO NORMAL VS ESFUERZO CORTANTE

Punto N°	Area cm ²	Esfuerzo Normal kg/cm ²	Esfuerzo Cortante Máximo kg/cm ²
1	19.63	0.255	0.3539
2	19.63	0.509	0.5946
3	19.63	0.764	0.7932
4	19.63	1.019	1.0113



RESULTADOS		Densidad kg/cm ³		
Fricción ϕ (Pico)	40	PUNTO N° 1	1.73	grs/cm ³
		PUNTO N° 2	1.73	grs/cm ³
Cohesión kg/cm ²	0.15	PUNTO N° 3	1.73	grs/cm ³
		PUNTO N° 4	1.73	grs/cm ³

MARY CALDERON
ELABORO

FANNY L RAMIREZ
REVISO

ING MIGUEL ANGEL CAMARGO J
APROBO

DETERMINACION DE RESISTENCIA AL CORTE
ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO
 Normas INV-E 154 - ASTM D3080

OBRA:	DETERMINACION DEL NIVEL DE AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA PARA UN TALUD UBICADO EN EL BARRIO SAN MIGUEL DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA MEDIANTE UN ANÁLISIS DETERMINÍSTICO UTILIZANDO LA TEORÍA DE EQUILIBRIO LÍMITE.
LOCALIZACION:	TALUD SAN MIGUEL
EMPRESA	CONSTRUSUELOS DE COLOMBIA S.A.S.
LABORATORISTA	EDWIN GOMEZ
FECHA DEL ENSAYO	AGOSTO DE 2011

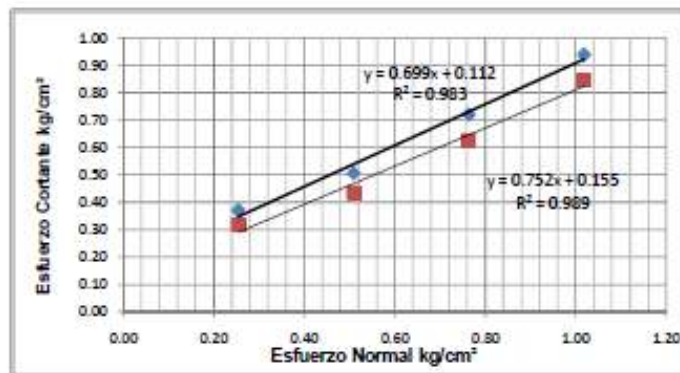
APIQUE	2	MUESTRA	1	PROFUNDIDAD	0,00-1,50	MT
--------	---	---------	---	-------------	-----------	----

DIMENSIONES DE LA MUESTRA			
Diámetro:	5.0 cm	Area:	19.63 cm ²
Altura:	2.3 cm	Volumen:	45.16 cm ³

Clasificación del suelo :
ARENA ARCILLOSA (SC)

GRAFICA DE ESFUERZO NORMAL VS ESFUERZO CORTANTE

Punto N°	Area cm ²	Esfuerzo Normal kg/cm ²	Esfuerzo Cortante Máximo kg/cm ²	Esfuerzo Cortante Máximo kg/cm ²
1	19.63	0.255	0.3714	0.3179
2	19.63	0.509	0.5072	0.4362
3	19.63	0.764	0.7201	0.6276
4	19.63	1.019	0.9393	0.8477



RESULTADOS	PICO	RESIDUAL	Densidad kg/cm³		
Fricción Ø	37	35	PUNTO N° 1	1.75	grs/cm³
			PUNTO N° 2	1.78	grs/cm³
Cohesión kg/cm²	0.16	0.11	PUNTO N° 3	1.76	grs/cm³
			PUNTO N° 4	1.77	grs/cm³

MARY CALDERON
ELABORO

FANNY L RAMIREZ
REVISO

ING MIGUEL ANGEL CAMARGO J
APROBO

**DETERMINACION DE RESISTENCIA AL CORTE
ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO
Normas INV-E 154 - ASTM D3080**

OBRA:	DETERMINACION DEL NIVEL DE AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCION EN MASA PARA UN TALUD UBICADO EN EL BARRIO SAN MIGUEL DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA MEDIANTE UN ANALISIS DETERMINISTICO UTILIZANDO LA TEORIA DE EQUILIBRIO LIMITE.
LOCALIZACION:	TALUD SAN MIGUEL
EMPRESA	CONSTRUSUELOS DE COLOMBIA S.A.S.
LABORATORISTA	EDWIN GOMEZ
FECHA DEL ENSAYO	AGOSTO DE 2011

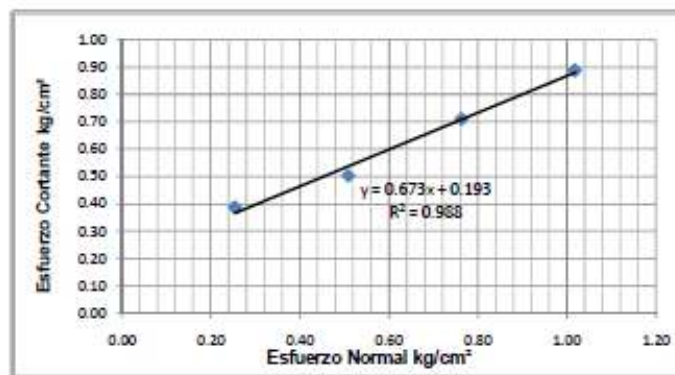
APIQUE	2	MUESTRA	2	PROFUNDIDAD	0,00-1,50	MT
--------	---	---------	---	-------------	-----------	----

DIMENSIONES DE LA MUESTRA			
Diámetro:	5.0 cm	Area:	19.63 cm ²
Altura:	2.3 cm	Volumen:	45.16 cm ³

Clasificación del suelo :
ARENA ARCILLOSA (SC)

GRAFICA DE ESFUERZO NORMAL VS ESFUERZO CORTANTE

Punto N°	Area cm ²	Esfuerzo Normal kg/cm ²	Esfuerzo Cortante Máximo kg/cm ²
1	19.63	0.255	0.3868
2	19.63	0.509	0.5031
3	19.63	0.764	0.7109
4	19.63	1.019	0.8889



RESULTADOS		Densidad kg/cm ³		
Fricción ϕ (Pico)	34	PUNTO N° 1	1.73	grs/cm ³
		PUNTO N° 2	1.73	grs/cm ³
Cohesión kg/cm ²	0.19	PUNTO N° 3	1.73	grs/cm ³
		PUNTO N° 4	1.73	grs/cm ³

MARY CALDERON
ELABORO

FANNY L RAMIREZ
REVISO

ING MIGUEL ANGEL CAMARGO J
APROBO

DETERMINACION DE RESISTENCIA AL CORTE
ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO
 Normas INV-E 154 - ASTM D3080

OBRA:	DETERMINACION DEL NIVEL DE AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA PARA UN TALUD UBICADO EN EL BARRIO SAN MIGUEL DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA MEDIANTE UN ANÁLISIS DETERMINÍSTICO UTILIZANDO LA TEORÍA DE EQUILIBRIO LÍMITE.
LOCALIZACION:	TALUD SAN MIGUEL
EMPRESA	CONSTRUSUELOS DE COLOMBIA S.A.S.
LABORATORISTA	EDWIN GOMEZ
FECHA DEL ENSAYO	AGOSTO DE 2011

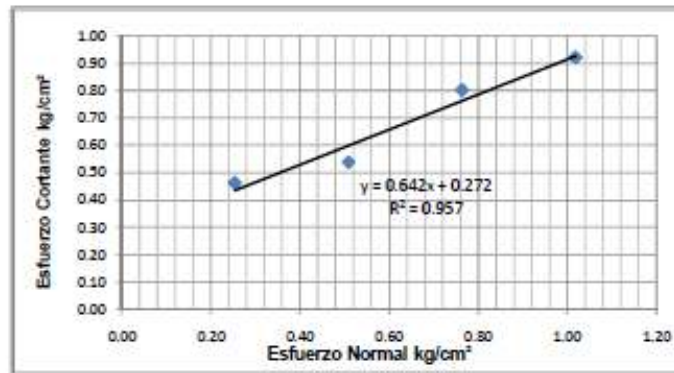
APIQUE	3	MUESTRA	1	PROFUNDIDAD	0,00-1,50	MT
--------	---	---------	---	-------------	-----------	----

DIMENSIONES DE LA MUESTRA			
Diámetro:	5.0 cm	Area:	19.63 cm ²
Altura:	2.3 cm	Volumen:	45.16 cm ³

Clasificación del suelo :
ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD (CL)

GRAFICA DE ESFUERZO NORMAL VS ESFUERZO CORTANTE

Punto N°	Area cm ²	Esfuerzo Normal kg/cm ²	Esfuerzo Cortante Máximo kg/cm ²	Esfuerzo Máximo	Cortante kg/cm ²
1	19.63	0.255	0.4629	0.3683	
2	19.63	0.509	0.5391	0.4681	
3	19.63	0.764	0.8014	0.6564	
4	19.63	1.019	0.9208	0.7778	



RESULTADOS	Pico	Residual	Densidad kg/cm ³	
Fricción Ø	33	29	PUNTO N° 1	1.73 grs/cm³
			PUNTO N° 2	1.73 grs/cm³
Cohesión kg/cm²	0.27	0.21	PUNTO N° 3	1.72 grs/cm³
			PUNTO N° 4	1.73 grs/cm³

MARY CALDERON
ELABORO

FANNY L RAMIREZ
REVISO

ING MIGUEL ANGEL CAMARGO J
APROBO

**DETERMINACION DE RESISTENCIA AL CORTE
ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO
Normas INV-E 154 - ASTM D3080**

OBRA:	DETERMINACION DEL NIVEL DE AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA PARA UN TALUD UBICADO EN EL BARRIO SAN MIGUEL DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA MEDIANTE UN ANÁLISIS DETERMINÍSTICO UTILIZANDO LA TEORÍA DE EQUILIBRIO LÍMITE.
LOCALIZACION:	TALUD SAN MIGUEL
EMPRESA	CONSTRUSUELOS DE COLOMBIA S.A.S.
LABORATORISTA	EDWIN GOMEZ
FECHA DEL ENSAYO	AGOSTO DE 2011

APIQUE	3	MUESTRA	2	PROFUNDIDAD	0.00-1.50	MT
--------	---	---------	---	-------------	-----------	----

DIMENSIONES DE LA MUESTRA

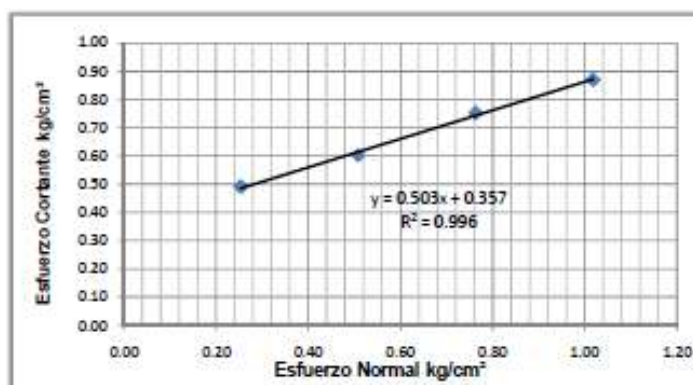
Diámetro:	5.0 cm	Area:	19.63 cm ²
Altura:	2.3 cm	Volumen:	45.16 cm ³

Clasificación del suelo :

ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD (CL)

GRAFICA DE ESFUERZO NORMAL VS ESFUERZO CORTANTE

Punto N°	Area cm ²	Esfuerzo Normal kg/cm ²	Esfuerzo Cortante Máximo kg/cm ²
1	19.63	0.255	0.4907
2	19.63	0.509	0.6008
3	19.63	0.764	0.7510
4	19.63	1.019	0.8683



RESULTADOS		Densidad kg/cm ³		
Fricción Ø (Pico)	27	PUNTO N° 1	1.73	grs/cm ³
		PUNTO N° 2	1.73	grs/cm ³
Cohesión kg/cm ²	0.36	PUNTO N° 3	1.73	grs/cm ³
		PUNTO N° 4	1.73	grs/cm ³

MARY CALDERON
ELABORO

FANNY L RAMIREZ
REVISO

ING MIGUEL ANGEL CAMARGO J
APROBO

DETERMINACION DE RESISTENCIA AL CORTE
ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO
 Normas INV-E 154 - ASTM D3080

OBRA:	DETERMINACION DEL NIVEL DE AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA PARA UN TALUD UBICADO EN EL BARRIO SAN MIGUEL DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA MEDIANTE UN ANÁLISIS DETERMINÍSTICO UTILIZANDO LA TEORÍA DE EQUILIBRIO LÍMITE.
LOCALIZACION:	TALUD SAN MIGUEL
EMPRESA	CONSTRUSUELOS DE COLOMBIA S.A.S.
LABORATORISTA	EDWIN GOMEZ
FECHA DEL ENSAYO	SEPTIEMBRE DE 2011

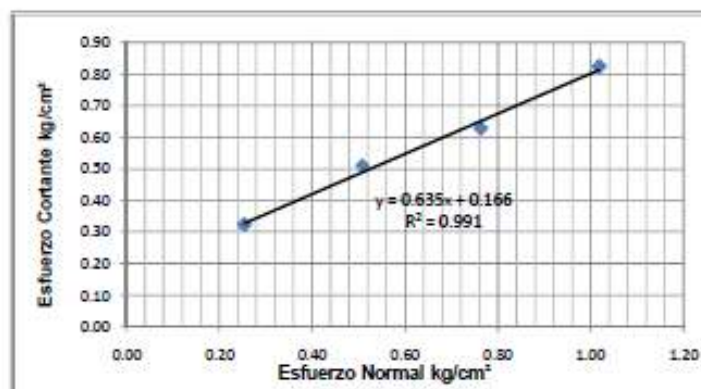
APIQUE	4	MUESTRA	1	PROFUNDIDAD	0.00-1.50	MT
--------	---	---------	---	-------------	-----------	----

DIMENSIONES DE LA MUESTRA			
Diámetro:	5.0 cm	Area:	19.63 cm ²
Altura:	2.3 cm	Volumen:	45.16 cm ³

Clasificación del suelo :
ARENA ARCILLOSA (SC)

GRAFICA DE ESFUERZO NORMAL VS ESFUERZO CORTANTE

Punto N°	Area cm ²	Esfuerzo Normal kg/cm ²	Esfuerzo Cortante Máximo kg/cm ²
1	19.63	0.255	0.3230
2	19.63	0.509	0.5092
3	19.63	0.764	0.6265
4	19.63	1.019	0.8230



RESULTADOS		Densidad kg/cm³		
Fricción ϕ (Pico)	32	PUNTO N° 1	1.73	grs/cm³
		PUNTO N° 2	1.73	grs/cm³
		PUNTO N° 3	1.73	grs/cm³
Cohesión kg/cm²	0.17	PUNTO N° 4	1.71	grs/cm³

MARY CALDERON
ELABORO

FANNY L RAMIREZ
REVISO

ING MIGUEL ANGEL CAMARGO J
APROBO

ANEXO C. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Se pueden encontrar varios métodos para el análisis de los movimientos en los taludes, con el fin de determinar los factores que afectan la estabilidad. Estos factores incluyen la geometría del talud, parámetros de resistencia del suelo, flujo de agua y cargas dinámicas, entre otros. Los objetivos principales del análisis de los taludes son determinar las condiciones de estabilidad, investigar los posibles eventos que llevaron a la falla del talud, determinar el comportamiento del talud en diferentes escenarios (agua, sismo, etc.), comparar las diferentes medidas de estabilización para finalizar con el diseño de obras seguras y confiables.

MÉTODO DEL EQUILIBRIO LÍMITE

Los métodos de equilibrio límite para el cálculo de estabilidad de taludes son los más utilizados en la práctica común, debido a su sencillez, y porque el valor del factor de seguridad obtenido no dista demasiado del valor real.

Un análisis de equilibrio límite supone que un valor de factor de seguridad $F.S=1.0$ indica que la pendiente está en el límite entre la estabilidad y la inestabilidad y habrá fallado, ya que las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla. El análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas.

Éstos métodos han sido utilizados por varias décadas para taludes terrestres sujetos a fuerzas gravitacionales (Therzagui 1943, Taylor 1948, Bishop 1955, Morgenster y Price 1965 y Janbu 1973) todo con el fin de llegar a obtener el factor de seguridad como herramienta útil en la toma de decisiones.

FACTOR DE SEGURIDAD

Fellenius (1922) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla:

$$F.S. = \frac{\text{Resistencia al cortante disponible}}{\text{Esfuerzo al cortante actuante}}$$

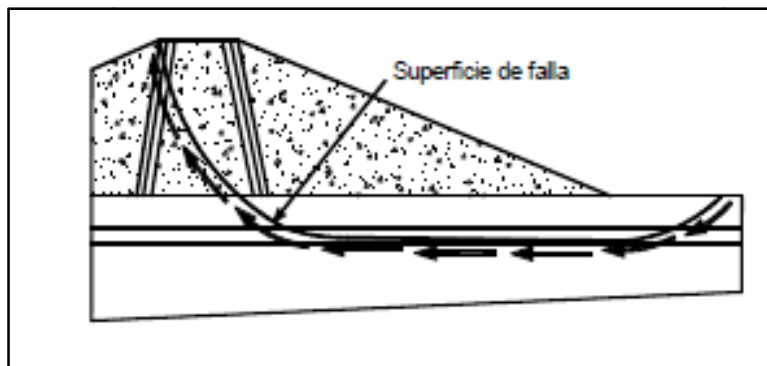
En las superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

$$F.S. = \frac{\text{Momento resistente disponible}}{\text{Momento actuante}}$$

El factor de seguridad se asume que es igual para todos los puntos a lo largo de la superficie de falla, por lo tanto este valor representa un promedio del valor total en toda la superficie de falla.

El término superficie de falla se utiliza para referirse a una superficie asumida a lo largo de la cual puede ocurrir el deslizamiento o la rotura del talud. Sin embargo, este deslizamiento o rotura no ocurre a lo largo de esas superficies si el talud es diseñado adecuadamente.

Superficie de falla y dirección de la resistencia al cortante.



Fuente: Suarez Jaime, Deslizamientos: Análisis Geotécnico.

MÉTODOS DE EQUILIBRIO LÍMITE

Hipótesis de Fuerzas entre Dovelas de Distintos Métodos de Equilibrio Limite.

Métodos de equilibrio límite	Hipótesis
Fellenius (Ordinario) (1927)	Supone que las fuerzas entre rebanadas se anulan entre si. Solo para deslizamiento circular.
Bishop Modificado (1955)	La fuerza resultante entre rebanadas es horizontal (significa que no hay fuerza tangencial entre rebanadas) Solo para deslizamiento circular
Janbu Generalizado (1968)	La posición de la fuerza normal entre rebanadas se define con la línea de empuje y se puede variar, es decir cambiar la posición de la fuerzas resultantes entre rebanadas. Para cualquier superficie de deslizamiento.
Spencer (1967)	Las fuerzas resultantes entre rebanadas son paralelas. Cualquier superficie de deslizamiento.
Morgenstern-Price (1965)	La dirección de las fuerzas resultantes entre rebanadas se define mediante la función predeterminada y se puede variar la orientación, el porcentaje de la función utilizada se resuelva mediante equilibrio de fuerzas y momentos. Cualquier superficie de deslizamiento.
GLE	La dirección de las fuerzas resultantes entre rebanadas se define mediante la función predeterminada, el porcentaje de la función requerido para satisfacer el equilibrio de momentos y fuerzas se define buscando el punto de intersección en el diagrama factor de seguridad vs porcentaje de la función.
Corps of Engineers (1970)	Las direcciones de las fuerzas resultantes entre rebanadas se suponen paralelas al ángulo medio de la superficie del talud o a la línea definida por los puntos de entrada y salida de la línea de deslizamiento en el terreno. Cualquier superficie de deslizamiento.
Lowe-Karafiath (1960)	Las direcciones de las fuerzas resultantes entre rebanadas se suponen iguales al promedio de la superficie del terreno y superficie de deslizamiento en la base de cada rebanada. Cualquier superficie de deslizamiento.
Sarma (1973)	Los valores de las fuerza resultantes entre rebanadas siguen ciertas pautas predeterminadas. Cualquier superficie de deslizamiento.

Fuente: Alonso, Eduardo (1989). Análisis de la estabilidad de taludes.

ANÁLISIS DEL TALUD MEDIANTE SLOPE/W

Para el análisis del modelo geotécnico del deslizamiento se utilizó el software para computador SLOPE/W de GEO-SLOPE (Propiedad de CDMB).

Este programa es una herramienta muy útil para resolver problemas de estabilidad en estructuras de suelo y roca. Su interface permite un fácil manejo del mismo lo que permite visualizar de una manera sencilla el problema que se presenta.

SLOPE/W usa la teoría de equilibrio límite para calcular el factor de seguridad de taludes de tierra y roca usando varios métodos. Puede modelar diferentes tipos de suelo, estratigrafía y geometría de superficie de fallas complejas. El programa requiere como datos de entrada los siguientes valores de las características físicas y parámetros de resistencia del material: peso específico, ángulo de fricción interna y la cohesión. Los cuales se obtuvieron directamente del estudio de mecánica de suelos.

Para la presente tesis de grado se trabajó conjuntamente con los siguientes cuatro métodos:

Método ordinario o de Fellenius

Método Bishop simplificado

Método de Janbú simplificado

Método Spencer

ANEXO D. RETRO CÁLCULO

RETRO CÁLCULO

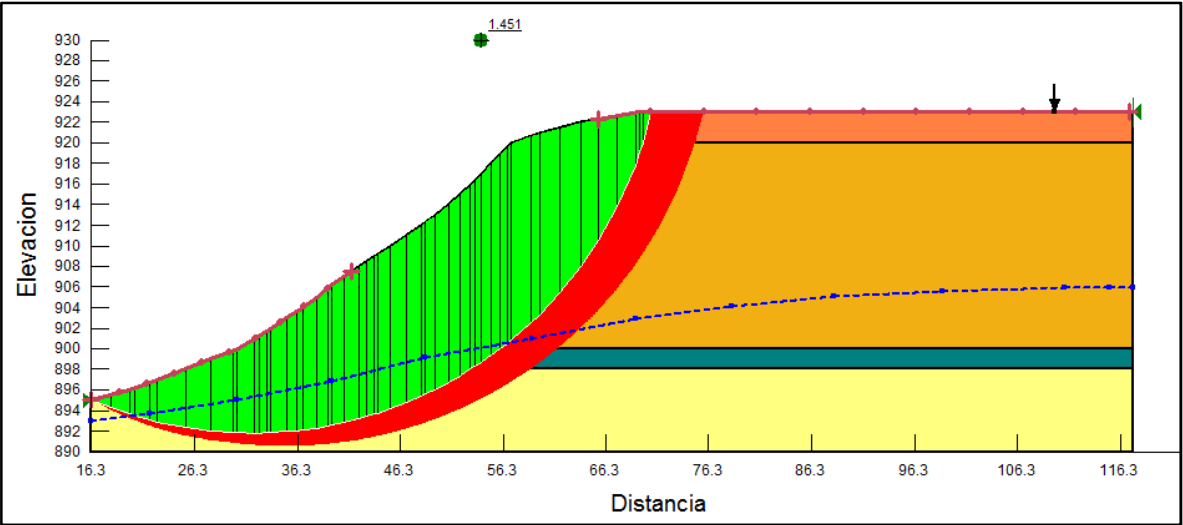
Para este tipo de análisis “Retro Cálculo”, el documento GUIDELINES FOR ANALYZING AND MITIGATING LANDSLIDE HAZARDS IN CALIFORNIA (2002), hace la siguiente referencia: este procedimiento es conocido como retro cálculo retro análisis, y requiere determinar la configuración de la superficie de falla del deslizamiento relativa a la topografía en el instante en que ocurrió la falla, perfil estratigráfico del subsuelo a lo largo de la superficie de falla, niveles freáticos, condiciones de carga externa y densidad del suelo. Una vez esta información es conocida, se elige un método de análisis matemático acorde a la superficie de falla. Los parámetros de resistencia al cortante son ajustados mediante análisis consecutivos hasta obtener un factor de seguridad de 1.0. Este método provee diferentes combinaciones de cohesión y ángulos de fricción.

Estos parámetros de resistencia pueden ser utilizados en la evaluación de las alternativas de estabilización. Skempton (1985) comparó resistencias al cortante drenadas obtenidas mediante métodos cuidadosos de alta calidad en muestras de superficies de falla con resistencias determinadas por retro análisis de superficies de falla y obtuvo buenas correlaciones, indicando que el “Retro Cálculo” es un método válido para fallas con comportamiento drenado.

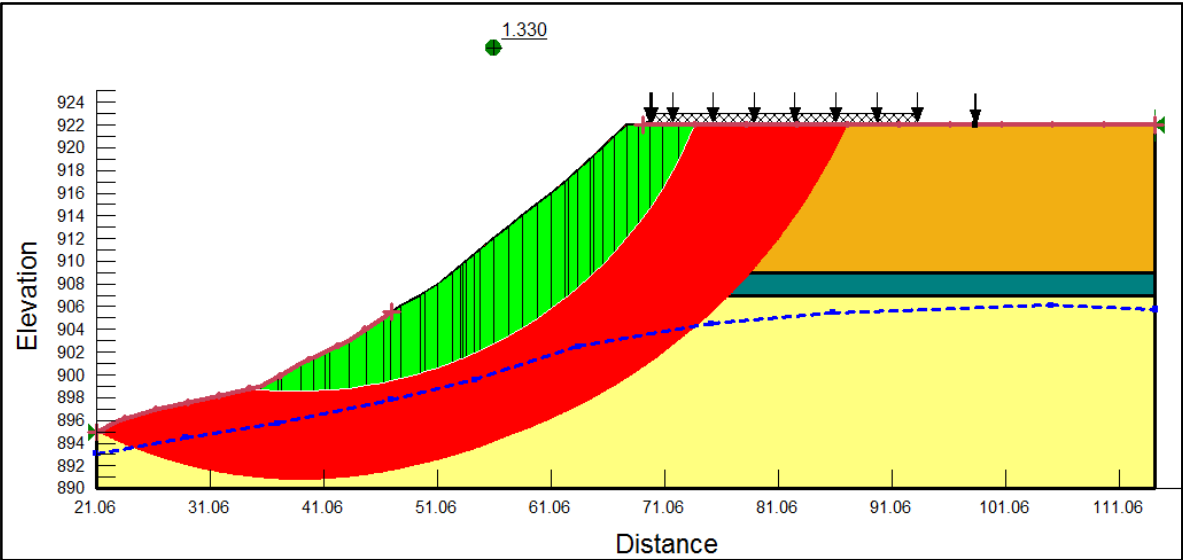
Usando esta técnica y apropiados métodos de análisis, como equilibrio límite, es posible obtener un modelo de deslizamiento en el instante que este fallo, Duncan (2005).

ANEXO E. MODELAMIENTO DEL TALUD - ESCENARIO ESTÁTICO

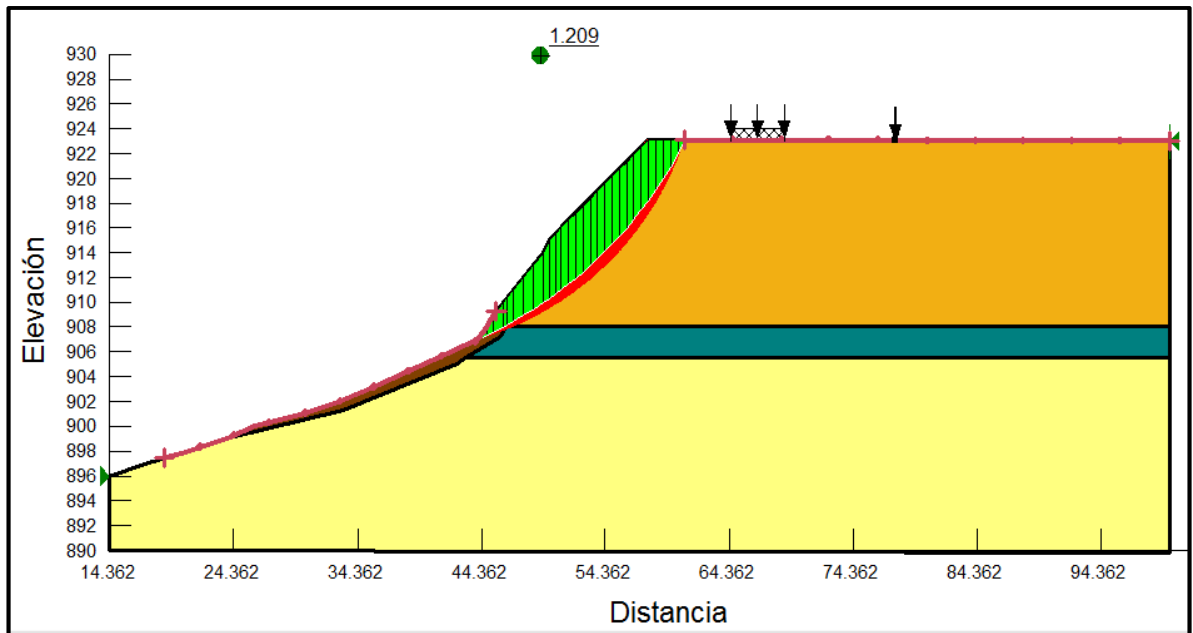
PERFIL 1.



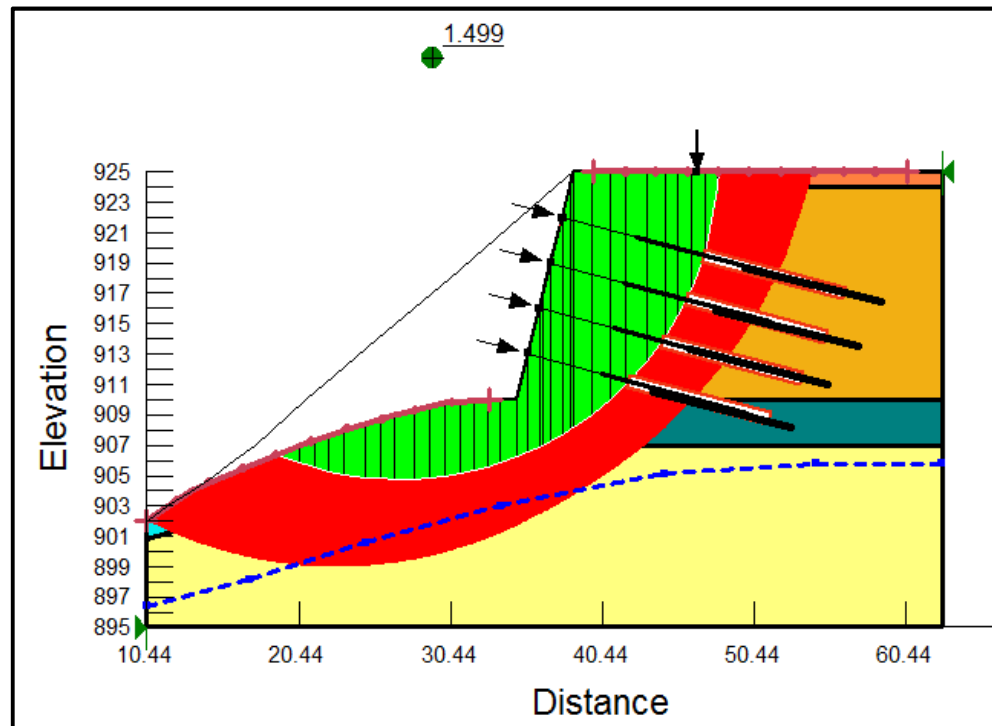
PERFIL 2.



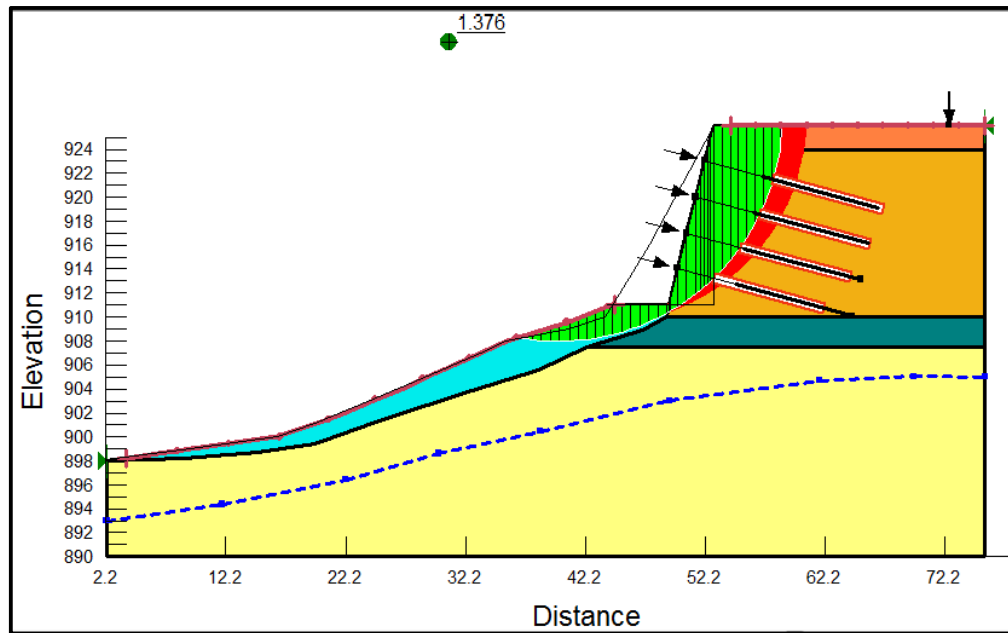
PERFIL 3.



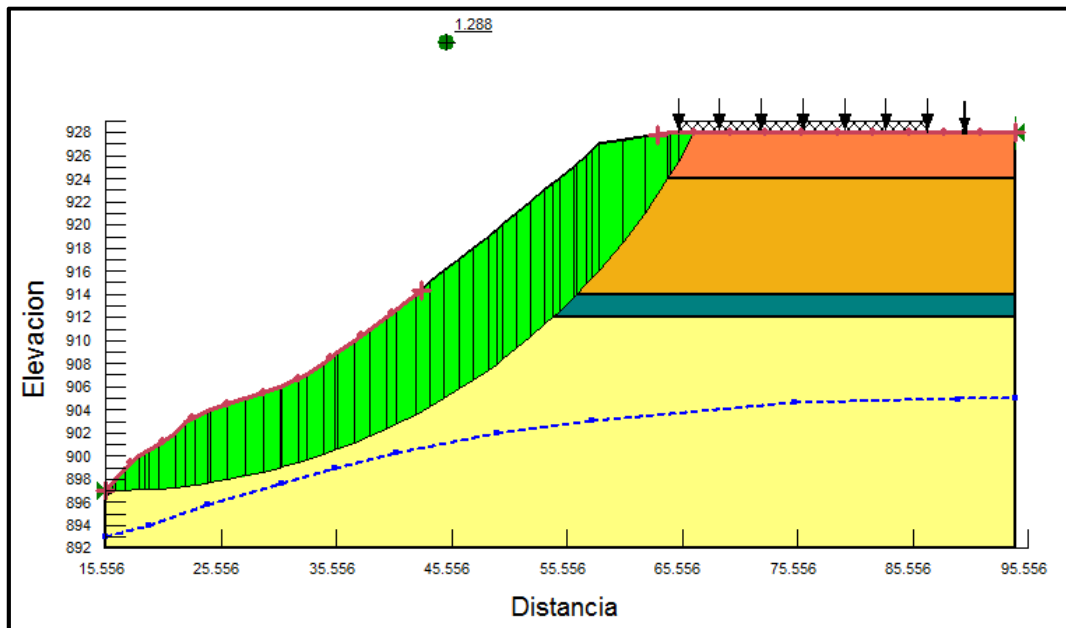
PERFIL 4.



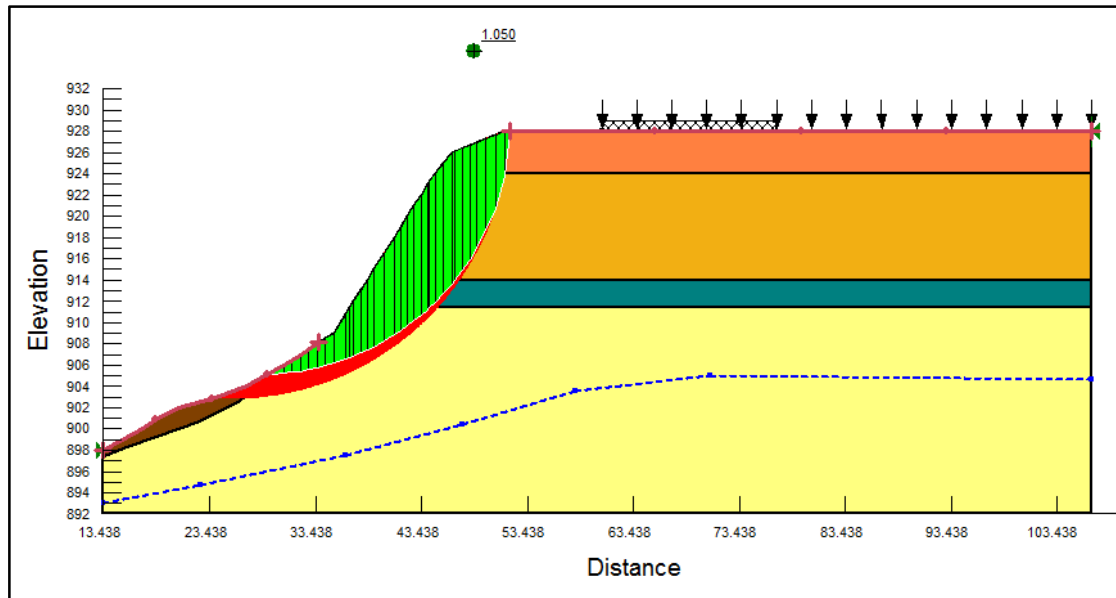
PERFIL 5.



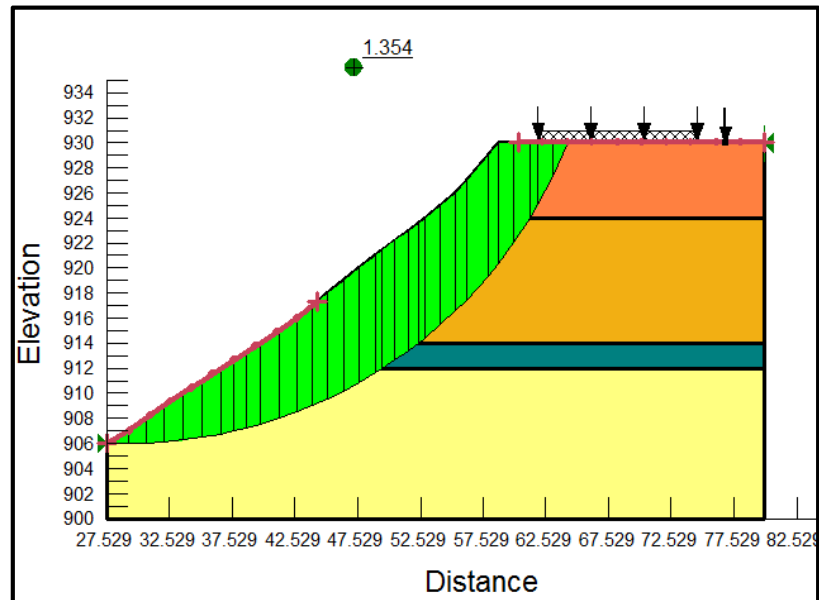
PERFIL 6.



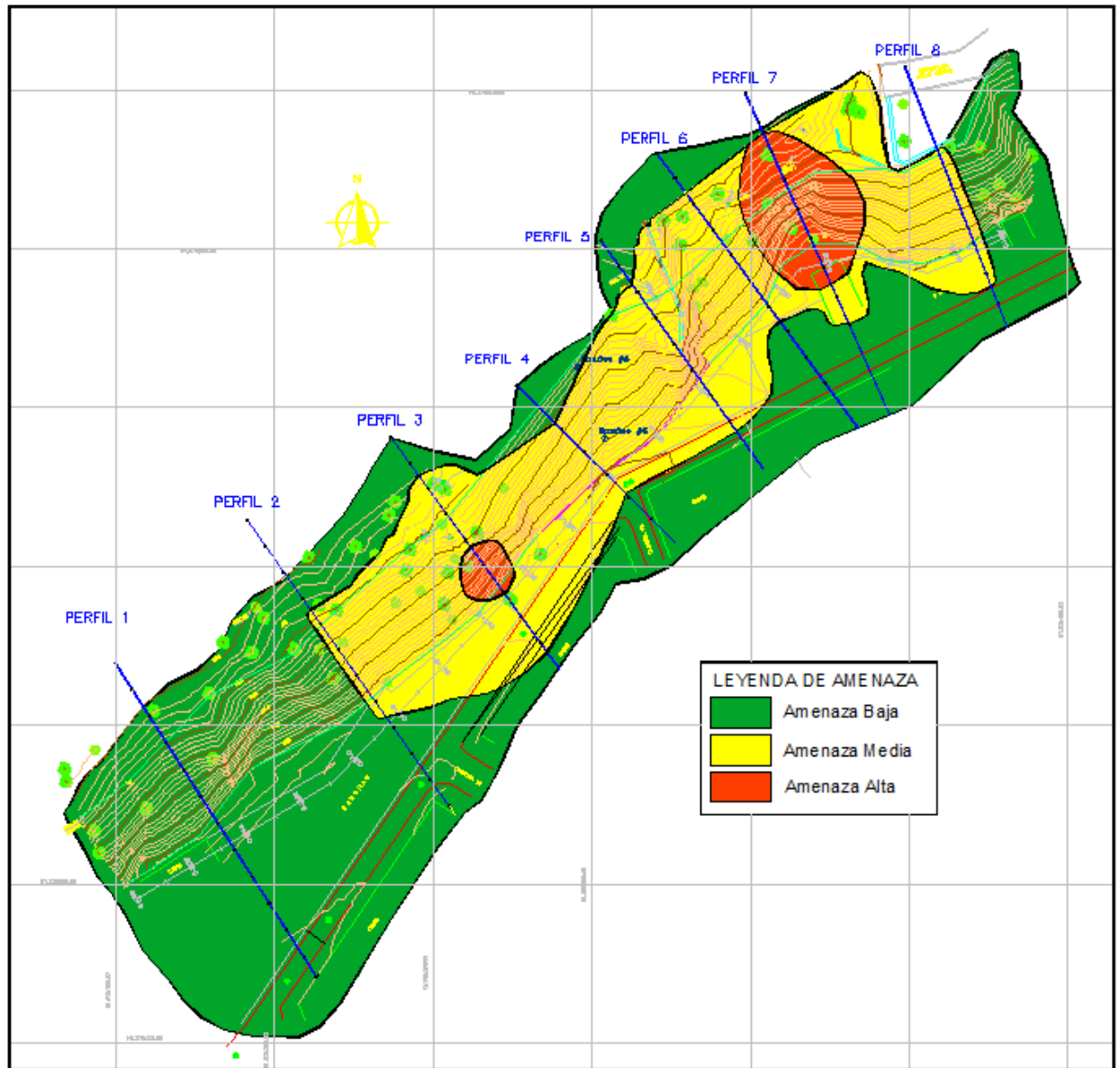
PERFIL 7.



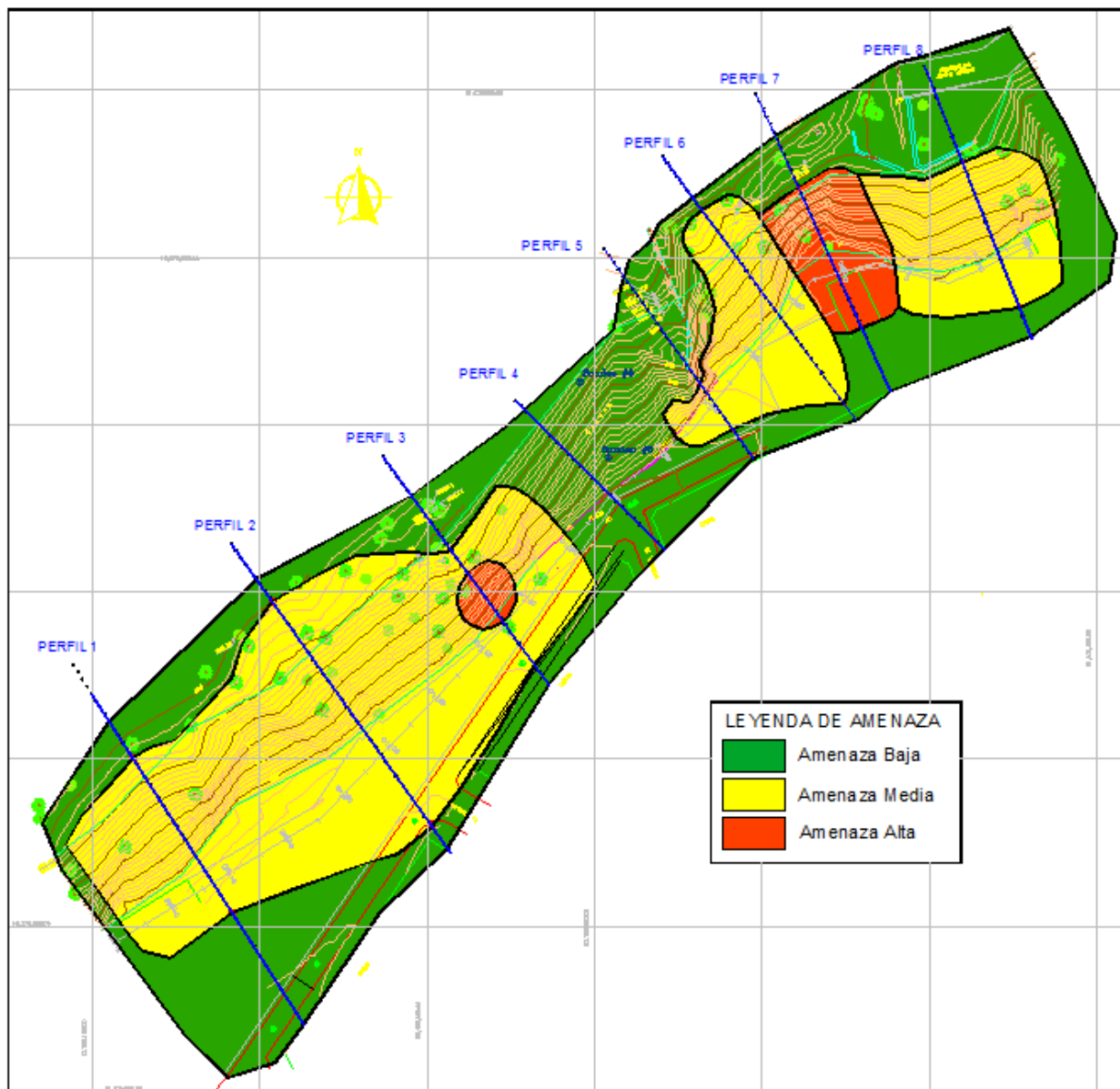
PERFIL 8.



**ANEXO F. MAPAS DE AMENAZA EN REMOCION EN MASA ESCENARIO
ESTATICO - ESCENARIO PSEUDOESTATICO**

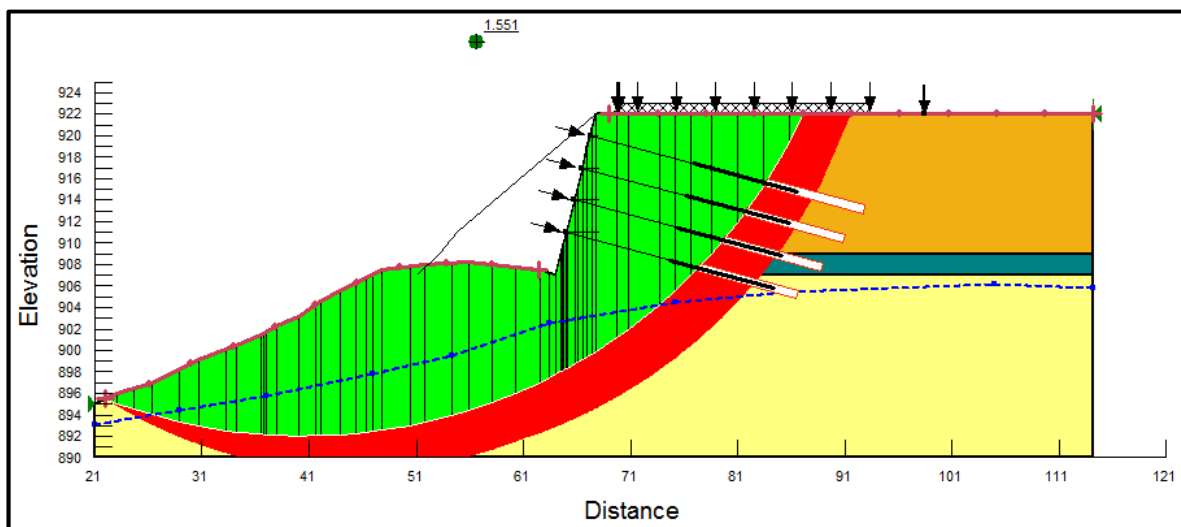


Mapa Análisis de estabilidad para todos los perfiles, Condición Estática.

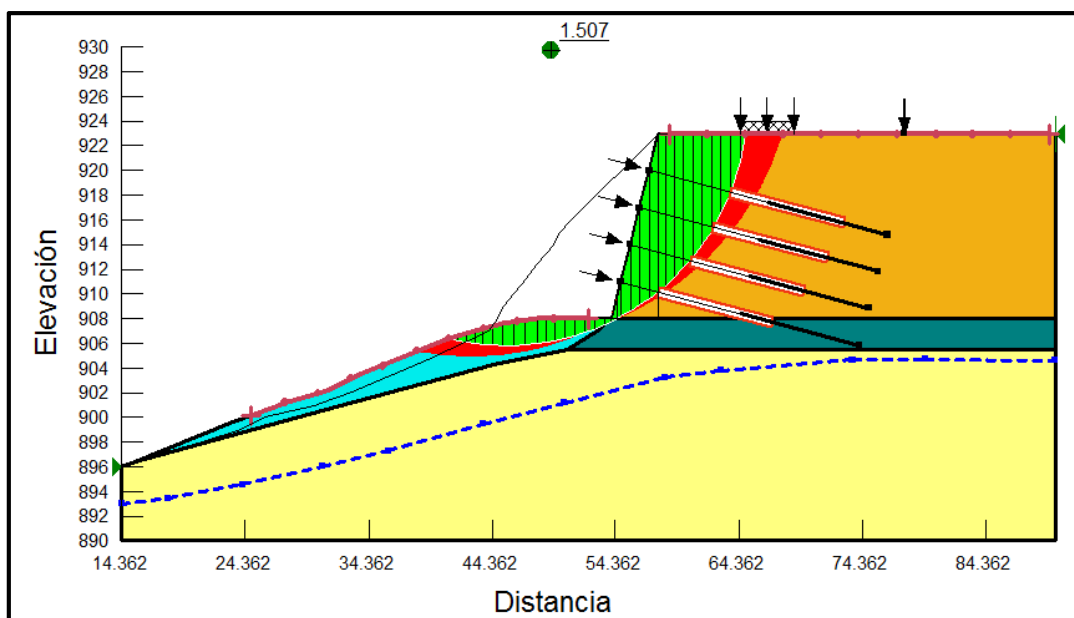


ANEXO G. PERFILES CON OBRAS – PANTALLA ANCLADA ESCENARIO ESTATICO

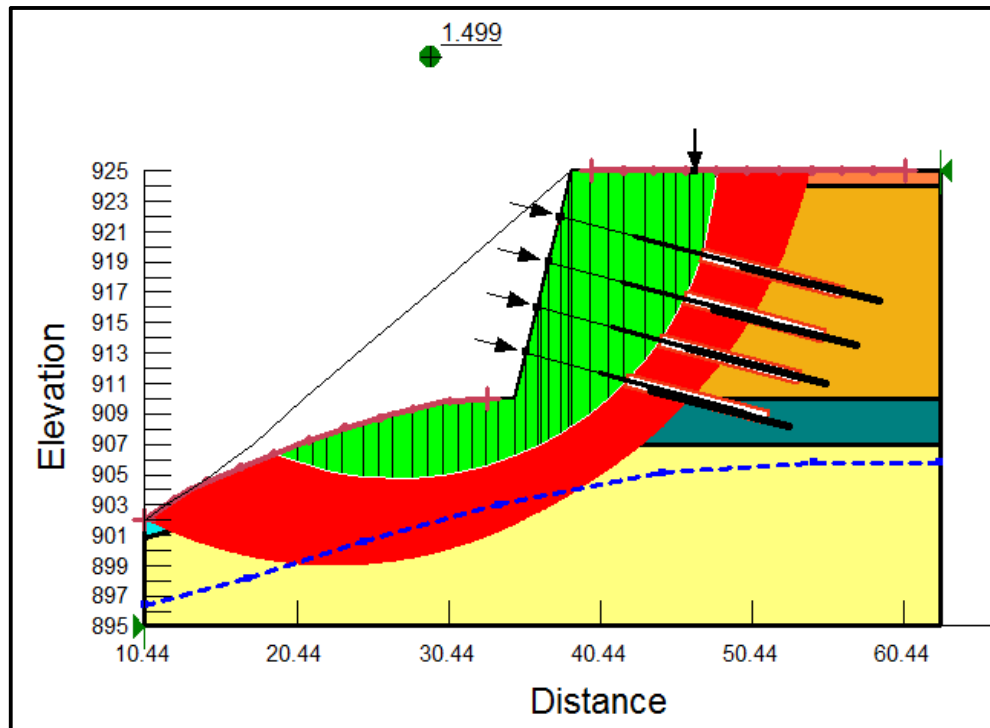
PERFIL 2.



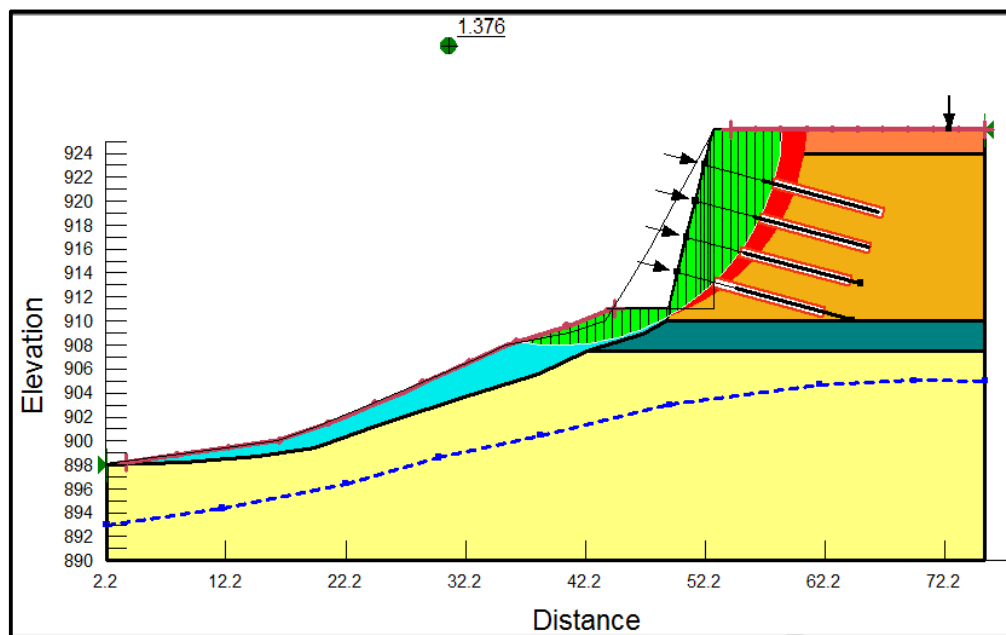
PERFIL 3.



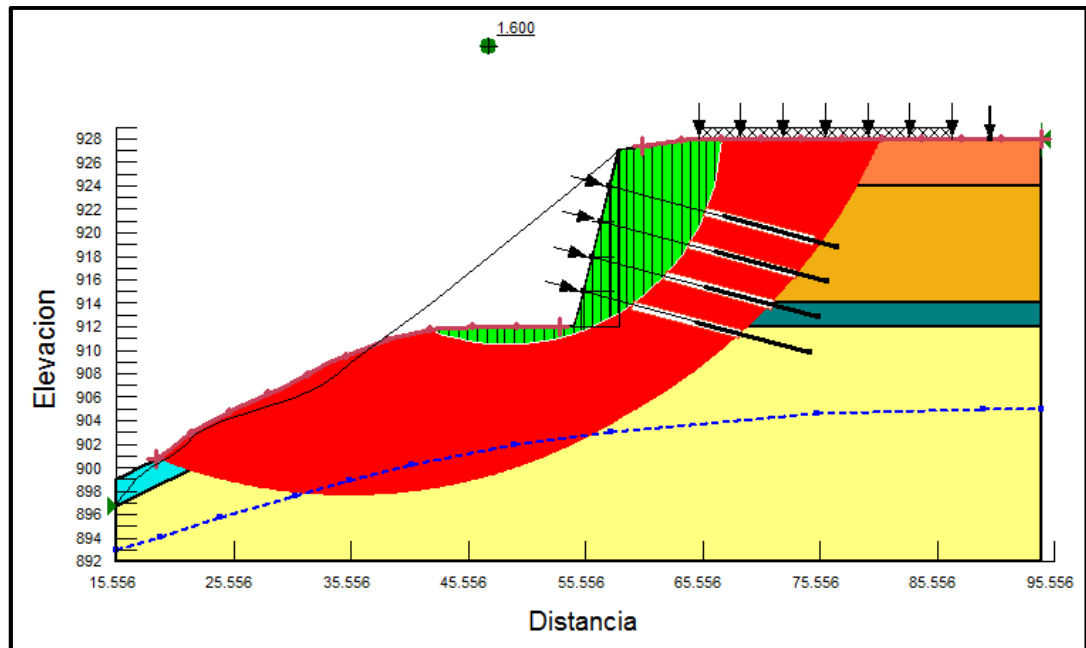
PERFIL 4.



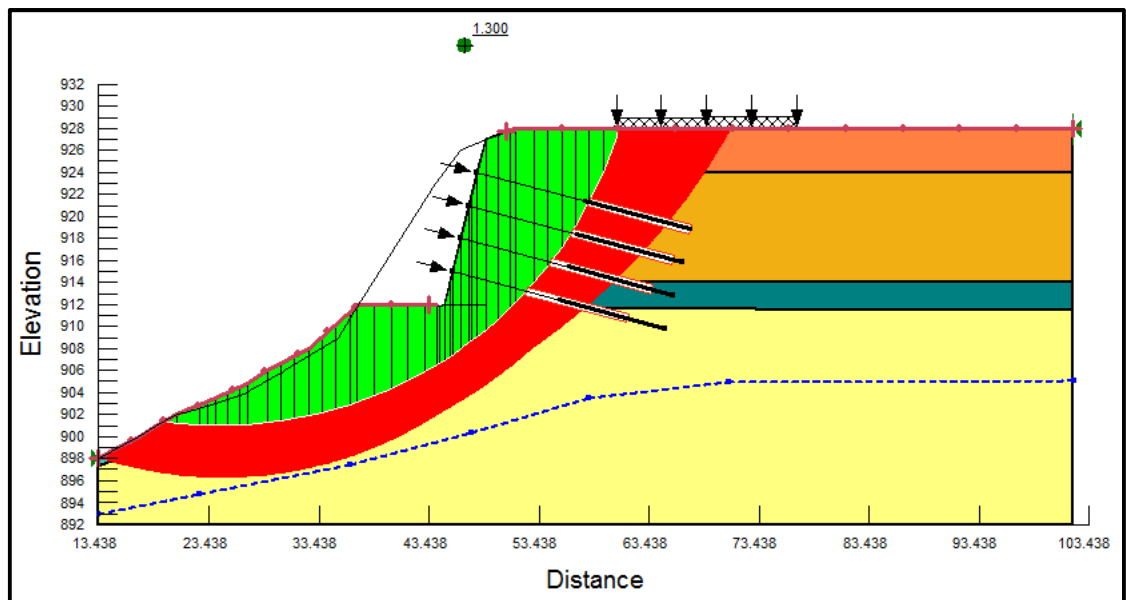
PERFIL 5.



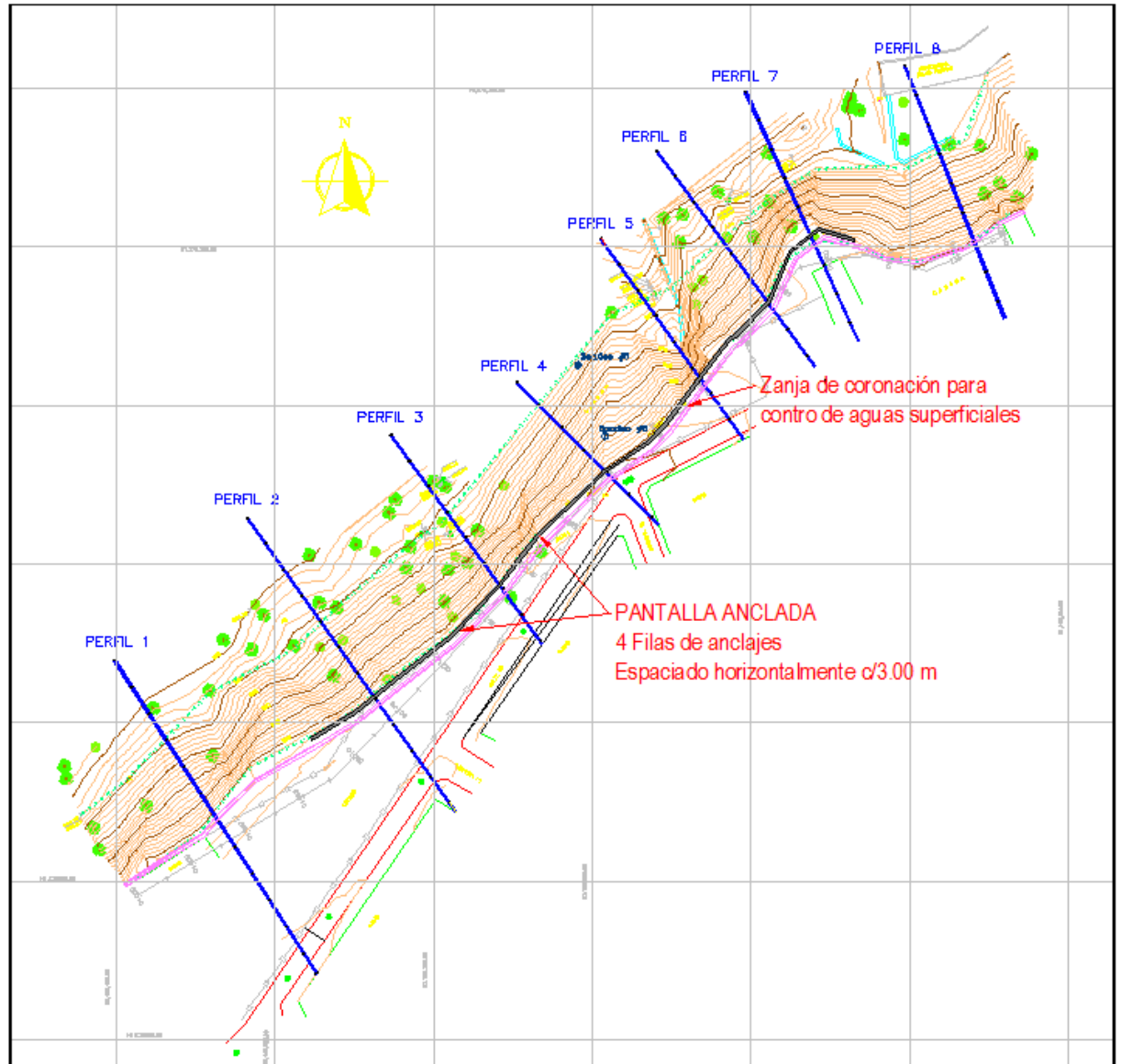
PERFIL 6.



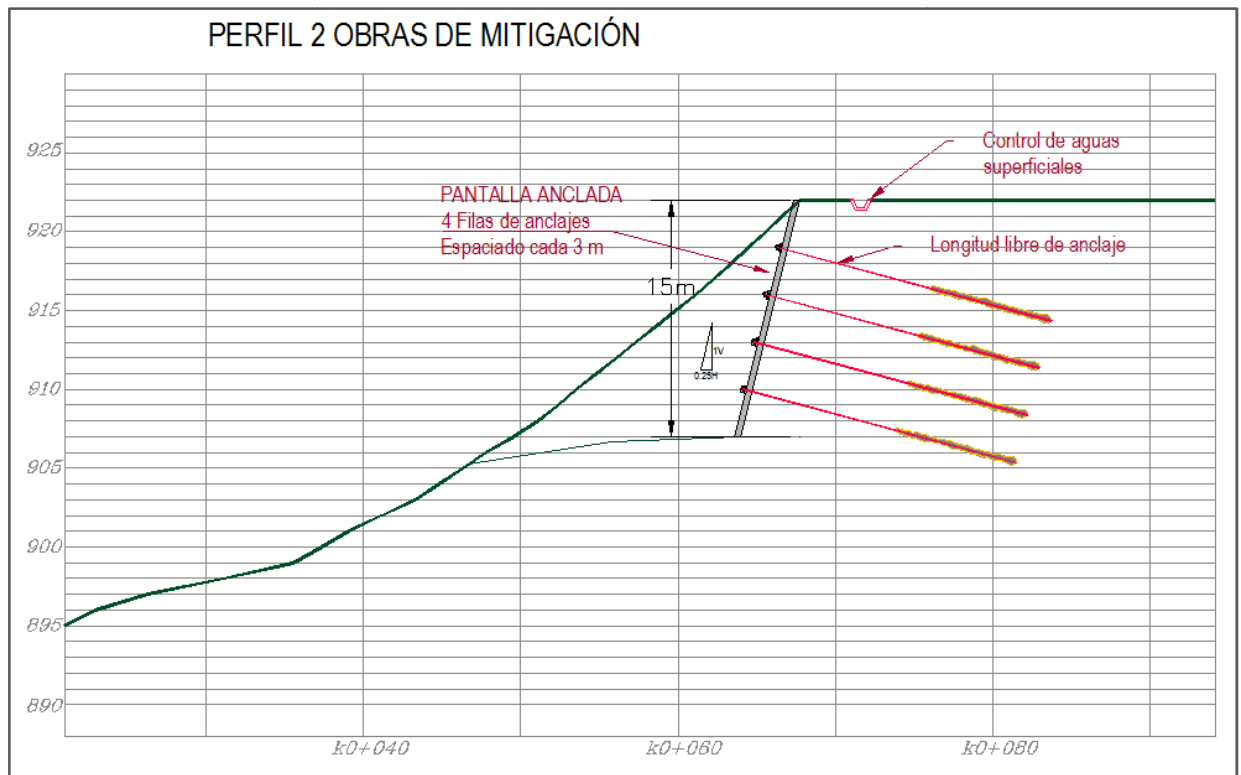
PERFIL 7.



**ANEXO H. MODELAMIENTO DE OBRAS PROPUESTAS MAPA DE AMENAZA
CON OBRAS DE MITIGACIÓN PROPUESTAS**



Vista en planta del talud con obras de mitigación propuestas.



Perfil 2 con obras de mitigación propuestas.



Mapa de Análisis de estabilidad para todos los perfiles, Condición Estática con Obras de Mitigación Propuestas.