Portada

Hoja de Datos

RESUMEN

En este informe se presenta el estudio de riesgo por fenómenos de remoción en masa, la evaluación de alternativas de mitigación y diseños de las medidas recomendadas en el barrio El Consuelo, de la localidad de Usme y Santa Fé.

En el estudio se incluyen los diseños, presupuestos y especificaciones de construcción para las obras de mitigación.

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

1 INTRODUCCIÓN 8
1.1 OBJETIVO 8
1.2 ALCANCE DEL ESTUDIO 8
2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO Y SU ENTORNO 9
2.1 LOCALIZACIÓN 9
2.2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO 11
2.2.1 Alcance específico del trabajo topográfico 11
2.2.2 MÉTODO DE TRABAJO 11
3 CONDICIONES INICIALES DE LA ZONA 13
3.1 CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA 13
3.2 Hidrología y clima 14
3.2.1 Precipitación 14
3.2.2 Temperatura del aire 15
3.2.3 Humedad relativa 15
3.2.4 Brillo solar 16
3.2.5 Evaporación 16
4 ESTUDIOS GEOAMBIENTALES 18
4.1 GEOLOGÍA REGIONAL 18
4.1.1 Estratigrafía regional 19
4.1.2 Geomorfología: Formas y Procesos 20
4.1.3 Geología Estructural 21
4.2 GEOLOGÍA LOCAL 21
4.2.1 Litología y suelos 22
4.2.2 Geomorfología 22
4.2.3 Estructuras y discontinuidades. 24
5 MODELO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO INTEGRAL 25
5.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO Y ENSAYOS DE LABORATORIO 25
5.2 CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS 27
5.2.1 Perfil geotécnico promedio 27
5.3 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS Y PROCESOS MORFODINÁMICOS TÍPICOS 27
5.4 PARÁMETROS GEOMECÁNICOS 28
6 EVALUACIÓN DE AMENAZA 30
6.1 SECCIONES Y MODELO DE ANÁLISIS (MECANISMOS DE FALLA) 30
6.2 VALORES EXTREMOS DE VARIABLES ALEATORIAS 30
6.2.1 Nivel Freático 30
6.2.2 Cargas 30
6.3 ESCENARIOS DE ANÁLISIS 30
6.4 MÉTODO Y RESULTADOS DE ANÁLISIS EN TÉRMINOS DE FACTORES DE SEGURIDAD Y/O PROBABILIDADES DE FALLA 31
6.4.1 Métodos de Análisis 31
6.5 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA AMENAZA 31
6.6 ANÁLISIS DE AMENAZA POR FRM 31
6.7 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA 31
7 PLAN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN 33
7.1 REQUERIMIENTO DE OBRAS DE MITIGACIÓN 33
7.2 VIABILIDAD DE OBRAS DE MITIGACIÓN 33
7.3 RESULTADOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CON OBRAS DE MITIGACIÓN 34
8 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO 39
9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 40
9.1 CONCLUSIONES 40
9.2 RECOMENDACIONES 40
10 BIBLIOGRAFÍA 41

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 2-1 Coordenadas de la zona de estudio 9
Tabla 3-1 características de las estaciones 14
Tabla 3-2 Precipitación media mensual multianual – series históricas (mm) 14
Tabla 3-3 Elementos de Clima Estación Vitelma 15
Tabla 5-1 Localización de Exploraciones 25
Tabla 5-2 Cantidades de ensayos de laboratorio realizados 25
Tabla 5-3 Parámetros promedios de los Materiales Modelados 28
Tabla 5-4 Resumen de resultados de ensayos de Laboratorio 29
Tabla 6-1 Factores de seguridad para los escenarios analizados 32
Tabla 7-1 Resultados Análisis de estabilidad con Obras de Mitigación 34
Tabla 8-1 Presupuesto 39

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 2.1 Localización general de la zona de estudio 10
Figura 3-1 Curvas intensidad-Duración-Frecuencia 13
Figura 3-2 Histograma de precipitación total mensual (mm) Estación Vitelma 16
Figura 3-3 Temperatura del aire 16
Figura 3-4 Variación de humedad relativa 17
Figura 3-5 Variación brillo solar 17
Figura 3-6 Variación evaporación 17
Figura 4-1 Mapa Geológico al norte del Sitio de Interés, tomado de Ingeominas (1999), Plancha K-11, Zipaquira. 18
Figura 4-2 Mapa Geológico del sitio de Interés, tomado de Ingeominas (1999), Mapa Geológico del Departamento de Cundinamarca. 19
Figura 4-3 Fotointerpretación de la imagen No. 0112, vuelo C1131. 23
Figura 6.1 Sección B-B_ condiciones normales sin obras 32
Figura 7.1 Sección B-B_ condición con obras y sin sismo. 36
Figura 7.2 Sección B-B_ condición con obras y sismo. 36
Figura 7.3 Sección F-F_ Condición con obras sin sismo. 37
Figura 7.4 Sección F-F_ Condición con obras y sismo. 37
Figura 7.5 Sección G-G_ Condición con obras sin sismo. 38
Figura 7.6 Sección G-G_ Condición con obras sin sismo. 38

LISTADO DE PLANOS

Plano No. 1 TOPOGRAFÍA 42
Plano No. 2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL 43
Plano No. 3 LOCALIZACIÓN DE EXPLORACIÓN Y SECCIONES 44
Plano No. 4 SECCIONES GEOTÉCNICAS 45
Plano No. 5 OBRAS DE MITIGACIÓN 46

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO A REGISTRO DE EXPLORACIÓN Y RESUMENES GRAFICOS 47
ANEXO B ENSAYOS DE LABORATORIO 63
ANEXO C MEMORIA DE CÁLCULO DE OBRAS 104
ANEXO D CANTIDADES DE OBRA 110
ANEXO E ESPECIFICACIONES TÉCNICAS 114

GLOSARIO

Amenaza: probabilidad de que ocurra un evento potencialmente dañino en un área y un período de tiempo dados.

Arcillolita: Roca sedimentaria de origen detrítico. Es una roca compacta, sin fisilidad que está formada por partículas del tamaño de la arcilla.

Base topográfica: Mapa base que contiene información topográfica, utilizable para referenciar localizaciones de otros elementos, y la elaboración de mapas temáticos (mapas geológicos, estructurales, de uso de tierras, entre otros).

Buzamiento (geología general): Ángulo de inclinación que forma un filón, estructura o capa rocosa con un plano horizontal, medido perpendicularmente a la dirección o rumbo del filón.

Cauce: Canal por donde normalmente discurren las aguas de un río. El cauce es continuamente modificado por el caudal, la velocidad, la pendiente, la carga de sedimentos y el nivel de base local del río.

Clima: referente al periodo de retorno de lluvias asociado a la zona.

Cobertura: Un conjunto de datos asociados temáticamente y considerados como una unidad. Una cobertura usualmente representa un tema único, o corresponde a una capa de información tal como suelos, ríos, caminos, uso de la tierra, entre otros.

Cuencas hídricas: Se refiere a todas las cuencas determinadas por la divisoria de aguas, tanto superficiales como subterráneas.

Deslizamientos: El movimiento consiste de deformación por corte y desplazamiento

Drenaje. Referente a la cantidad de drenajes y pendientes del cauce.

Efectos antrópicos: densidad de vivienda y efectos de explotación de áreas adyacentes.

Erosión: el estado actual de la zona frente a los procesos de degradación por agentes externos.

Escarpe: Cualquier cara rocosa alta, de muy pendiente a perpendicular o en voladizo. El escarpe es usualmente producido por erosión y menos comúnmente se encuentran producidos por fallamiento.

Estabilidad (geotecnia): Resistencia de un estructura, talud o muro de contención a la falla por deslizamiento o colapso bajo condiciones normales, para las que fue diseñado.

Estrato: Capa de roca caracterizada por sus propiedades litológicas particulares y los atributos que la distinguen de las capas adyacentes.

Factor de riesgo: Cualquier elemento o fenómeno del ambiente de trabajo o acción que pueda causar un daño.

Flujos de tierra: El movimiento se caracteriza por la velocidad relativamente baja.

Geología: Ciencia que estudia la composición y la disposición de los materiales que constituyen la litosfera terrestre, su naturaleza, su situación y las causas o fenómenos que originan esa disposición y de los efectos de los agentes que la alteran.

Geomorfología: Ciencia que tiene por objeto el estudio y la explicación de las formas del relieve terrestre.

Levantamiento topográfico: Descripción y delineamiento un terreno en su configuración superficial.

Movimientos en masa: Caída de las rocas, una vez han sido fragmentadas (metorización), mediante diversos tipos de impulsos gravitacionales.

Nivel freático: Superficie en la zona de saturación de un acuífero libre sometido a la presión atmosférica.

Perfil: Es la secuencia y conjunto de horizontes de un suelo; corte vertical hecho en el suelo a fin de hacer un estudio.

Relieve: Referente a la pendiente del terreno.

Reptación: Es el movimiento lento e imperceptible del material

Riesgo: Es la combinación de la probabilidad de ocurrencia de un incidente o evento no deseado y de la severidad de sus consecuencias.

Sismo: análisis de estabilidad y actividad sísmica.

Sondeo: Operación que se efectúa con el fin de perforar el suelo, mediante la apertura de orificios de diámetro pequeño para la exploración.

Talud: Superficie inclinada del terreno en la base de un cerro o de una colina, donde se encuentra un depósito de detritos.

Tipo de materiales: referente al levantamiento geológico, reconocimiento geotécnico y a la información de exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio. La metodología hace referencia a tres tipos de material: roca, material intermedio y suelo.

Usos del suelo. Referente al control de erosión y aguas de escorrentía superficial.

Vulnerabilidad: grado de debilidad o resistencia que presentan las personas, sus bienes y el mismo ambiente natural, frente a la ocurrencia de un fenómeno peligroso.

Vulnerabilidad: predisposición intrínseca de un sujeto o elemento a sufrir daño debido a posibles acciones externas.

Vulnerabilidad física: se expresa como una medida porcentual de los costos de las averías originadas por un agente destructor.

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

kPa: kilo Pascal.

m: Metros.

Ha: Hectarea

w_N %: Humedad natural.

? **T/m^3:** peso unitario.

IL: Índice de Liquidez

N'_i: Número de golpes corregido para un esfuerzo de confinamiento de 1 kg/cm2.

C_N: Factor de ajuste para tener en cuenta el nivel de confinamiento.

?$_1$**:** Factor de corrección por caída del martillo.

?$_2$**:** Factor de corrección por longitud del sistema de varillas.

?$_3$**:** Factor de corrección por presencia de revestimiento interno.

?$_4$**:** Factor de corrección por diámetro de la perforación.

?$_{eq}$**:** ángulo de fricción equivalente.

c': Cohesión.

?**':** ángulo de fricción.

FS: Factor de seguridad

RQD: Rock Quality Designation.

SPT: Ensayos de penetración estándar

$P_{x\,16}$: valor medio de la precipitación en la estación de período corto, 16 años

$P_{l\,16}$: precipitación media en la estación de período largo, 16 años en este caso

P_l : precipitación media del período largo, en este caso 29 años

° C: grados centígrados.

m.s.n.m: metros sobre el nivel del mar.

mm: milímetros.

Vi : Valor inicial del bien (antes del evento).

Vf : Valor final del bien (después del evento):

ID: Índice de Daños.?

? ?es la dependencia o coeficiente de importancia del ID en la valoración del IVF.

PE: porcentaje de perdida esperada en la ventana de tiempo (escenario actual).

d: porcentaje de daño asociado a la resistencia y exposición del elemento.

p: probabilidad asociada al FRM potencialmente destructivo.

PEV: Perdida esperada de una vivienda.

Vs: Valor de las vivienda en pesos (millones).

1 INTRODUCCIÓN

El proyecto de análisis y evaluación de riesgos en el Distrito Capital hace parte del plan de inversión del Fondo de Prevención y Atención de Emergencias "FOPAE" cuya administración está a cargo de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias "DPAE" dependencia de la Secretaría de Gobierno. En las metas del proyecto se encuentra el diseño de obras de mitigación de riesgo en sitios críticos, dentro del Componente 1, que corresponde a la elaboración de estudios de evaluación de riesgos de origen socionatural y tecnológico.

En el Distrito Capital se registran situaciones de emergencia en sitios que presentan evidencias de condiciones de riesgo inminente, para las cuales personal de la DPAE recomienda (mediante diagnósticos técnicos) su inclusión en la Base de Datos de Sitios Críticos por Fenómenos de Remoción en Masa, para intervención con medidas de mitigación de riesgo. En razón de lo anterior, el FOPAE realizó el contrato No. 518 del 2006 el cual inició el 21 de noviembre de 2006 con la UNION TEMPORAL GEOTECNIA URBANA conformado por los ingenieros Germán D. Tapia M. y Edgar Rodríguez G. el cual, debe disponer de un equipo multidisciplinario de ingenieros los cuales aplicando criterios técnicos y el apoyo logístico adecuado realicen el diseño de las obras en forma rápida, y poder así, adelantar su construcción en corto tiempo.

1.1 OBJETIVO

General

Elaboración de Diseños de Obras, Presupuestos y Especificaciones Técnicas en Sitios Críticos de Riesgo inminente por Remoción en Masa en las **Localidades de Usme y Santa Fe** de la Ciudad de Bogotá D.C. Sitio No. 4: **El consuelo** ubicado de la localidad de Santa Fe.

1.2 ALCANCE DEL ESTUDIO

- Recopilación de información primaria y secundaria.
- Levantamiento topográfico detallado de la zona de estudio a escala 1:500, con curvas de nivel cada 0.50 m.
- Análisis de características climáticas, hidrológicas, hidrogeológicas, hidráulicas y sismológicas.
- Inventario y cartografía de variables como: geología, geomorfología, usos del suelo.
- Inventario de los procesos morfodinámicos, con el fin de conocer los mecanismos de falla, los factores condicionantes y desencadenantes de ellos.
- Análisis de estabilidad de taludes por fenómenos de remoción en masa.
- Análisis de amenaza.
- Diseño detallado de obras y acciones tendientes a minimizar el riesgo potencial y maximizar el entorno ambiental.
- Presupuesto detallado y especificaciones.

2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO Y SU ENTORNO

2.1 LOCALIZACIÓN

El sitio de estudio se ubica en la Carrera 11C Este entre calles 1C y 1B del barrio El Consuelo. Corresponde a una ladera en donde se observan procesos de reptación y flujo lento de suelo. La zona ha tenido procesos de reubicación de viviendas por afectación en muros y niveles de cimentación. Actualmente las viviendas localizadas en la parte inferior del talud ya han sido demolidas.

El sitio de estudio tiene un área de influencia de 0.12 Ha. La altura máxima del talud de corte es de 13.04 m, ubicándose entre la cota 2848 msnm y 2861.04 msnm, con inclinación promedio de 35 º.

La zona de estudio se ubica entre las siguientes coordenadas:

Tabla 2-1 Coordenadas de la zona de estudio

NORTE (m)	ESTE (m)
98298.3560	100980.2661
98317.2048	101034.7066
98292.1049	101043.5407
98278.3545	101003.6688

En la Fotografía 2-1 y en la Fotografía 2-2 se muestra el estado actual de la ladera y las viviendas ubicadas en la parte superior del talud. Como se mencionó anteriormente y se observa en la fotografía, la vivienda localizada en la parte inferior de la ladera ya ha sido demolida.



Fotografía 2-1 Vista frontal de la ladera. Viviendas ubicadas en la parte alta.



Fotografía 2-2 Vista frontal de la ladera. Zona inferior – sitio de reubicación de vivienda.

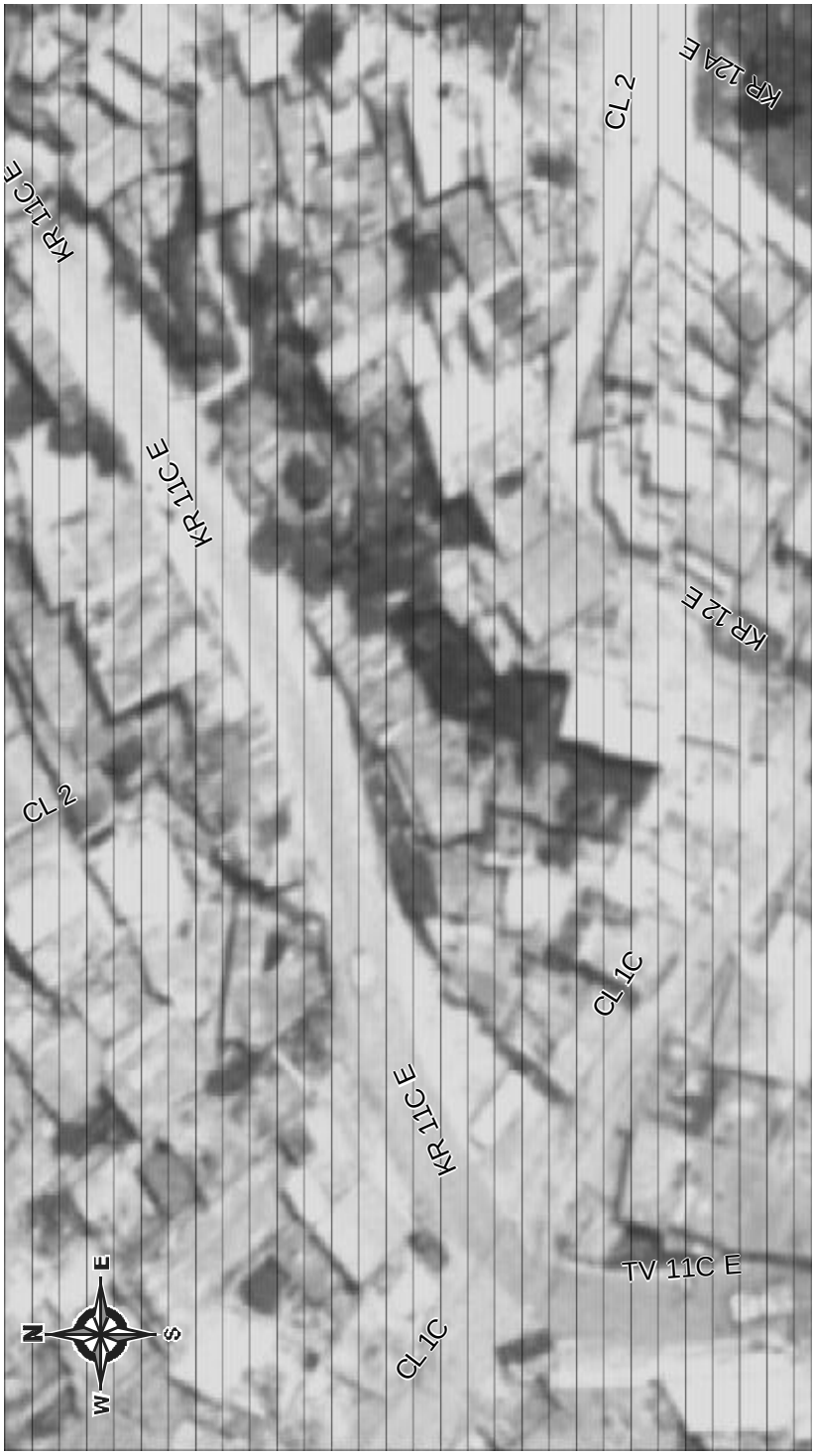


Figura 2.1 Localización general de la zona de estudio

2.2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Se presenta en este informe una descripción del trabajo de campo y oficina desarrollado para la elaboración del plano topográfico del sitio crítico de riesgo en el barrio El Consuelo.

Como elemento fundamental en la formulación de la cartografía geológica, geomorfológico y geotécnica encaminada al análisis de amenaza y planteamiento de medidas de reducción de riesgo, se realizó un levantamiento topográfico detallado a escala 1:500. Se movilizó la comisión de Topografía al área de estudio para adelantar labores de levantamiento topográfico y altimétrico tomando en detalle redes de agua, luz y teléfono, así como vías, viviendas y otras características visibles y de importancia para este trabajo.

2.2.1 Alcance específico del trabajo topográfico

El trabajo topográfico se limita al levantamiento topográfico (planimétrico y altimétrico) del terreno con coordenadas IGAC, siguiendo los parámetros básicos que se mencionan a continuación:

- Información topográfica tomada para cada punto, levantado en las 3 dimensiones: X (Este), Y (Norte), Z (Cota).
- Levantamiento topográfico detallado del sitio con: postes, hidrantes, válvulas, cajas, pozos, vías, paramentos, cercas, y demás detalles.
- Generación de curvas de nivel cada 0.5 m

2.2.2 MÉTODO DE TRABAJO

Se utilizó el método planimétrico de poligonal por ángulo y distancia, medidas electrónicamente y determinando los ángulos horizontales mediante la lectura de una serie de dos posiciones cada una con el siguiente itinerario:

- Lectura atrás en fase directa (origen de la serie o azimut verdadero).
- Lectura adelante en fase directa.
- Lectura adelante en fase inversa.
- Lectura atrás en fase inversa (Final de la serie).

De estas series angulares se extrajo las direcciones que al restarse no deben superar los 000 00’ 1 0”.0 de diferencia entre ellos y con el promedio de los cuales se determina el ángulo leído definitivo y con este el nuevo azimut del alineamiento. Con la distancia horizontal y el nuevo azimut, se calcula la posición del punto adelante desde donde se continúa con nuevos puntos si se requieren y desde estos puntos se levanta la nube de puntos de interés.

Amarrado con el proceso anterior y de igual forma, se establece la altura de cada punto por el método trigonométrico que consiste en la determinación de ángulos verticales cenitales entre la estación y el punto visado. Con estos datos, la distancia inclinada, la

altura del instrumento y la altura de los prismas se calculó la diferencia de elevación entre la estación ocupada y el punto visado, lo que permitió el traslado de la cota de partida.

Una vez materializada la poligonal de trabajo, se realizó el levantamiento topográfico detallado, mediante el uso de una estación total, haciendo toma de los puntos topográficos relevantes y de aquellos que contribuyeran a una mejor modelación del relieve.

Luego, se hizo el procesamiento de puntos y generación de curvas de nivel cada 0.50 metros, además, se hizo el dibujo que representa la geometría en planta de los diferentes elementos, información que se revisó en campo. La topografía final se presenta en el Plano No. 1.

En campo, se realizó el levantamiento de todos los detalles por radiación para la elaboración del plano respectivo utilizando una estación total TOPCON GTS-235W, estos detalles fueron: vías, paramentos, postes, hidrantes, válvulas, cajas, pozos, cercas, y puntos de topografía para generar curvas de nivel cada 0.5 m, el total de puntos levantados fue de 855. Los detalles del levantamiento fueron almacenados en cartera electrónica, lo cual garantiza su veracidad. Las cotas fueron calculadas por nivelación trigonométrica a partir de los datos de la estación, mediante el software SURFACE MODELING.

En oficina, los datos del levantamiento topográfico se bajaron directamente desde el colector de datos de la estación total al computador, evitando así errores de trascripción y agilizando este proceso. Los puntos topográficos fueron interpolados utilizando el software SURFACE MODELING, hallando las curvas de nivel, y con las carteras de campo se realizó la planimetría del sitio.

3 CONDICIONES INICIALES DE LA ZONA

3.1 CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA

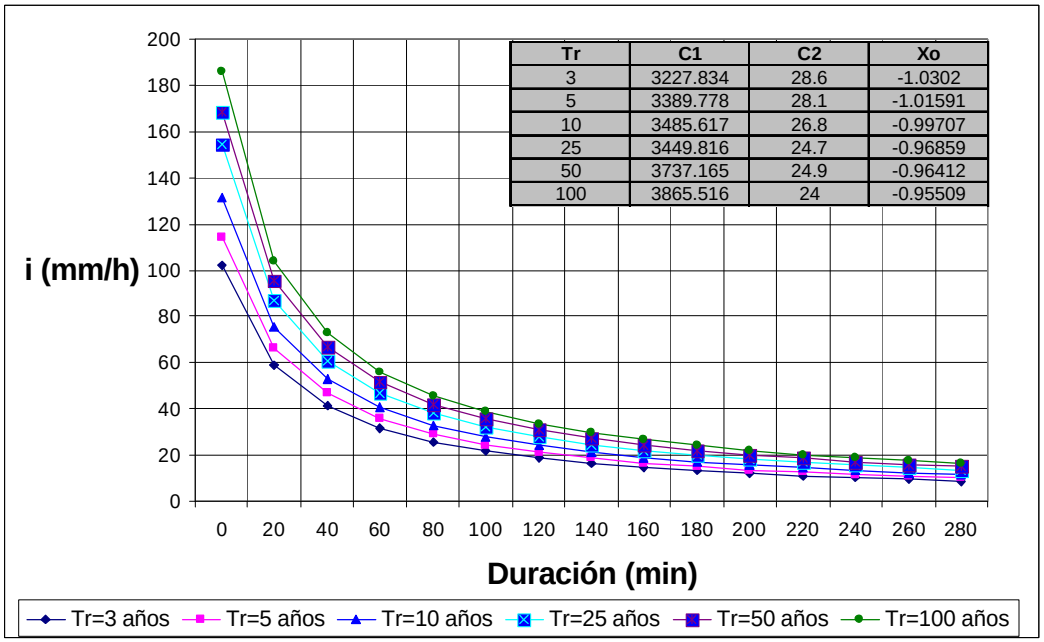
Se solicitó la ecuación para las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para el punto de estudio en la EAAB.

La intensidad de la lluvia se determinó a partir del periodo de retorno, frecuencia y duración de la tormenta de diseño, los datos para los diferentes períodos de retorno fueron suministradas por la EAAB, a partir de los cuales se obtiene la intensidad, utilizando la siguiente ecuación:

$$INTENSIDAD = C_1 (DURACIÓN + X_0)^{C_2} \qquad [1]$$

Los términos C_1, C_2 y X_o de la ecuación de intensidad de la lluvia, son coeficientes que varían con el lugar y el periodo de retorno, datos que son obtenidos en la EAAB[1].

En la Figura 3-1 se presentan las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para el punto que fueron calculadas a partir de la ecuación [1].



Tr	C1	C2	Xo
3	3227.834	28.6	-1.0302
5	3389.778	28.1	-1.01591
10	3485.617	26.8	-0.99707
25	3449.816	24.7	-0.96859
50	3737.165	24.9	-0.96412
100	3865.516	24	-0.95509

Figura 3-1 Curvas intensidad-Duración-Frecuencia

[1] IRH Ltda – EAAB. "Estudio para análisis y caracterización de tormentas en la Sabana de Bogotá"

3.2 HIDROLOGÍA Y CLIMA

Se recopiló información pluviométrica y pluviográfica de la Estación Vitelma de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB, cercana al área del estudio con el fin de usarla en el análisis de hidrología de la zona. Para la caracterización de las variables de precipitación y climatológicas, se utilizó la información obtenida de esta estación.

En la tabla siguiente se presenta el nombre, tipo y código de la estación y sus características de localización, elevación y período de registro.

Tabla 3-1 características de las estaciones

Nombre	Vitelma
Administrador	EAAB
Código	2120524
Cuenca	Bogotá
Subcuenca	San Cristóbal
Coordenadas	04º35' N 74º05' W
Norte	998262.32
Este	999731.82
Elevación (msnm)	2800
Periodo de registro	1927 - 2005

3.2.1 Precipitación

Precipitación media

La determinación de los valores medios anuales y mensuales de precipitación se adelantó a partir de la información de las series de datos de las estaciones Vitelma. Los valores medios mensuales y anuales de las series históricas se presentan en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2 Precipitación media mensual multianual – series históricas (mm)

ESTACIÓN	MESES												TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Vitelma	49.6	65.4	85.9	114.0	103.0	73.1	79.3	65.3	57.8	115.0	123.0	79.2	1010.8

Del análisis de esta tabla se puede deducir que los valores mensuales de precipitación de los meses de abril, mayo, octubre y noviembre son muy similares y se caracterizan por ser los más lluviosos; así como, los meses de febrero, marzo, junio, julio y diciembre también permiten considerarlos bajo las mismas condiciones del comportamiento de precipitación y son los meses de tiempo seco.

Dado que no fue posible contar con información de un mayor número de estaciones con información sobre el área, la precipitación media se obtuvo como el promedio aritmético de los valores anuales correspondiente a la estación relacionada. El promedio anual multianual de precipitación en el área es de 1011milímetros.

En la Figura 3-2 se presenta el histograma de precipitación mensual multianual de la estación Vitelma. De la misma manera, se presentan en la siguiente tabla los valores medios mensuales multianuales de las variables climatológicas de la estación Vitelma.

Tabla 3-3 Elementos de Clima Estación Vitelma

ELEMENTOS DE CLIMA ESTACIÓN VITELMA	MESES												VALOR ANUAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Temperatura media	13.1	13.4	13.3	13.2	13.5	13.0	12.7	12.6	13.1	13.2	13.5	13.6	13.2
Humedad Relativa %	75.0	77.0	78.0	80.0	80.0	80.0	81.0	79.0	77.0	79.0	82.0	79.0	79.0
Brillo solar (hr)	107.6	109.3	103.2	86.5	75.1	88.8	87.0	99.3	102.7	81.9	81.4	51.9	1074.7
Evaporación tanque (mm)	59.1	63.8	67.1	59.7	56.3	56.2	52.9	54.9	63.0	52.8	59.4	52.9	698.1

3.2.2 Temperatura del aire

La temperatura media del aire es más o menos constante a lo largo del año. La máxima variación es de 1,0 ° C entre el mes más frío, agosto y el más cálido, diciembre, con 12,6 y 13,6 °C , respectivamente. La temperatura media mensual anual es de 13.2 °C. En la Figura 3-3 se presentan los valores dados en la tabla anterior.

3.2.3 Humedad relativa

La variación de la humedad es escasa, tan sólo del 7,5 % entre el mes más seco y el más húmedo, enero y noviembre, La humedad relativa media es de 79 %.

3.2.4 Brillo solar

Las horas de brillo solar varían dentro del año y se aprecian diferencias marcadas en algunos meses con respecto a la media mensual anual. Los meses de mayor presencia de sol son enero, febrero y marzo, y agosto y septiembre con valores cercanos a las 100 horas cada uno. El mes en que se observa menos el sol es diciembre, con cerca de 50 horas de brillo, es decir, el 50 5 de los meses a que se hizo mención antes. Los valores mensuales se aprecian en la Tabla 3-3 y la variación dentro del año en la Figura 3-5.

3.2.5 Evaporación

Los valores de evaporación corresponden a los obtenidos de mediciones directas en tanque, en la estación Vitelma. Los valores más altos de evaporación ocurren en los meses de febrero, marzo y septiembre, en los cuales se conjugan las temperaturas altas y los menores valores de humedad relativa. Las cifras para estos meses están cercanas a 63 mm. El total anual es de 698 mm.

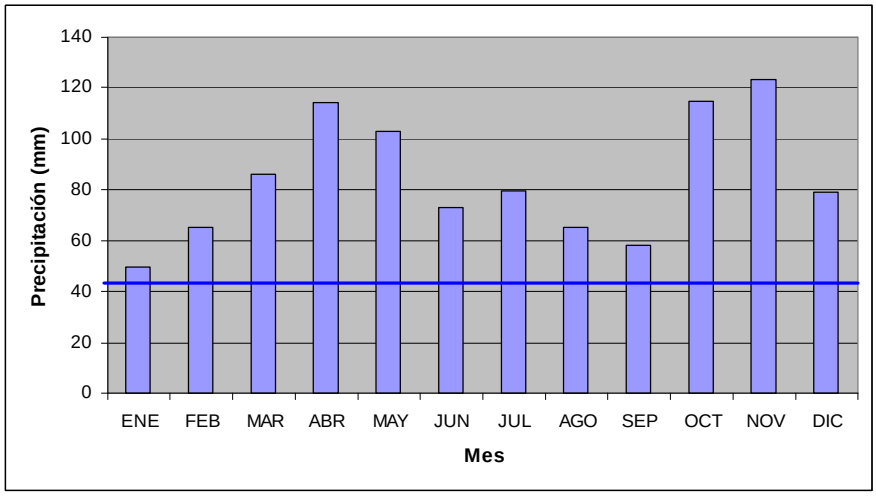


Figura 3-2 Histograma de precipitación total mensual (mm) Estación Vitelma

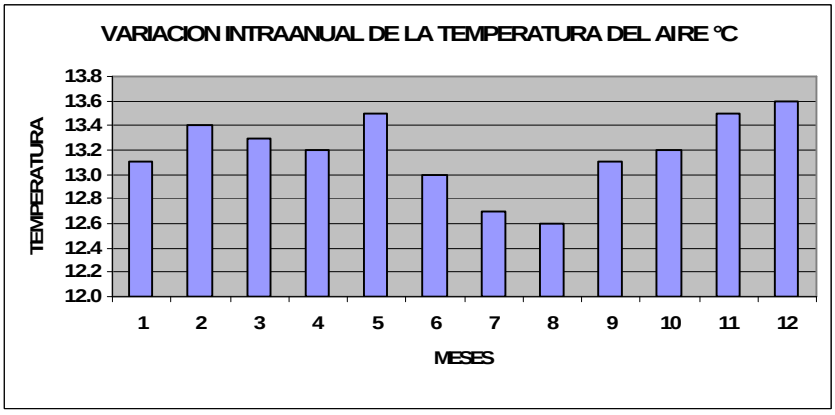


Figura 3-3 Temperatura del aire

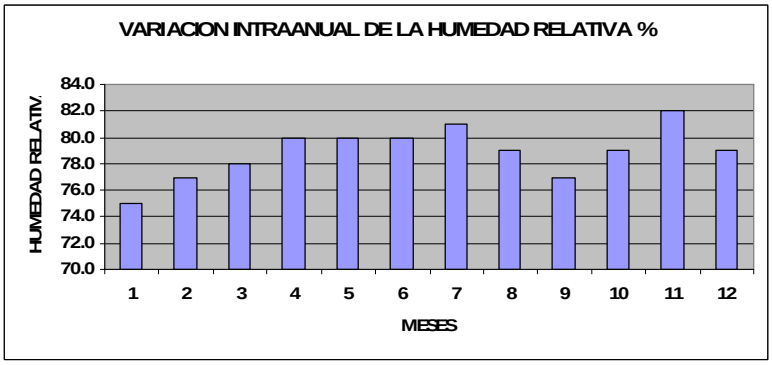


Figura 3-4 Variación de humedad relativa

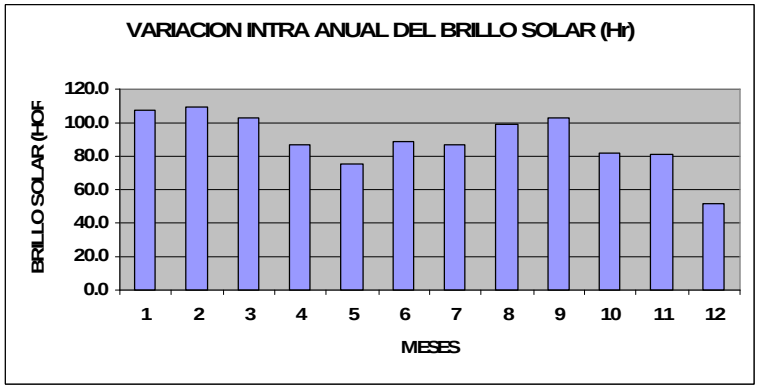


Figura 3-5 Variación brillo solar

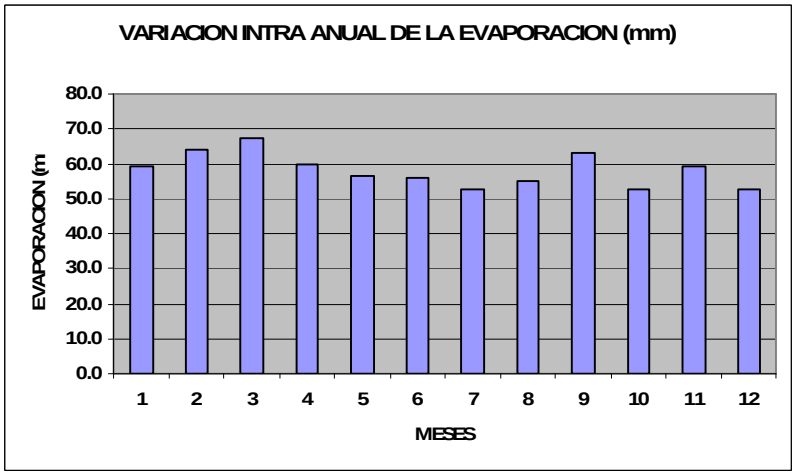


Figura 3-6 Variación evaporación

4 ESTUDIOS GEOAMBIENTALES

El Barrio El Consuelo se localiza en el piedemonte de la Serranía de Guadalupe – Chipaque, en el borde urbano centro oriental de la ciudad de Bogotá. Se encuentra a unos 100 metros por encima del nivel promedio de la superficie plana a ondulada de la Sabana de Bogotá.

La topografía es de pendientes acentuadas, con presencia de canales de drenaje natural de condición de 1er. A 2º. Orden. Estos canales no presentan caudal permanente, y actúan como drenajes durante episodios de lluvias moderadas a altas.

4.1 GEOLOGÍA REGIONAL

El Río San Francisco establece el límite entre los cerros de Monserrate y Guadalupe. El sitio de interés se encuentra un tanto al sur de la localidad de La Concordia. Igualmente es de resaltar la interpretación de la posición invertida de toda la secuencia de la Formación Guadalupe – Guaduas y Cacho (¿?), según Ingeominas (1999). Ver **Figura 4-1**.

Obsérvese el contacto fallado entre las formaciones Guadalupe (Ksgs) y Guaduas (TKg), al igual el trazo con color naranja de la Formación Cacho (Tpc).

En la Figura 4-2, Mapa Geológico de Cundinamarca, se puede observar el trazo continuo y flexurado de la formación Cacho hacia el borde de la Sabana. Cabe resaltar que en la fotografía aérea, el cambio en el rumbo de la mencionada formación, obedece mejor a una dislocación tectónica, asociada a la denominada Falla Inversa de Bogotá (¿?).

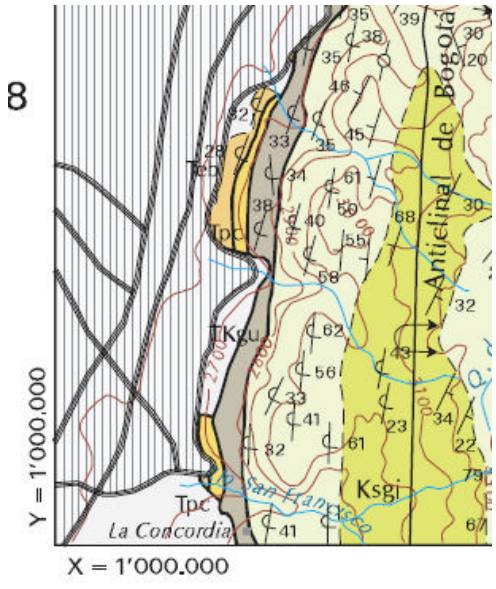


Figura 4-1 Mapa Geológico al norte del Sitio de Interés, tomado de Ingeominas (1999), Plancha K-11, Zipaquira.



Figura 4-2 Mapa Geológico del sitio de Interés, tomado de Ingeominas (1999), Mapa Geológico del Departamento de Cundinamarca.

4.1.1 Estratigrafía regional

La descripción de las unidades estratigráficas corresponde fundamentalmente a la presentada por Ingeominas (1999, Geología del Departamento de Cundinamarca y 2004, Mapa Geológico y Memoria Explicativa de la Plancha 246-Fusagasuga,). A continuación se presenta una descripción general de cada una de las formaciones, orden ascendente de antiguas a recientes:

4.1.1.1 Formación Guadalupe Superior (Ksgs):

En la parte superior (correspondiente a la que compone el flanco occidental de la Serranía de Guadalupe), aflora arenisca cuarzosa, dura a friable, de grano medio a grueso, gris clara, localmente maciza, comúnmente con estratificación cruzada, en la parte media, limolita cuarzosa, silícea, en capas delgadas y localmente arcillolita limosa gris oscura; en la parte inferior, arenisca cuarzosa, generalmente maciza, de grano medio, gris claro y localmente arcillolita, gris oscura.

4.1.1.2 Formación Guaduas (TKgu):

Arcillolita y limolita arcillosa, abigarrada, con areniscas cuarzosa, de grano fino a medio, comúnmente friable, localmente con estratificación cruzada; en la parte superior comúnmente gris rojiza, en la parte inferior hay mucho carbón.

La Formación Guaduas se subdivide en tres niveles: (a) Inferior: con un espesor de 70 m., constituido por arcillolitas grises amarillentas con intercalaciones de areniscas de cuarzo finas, en capas medias a gruesas; suprayacidos por una secuencia alternante de limolitas de cuarzo en capas delgadas a medias y arcillolitas grises oscuras; (b) Media: constituida por areniscas de cuarzo, de granos finos a gruesos, en capas muy gruesas plano paralelas a ondulosas, con intercalaciones de arcillolitas grises, oscuras y amarillentas; (c) Superior: Consta de lodolitas rojas, con esporádicas intercalaciones de arenisca de cuarzo. El espesor estimado para toda la formación es del orden de 500 m,

4.1.1.3 Formación Cacho:

Principalmente arenisca cuarzosa, de grano medio, gris clara a gris naranja, estratificación cruzada común, localmente capas ínter-estratificadas de conglomerados con cantos de cuarzo de veta; localmente hay dos miembros de arenisca separadas por una capa de arcillolita limosa.

En la memoria explicativa de la Plancha 208, de Ingeominas, asume que el segmento inferior de la Formación Bogotá al occidente de la cordillera Oriental es equivalente con la Formación Cacho, que aflora en el oriente, y descrita en la Plancha K-11, Zipaquira.

4.1.1.4 Depósitos Recientes:

Corresponden principalmente a acumulaciones Glacio-fluviales (Qgf) y coluviales (Qc). Las primeras conformadas principalmente hacia los fondos de los principales valles (Ríos San Francisco y San Cristóbal), y en la parte inferior y en el empalme con la superficie de la Sabana, se tratan de acumulaciones heterométricas matriz soportados, con bloques líticos de la Formación Guadalupe Superior y tamaños de hasta de 3 m de diámetro. Las acumulaciones coluviales son de extensión moderada a local, y se relacionan a acumulaciones derivadas de movimientos en masa antiguos y a la acumulación de materiales segregados por la acción de la escorrentía. Estos depósitos se concentran principalmente hacia cuencas de 1er y 2º. Orden, a manera de rellenos sin estratificación.

4.1.2 Geomorfología: Formas y Procesos

Coincide con un resalte morfológico dentro de la vertiente occidental de la Serranía de Guadalupe. Se trata de un nivel rocoso de arenisca con intercalaciones de arenisca y arcillolita que producen una sutil saliente morfológica. Lateralmente la secuencia ha sido disecada por canales de 1er orden y se hace notorio. La pendiente de la ladera es de unos 30º en promedio, véase Figura 4-2.

La pendiente del terreno es concordante con el buzamiento de la secuencia rocosa. Se suaviza un tanto, ante la cubierta de material transpuesto hacia el 1/3 y la ½ inferior. El espesor de este suelo es de unos 4 m., el cual cubre de manera variable a la roca o niveles de roca altamente meteorizada.

La ladera actualmente se encuentra integrada a la ciudad, y prácticamente cubierta por viviendas de condición sub-normal. El sistema constructivo tradicional empleado es de

corte en la parte anterior y relleno en la posterior para lograr la nivelación del lote. El sitio inestable corresponde a la parte anterior de una serie de viviendas que se localizan por debajo de un sendero peatonal y de una serie de viviendas. La inestabilidad se relaciona a la concentración de humedad y al desprendimiento de bloque rocosos desde el talud de corte.

El principal proceso de inestabilidad se relaciona al desprendimiento o al deslizamiento local de materiales in situ sobre los planos de estratificación, generado ante el sistema constructivo que se emplea en este tipo de urbanismo. Actualmente la distribución de las viviendas y del camino peatonal se dispone de manera muy estrecha. Simultáneamente es evidente que el fenómeno puede propagarse hacia el camino y viviendas que se localizan en la parte topográficamente alta. Por lo tanto es necesario establecer medidas de control y de corrección del fenómeno de inestabilidad.

4.1.3 Geología Estructural

La interpretación estructural del borde Oriental de la Sabana de Bogota se ha considerado como la expresión de una falla de cabalgamiento o inversa, la cual establece el contacto de la Formación Guadalupe Superior, sobre la Formación Guaduas. a esta falla se le denomina como la **Falla Bogotá**. Se trata de una estructura de condición regional, y con implicación de una importante fracturación en las rocas adyacentes. Esta fractura se localiza en el cambio de la pendiente rocosa rectilínea que establece la Formación Guadalupe, y la pendiente menor o tendida por su menor resistencia a la erosión, le corresponde a la Formación Guaduas.

El bloque oriental, coincide de manera general con el desarrollo de un pliegue tumbado o inverso, denominado como Anticlinal de Bogotá. El occidental, únicamente se encuentra expuesto en una secuencia homoclinal, con buzamientos al E. El espesor de las formaciones es muy irregular, así mismo, los afloramientos se presentan segmentados.

Es importante mencionar que la orientación de los planos de estratificación no es consistente con la expectativa regional. Es decir, en cuanto a la disposición general, de Ingeominas (2002), allí se indica que la secuencia de roca sedimentaria presenta n buzamientos hacia el oriente, y aquí aparece en sentido contrario.

La orientación medida en algunos afloramientos para la estratificación es de 280º/65º

4.2 GEOLOGÍA LOCAL

Dentro del marco de referencia indicado de Geología Regional, se describen a continuación las condiciones particulares del sitio de interés. Cabe recordar que por tratarse de una zona de condición urbana, los afloramientos o exposiciones de los materiales naturales, se restringen básicamente a lo observado en el sitio del fenómeno de inestabilidad en estudio.

El Barrio se localiza sobre una ladera rocosa rectilínea, la cual ha sido afectada de manera generalizada por procesos de remoción en masa, relacionada adicionalmente a la roca meteorizada, y a la disposición estructural de la roca. En la parte superior de la ladera se observaron alguno afloramientos que comprenden roca intensamente fracturada, o brecha cataclástica. Esta condición debe estar relacionada a la presencia y y condición tectónica impuesta por la Falla Bogotá.

Es evidente que los afloramientos principales corresponden a los niveles de rocas “duras” o resistentes relativamente a los procesos naturales. Las secuencias donde predominan arcillolitas o lodolitas han desarrollado mayores espesores de suelos residuales y meteorización en general. De todas maneras cabe recordar que las rocas que se encuentran en el sitio de influencia son de condición blanda en general.

4.2.1 Litología y suelos

4.2.1.1 Formación Guaduas (TKgu)

Se asume como material perteneciente a esta formación y representada como intercalaciones de niveles de arenisca cuarzosa amarillenta algo rojiza y de niveles de arcillolita abigarrada con colores morado y gris a habano, con textura pastosa, y masiva. La arenisca es de dureza moderada ligeramente friable. La arcillolita es blanda a firme cuando seca, y plástica al humedecerse.

Al meteorizarse presenta una disminución notoria en su dureza y resistencia, y cambia a colores rojizos y naranja. El espesor observado de roca meteorizada es de 2 a 4 m, y su distribución dentro de la ladera es variable ante el desplazamiento y deslizamientos que han removido parcial a totalmente esta fracción de material.

En el sitio de estudio y dentro del área afectada por inestabilidad, la roca meteorizada se ha identificado en las perforaciones y en los apiques realizados sobre la ladera rectilínea. Se dispone y conserva en la parte superior de la ladera, donde conforma el escarpe superior, y donde aún la inestabilidad no ha provocado su transposición. También fue encontrada en las perforaciones y en los apiques de investigación del sub-suelo, con profundidades variables hasta de unos 2 a 4 m.

4.2.1.2 Depósito de Deslizamiento (Qdd):

Consiste del material desprendido o transpuesto a partir de la roca meteorizada, suelos residuales y orgánicos que constituían inicialmente toda la cubierta de la ladera. Se trata de arcilla limosa amarilla rojiza mezclada en algunas ocasiones con suelo orgánico y raíces. Se aprecia tanto en la fotografía aérea mencionada, como en la actualidad, donde conforma la porción inferior de la ladera inestable, véase Plano Geológico.

4.2.2 Geomorfología

El Barrio El Consuelo se localiza en un lomo rocoso de orientación aproximada NS, y de un ancho de hasta unos 200 m y longitud de unos 500 m. Hacia el oriente, limita contra una depresión moderada, para luego continuar la ladera rocosa escarpada que conforma la formación Guadalupe Superior. Hacia el occidente, la ladera de interés tiene pendiente acentuada de unos 35º, y luego se prolonga en forma de un terreno irregular con canales de 1er y 2º orden que drenan directamente hacia la Sabana. Hacia el occidente toda el área presenta una cubierta urbana lo cual hace difícil identificar algún elemento estructural.

Se trata de un nivel rocoso de arenisca y de intercalaciones de arenisca y arcillolita que producen una sutil saliente morfológica. Lateralmente la secuencia ha sido disecada por canales de 1er orden y se hace notorio. La pendiente de la ladera es de unos 35º en promedio.

Se trata de un nivel rocoso de arenisca y de intercalaciones de arenisca y arcillolita que producen una sutil saliente morfológica. Lateralmente la secuencia ha sido disecada por canales de 1er orden. La pendiente de la ladera es de unos 35º en promedio, véase Figura 4-3 , Fotointerpretación de la Imagen No. 0112, vuelo C1131.

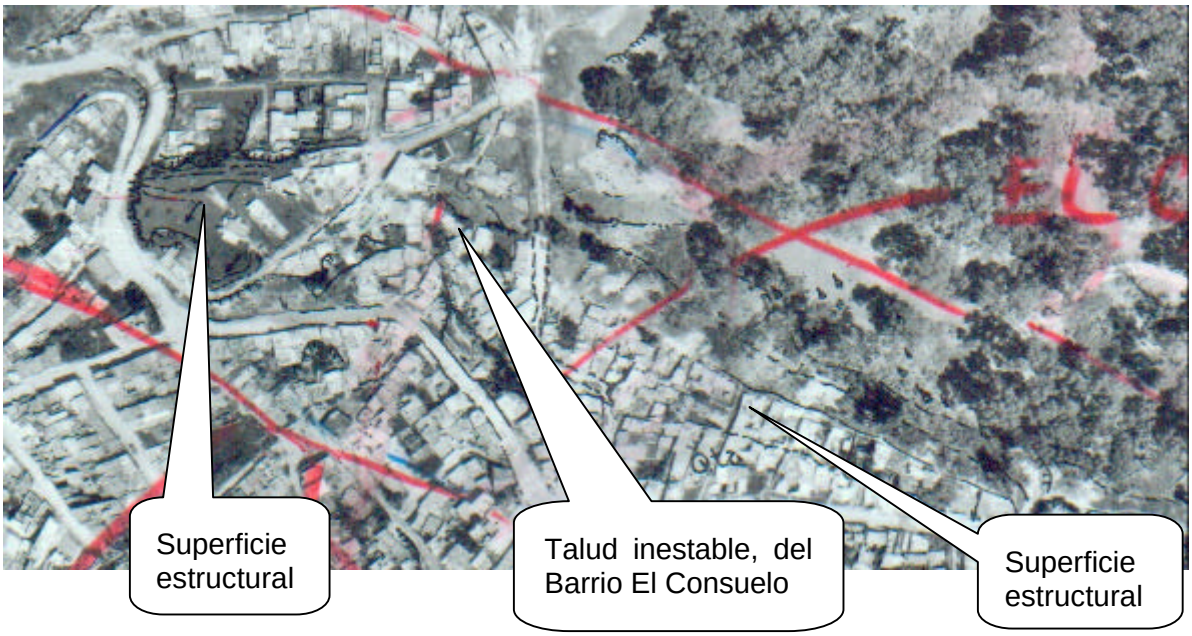


Figura 4-3 Fotointerpretación de la imagen No. 0112, vuelo C1131.

La ladera actualmente se encuentra integrada a la ciudad, y prácticamente cubierta por viviendas de condición sub-normal. El sistema constructivo tradicional empleado es de corte en la parte anterior y relleno en la posterior para lograr la nivelación del lote. La inestabilidad se relaciona a la cubierta de roca meteorizada y presencia de una fracción de roca fracturada.

La condición de inestabilidad se presentó inicialmente en el extremo norte de la ladera. En la fotografía aérea se identifica la inestabilidad y ausencia de viviendas para la imagen del año de 1980. Actualmente, esa parte de la ladera ha sido intervenida, y la inestabilidad se ha controlado mediante la implementación de algunas baterías de gaviones a manera de muros de pata. Esta obra no se prolongó e incluyó el tramo que cubre este estudio.

Posteriormente se extendió la inestabilidad hacia el sur de la ladera, afectando una serie de viviendas. Actualmente se identifican por lo menos tres bloques o escarpes incluyendo la corona del movimiento. Estos desplazamiento, seguramente propagaron desde la parte inferior de la ladera hacia arriba. El modelo que se puede establecer coincide con un mecanismo de un movimiento rotacional, con desarrollo retrogresivo.

Ni en la banca de vía, ni en las viviendas que se localizan en el costado opuesto del sitio inestable se exponen condiciones de deformación o agrietamiento. En la fotografía aérea tampoco se encontraron elementos que sugieran una inestabilidad de mayor extensión o propagación. La superficie de deslizamiento no afecta la banca de la calle que sigue el contorno inferior de la zona inestable.

La inestabilidad se relaciona al amplio desarrollo de roca meteorizada, seguramente asociada a una fracturación muy junta que afecta de manera generalizada al macizo rocoso. Se trata de una secuencia de rocas blandas, arcillolitas, con intercalaciones de areniscas en bancos angostos a medianos. El perfil de meteorización tiene hasta unos 4 m de espesor.

La pendiente de la ladera es acentuada, y ante cambios o modificaciones de su condición natural, como seguramente ocurrió ante el corte o explanación para la vía, inmediatamente se originó la inestabilidad. Esta explanación provocó la perdida de soporte inferior a la cubierta de suelo, roca meteorizada y roca fracturada, facilitando de esta manera que se activara el proceso de inestabilidad. Posteriormente, se produjo el desarrollo urbano del barrio, en donde el sistema de construcción en terreno montañoso implica el sistema de corte y relleno, y la modificación e intervención acentuada de las condiciones naturales. La condición de humedad se modifica ante la ausencia inicialmente de acueducto y alcantarillado técnico, así como las modificaciones en el régimen de escorrentia sobre la ladera. Actualmente, el barrio tiene una red adecuada de acueducto y alcantarillado, no obstante ante las condiciones de inestabilidad, muy seguramente, deben existir algunas fugas de agua y de infiltraciones de las aguas servidas.

4.2.3 Estructuras y discontinuidades.

Es importante mencionar que la orientación de los planos de estratificación no es consistente con la expectativa regional. Es decir, en cuanto a la disposición general, de Ingeominas (2002), indica a la secuencia de roca sedimentaria con buzamientos hacia el oriente, y aquí aparece en sentido contrario.

La orientación medida en algunos afloramientos para la estratificación es de 280º/65º. La ladera que respalda al barrio, presentan concordancia entre los planos de la estratificación y la pendiente topográfica. La estratificación es de condición masiva a gruesa en los bancos de arenisca, y mediana a delgada en los de arcillolita. En los afloramientos y en las perforaciones, la roca expone meteorización alta ó intensa hasta moderada. Igualmente es condición general una fracturación junta a muy junta para este macizo rocoso.

En la cima y dentro de una de los lotes afectados por la inestabilidad se aprecia que el talud de corte resultante de la explanación donde se ubica la construcción, aparece roca muy fracturada, hasta poder ser clasificada como una brecha de falla. Inmediatamente por detrás, en otro afloramiento que limita contra la vía que sigue la cima del mencionado filo topográfico, el macizo rocosa observa una disminución en la fracturación. En otro afloramiento observado en el talud derecho del acceso peatonal-escalas, la arcillolita expone igualmente una fracturación importante.

5 MODELO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO INTEGRAL

5.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO Y ENSAYOS DE LABORATORIO

Para determinar las características y propiedades mecánicas del subsuelo en el área de estudio se adelantaron actividades de exploración del subsuelo acordes con el tipo de material que se esperaba según las condiciones geológicas locales descritas anteriormente. Con este fin el trabajo de exploración consistió en la ejecución de cuatro (4) perforaciones mecánicas, ocho (8) apiques y dos (2) trincheras. En la Tabla 5-1 se discrimina la localización de cada exploración y en el ANEXO A presenta los resúmenes gráficos. Ver Fotografía 5.1 y Fotografía 5.2.

Como producto de los trabajos de campo, se obtuvieron muestras inalteradas y muestras alteradas. Sobre estas muestras se realizaron ensayos de laboratorio para clasificación USC, humedad, límites de consistencia, lavado sobre tamiz 200, granulometría, peso unitario, peso específico de sólidos, resistencia al corte y compresión inconfinada. En la Tabla 5-2, se relaciona la cantidad de ensayos de laboratorio ejecutados para el presente estudio.

Los registros de las perforaciones en donde se consignan los parámetros índice y las propiedades mecánicas de los materiales detectados, se encuentran de manera gráfica en el ANEXO A. Las memorias de ensayos de laboratorio hacen parte del ANEXO B.

Tabla 5-1 Localización de Exploraciones

SONDEO	N (M)	E (M)	ALTURA MSNM	PROFUNDIDAD EXCAVACIÓN	
				SUELO	ROCA
AP-1	98292.4761	101020.9015	2858	2.5	0.0
AP-2	98292.8502	101013.5151	2854.41	5.0	2.5
AP-3	98287.7587	101007.1069	2859.5	2.50	0.0
AP-4	101007.7697	98291.4355	2854.6	4.0	2.5
AP-5	98297.7763	101006.3676		1.60	2.50
AP-6	98298.5254	101001.6415	2848.7	1.80	2.50
AP-7	98304.2469	101018.7792	2848.3	1.30	2.50
AP-8	98301.4595	101026.2705	2.853.78	1.80	2.50
S-1	98297.6867	101008.7254	2849.5	10.5	0.0
S-2	98284.9414	101011.5610	2861.5	5.55	2.92
S-3	98293.0340	101003.5264	2853	5.0	0.00
S-4	98299.6877	101020.2204	2851.75	2.4	2.4

Tabla 5-2 Cantidades de ensayos de laboratorio realizados

Ensayo de laboratorio	Cantidad
Contenido de humedad natural	39
Límites de consistencia (LL y LP)	13
Consolidación Unidimensional	1
Lavado sobre tamiz No 200	3
Peso Unitario Suelos	5
Compresión inconfinada	6
Corte Directo humedad natural	1
Corte Directo saturado	1



Fotografía 5.1 Perspectiva del Sector de influencia parcial



Fotografía 5.2 Sitio de extracción-Apique 4.Material de relleno con presencia de raíces.

5.2 CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

La caracterización geomecánica de los materiales, se hizo a partir de los resultados obtenidos en el programa de investigación del subsuelo y ensayos de laboratorio (ANEXO A y ANEXO B).

5.2.1 Perfil geotécnico promedio

Con base en la exploración del subsuelo y el levantamiento geológico se definieron los perfiles promedio representativos del lugar, presentados en el Plano No. 4 y localizados según se muestra en el plano No. 3. En dos de las perforaciones ejecutadas en la parte media - inferior de la ladera se encontraron niveles piezométricos a una profundidad aproximada de 6.0 m bajo la superficie del terreno.

5.2.1.1 Material 1 (Rellenos antrópicos)

Corresponde a la mezcla de desechos de construcción, material orgánico y material tipo residual proveniente de los cortes de explanación para la construcción de las viviendas. Este tipo de material predomina en casi la totalidad de la ladera con un espesor entre 1.0 m y 1.50 m. Sobre este tipo de material se han presentado flujos y pequeños deslizamientos en la ladera, fenómeno acentuado principalmente por las altas pendientes de la zona.

5.2.1.2 Material 2 (suelo residual tipo 1_ limo arcilloso color café)

Corresponde a una capa de suelo arcilloso color café con espesores hasta de 3.0 m. Su peso unitario total promedio es de 1.8 Ton/m³. La cohesión no drenada en condiciones de humedad natural es de 7.0 Ton/m².

5.2.1.3 Material 3 (Suelo residual tipo 2_ Arcilla color amarilla y color gris)

Corresponde a material con diferentes grados de meteorización tipo arcilla. Los niveles más meteorizados se caracterizan por un color amarillo, en tanto que, en los niveles menos meteorizados el color es gris. El peso unitario promedio es de 2.01 Ton/m³. El ángulo de fricción en condiciones de saturación es 29.4 y la cohesión es de 2.7 Ton/m².

5.3 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS Y PROCESOS MORFODINÁMICOS TÍPICOS

En la zona se presenta un amplio desarrollo de roca meteorizada, asociada a una alta fracturación del macizo rocoso. El perfil de meteorización alcanza hasta unos cuatro metros de espesor, constituido por un material limo arcilloso que ofrece una baja resistencia al corte. Adicionalmente, sobre este material se dispone una capa de relleno antrópico que alcanza hasta dos metros.

Dada la alta pendiente de la ladera y la disposición de los materiales residuales y de rellenos dispuestos sobre la roca meteorizada sobre un contacto que buza en el sentido de la pendiente, se han presentado procesos de remoción en masa superficiales cuyos materiales se han acumulado en las partes medias e inferiores de la ladera. Dichos movimientos son del tipo desprendimientos y rotacionales, más bien superficiales y de tamaño acorde con el espesor de estos depósitos.

Al parecer, estos movimientos se acentuaron o detonaron a partir de la modificación de sus condiciones naturales producto de cortes y rellenos ejecutados para la construcción de viviendas en la ladera, desencadenando un movimiento de tipo rotacional con desarrollo retrogresivo.

Debido a estos movimientos, fue necesario reubicar las viviendas localizadas en la parte baja de la ladera, sin embargo, en la vía adyacente no se presenta algún tipo de movimiento, así como en las viviendas localizadas luego de está.

Dadas estas condiciones, los movimientos se acentúan ante el incremento de humedad en los suelos residuales y rellenos dispuestos superficialmente. Aunque durante la etapa de reconocimiento y exploración del subsuelo no se identificaron fugas de agua a lo largo de la ladera, si se encuentran una serie de pozos de alcantarillado y tuberías de conducción de las aguas residuales de las viviendas localizadas en la parte alta de la ladera, las cuales en cualquier momento han podido o pueden intensificar los movimientos, ante eventuales fugas.

5.4 PARÁMETROS GEOMECÁNICOS

A partir de los resultados de la exploración del subsuelo y los ensayos de laboratorio, se procedió a establecer para los materiales que conforman el perfil promedio del subsuelo los parámetros de resistencia más adecuados con el fin de incluirlos en el análisis de estabilidad de las secciones críticas para el sitio de interés.

De acuerdo con lo anterior, los parámetros empleados para los análisis de estabilidad sobre las secciones críticas. En la Tabla 5-3 se resumen los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio.

Tabla 5-3 Parámetros promedios de los Materiales Modelados

Material		**Peso Unitario (kN/m^3)**	**Condiciones saturadas**	
			Cohesión c(kN/m^2)	**Angulo de fricción** ?
Suelo residual	Tipo 1. Limo arcilloso café	20	16	20.4
	Tipo 2. Arcilla amarilla y gris.	20	24	29
Relleno	Arenisca	18	10	16

Tabla 5-4 Resumen de resultados de ensayos de Laboratorio

Material	Nomenclatura	Muestra				USCS	W_n (%)	F (%)	M (%)	C (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	LC (%)	Gs	γ_t (Ton/m³)	γ_d (Ton/m³)	Consolidación unidimensional					Corte Directo Tipo consolidado drenado (CD)				Compresión Inconfinada	
		No.	de	a	Prof. Media (m)													σ'_p (Ton/m²)	RSC	e_o	Cc	Cr	f Wn (°)	C. Wn (Ton/m²)	f Sat. (°)	C. Sat. (Ton/m²)	q_u(Ton/m²)	E_{50}(Ton/m²)
2	TR2	2.0	3.0	3.2	3.1			81.6																				
3	TR2	4.0	5.8	6.0	5.9	CL	12.8				33.9	19.7	14.2															
3	P1	1.0	0.8	1.2	1.0		15.2																					
3	P1	2.0	1.3	1.5	1.4		39.6																					
3	P1	3.0	1.8	2.2	2.0		16.3									2.10												
3	P1	10.0	6.1	6.5	6.3	CL	21.2				29.1	16.9	12.2			2.16												
3	P1	11.0	7.1	7.5	7.3		16.1																					
3	P1	12.0	7.6	8.0	7.8		20.5																					
3	P1	13.0	8.1	8.5	8.3		9.9																					
3	P1	14.0	8.5	10.1	9.3	CL	9.0				33.4	17.6	15.8			2.28	2.05									3.1	6.24	
1	P2	1.0	0.3	0.7	0.5		17.4																					
1	P2	2.0	0.9	1.3	1.1		22.3									2.01												
3	P2	7.0	3.4	4.0	3.7		30.0								2.7	1.93	1.49	48.00	6.73	0.80	0.24	0.03			29.4	2.7	25.40	339.00
3	P2	11.0	6.1	6.5	6.3		20.7				39.3	20.8	18.5															
3	P2	12.0	6.6	7.0	6.8		32.8																					
3	P2	13.0	7.6	8.0	7.8		31.3																					
3	P2	14.0	8.1	8.5	8.3		14.6									2.24												
1	P3	6.0	4.1	4.5	4.3	CL					40.6	21.3	19.3															
2	AP5	2.0	1.3	1.5	1.4	CL					36.3	19.3	17.0															
3	AP1	3.0	1.6	1.8	1.7	CL					29.3	19.5	9.8													10.8	21.59	
2	AP2	1.0	0.6	0.9	0.8		14.2				37.9	20.4	17.6															
2	AP2	2.0	1.4	1.5	1.5		7.9				37.9	20.4	17.6			2.44	2.265										37.04	2134.00
2	AP2	7.0	3.4	4.0	3.7		28.9									1.95	1.51								29.4	12.7	25.40	
2	AP2	1.0	0.6	0.9	0.8	CL	14.2																					
1	AP3	1.0	0.5	0.7	0.6		27.6				51.5	35.3	17.6															
2	AP3	2.0	1.0	1.3	1.2	CL		93.2			19.9	12.5	7.5															
3	AP3	4.0	2.0	2.2	2.1		32.8																					
3	AP3	3.0	1.6	1.9	1.8	MH	35.7				51.5	35.3	16.2				1.22									8.7	17.45	
1	AP4	2.0	0.4	0.6	0.5		7.9									1.91	1.77										19.16	1288.00
3	AP5	1.0	0.4	0.6	0.5	20.1	18.4				37.8	20.1	17.8															
	AP6	1.0						40.4																				
2	AP6	2.0	1.4	1.6	1.5		18.7										1.54									3.5	7.06	
2	AP7	1.0	0.5	0.7	0.6	20.0	27.5				36.5	20.0	16.6															
3	AP8	3.0	1.7	1.8	1.8		12.5																					
3	P3	7.0	4.1	4.5	4.3		17.6																					
3	P3	6.0	4.1	4.5	4.3		15.6				40.6	21.3	19.3															
3	P4	5.0	2.8	3.2	3.0		17.4																					
1	P4	1.0	0.8	1.2	1.0		22.2																					
3.0	AP8	2.0	1.3	1.5	1.4	CL					38.0	23.0	15.0													24.8	4.4	

- **USCS:** Clasificación del material, según el Sistema de clasificación unificado
- **W_n:** Contenido de humedad.
- **LL:** Límite líquido
- **LP:** Límite plástico
- **IP:** Índice de plasticidad
- **LC:** Límite de contracción
- **Gs:** Gravedad específica
- **γ_T :** Peso unitario total.
- **γ_d:** Peso unitario seco.

- **F (%)** Porcentaje de finos
- **A (%)** Porcentaje de Arena
- **G (%)** Porcentaje de Grava

- f **Wn (°)** Angulo de fricción con humedad natural
- **C (Ton/m²) Wn** Cohesión con humedad natural
- f **Sat.** Angulo de fricción saturado.
- **C (Ton/m²) Sat.** Cohesión saturado

- **q_u:** Resistencia a la compresión uniaxial
- **E_{50}:** Módulo de deformación

Material 1 **Relleno antrópico**

Material 2 **Suelo residual,Tipo 1(Limo arcilloso color café)**

Material 3 **Suelo residual,Tipo 2(Arcilla color amarilla y Arcilla de color gris)**

6 EVALUACIÓN DE AMENAZA

6.1 SECCIONES Y MODELO DE ANÁLISIS (MECANISMOS DE FALLA)

Teniendo en cuenta el modelo geológico geotécnico establecido para la zona de estudio, así como las pendientes de la zona, la evaluación de las condiciones de estabilidad contempló deslizamientos de tipo rotacional en suelo.

Las condiciones de estabilidad se evaluaron sobre dos secciones críticas en la zona en que se han presentado desprendimientos de material. Las secciones evaluadas corresponden a las secciones BB, FF y GG., presentadas y localizadas en el plano 5. Estas secciones toman en cuenta la totalidad de las características geométricas y de sobrecarga actuales.

6.2 VALORES EXTREMOS DE VARIABLES ALEATORIAS

A partir de las condiciones geológicas establecidas en el trabajo de exploración y las características geotécnicas evaluadas para los materiales que conforman el área de influencia, se definieron las condiciones relevantes para las variables de tipo aleatorio que más inciden en la estabilidad de los depósitos.

6.2.1 Nivel Freático

Los análisis tomaron en cuenta los niveles piezométricos establecidos durante el proceso de exploración del subsuelo.

6.2.2 Cargas

Las cargas estáticas transmitidas actualmente por las edificaciones fueron evaluadas según los tipos de estructuras identificadas en la parte superior del talud. De acuerdo con esto, la carga máxima transmitida al suelo de fundación corresponde a 20 KN/m², en las áreas de viviendas de dos pisos.

De acuerdo con el Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá, la zona de estudio se ubica hacia lo que se conoce como Zona 1 – Cerros. Para esta zona el parámetro Am tiene un valor de 0,24, para un periodo de retorno Tr = 475 años. Para los análisis de estabilidad se tomo este valor de aceleración horizontal del, lo que por una parte desestima los efectos locales de amplificación en taludes, pero por otra, trabaja con un periodo de retorno de 475, bastante conservador para este tipo de fenómeno.

6.3 ESCENARIOS DE ANÁLISIS

Teniendo en cuenta el objeto del estudio el escenario analizado corresponde al escenario actual que contempla la geometría y sobrecargas existentes y sin aplicar sismo.

6.4 MÉTODO Y RESULTADOS DE ANÁLISIS EN TÉRMINOS DE FACTORES DE SEGURIDAD Y/O PROBABILIDADES DE FALLA

6.4.1 Métodos de Análisis

Los análisis consistieron en la determinación de la superficie de falla crítica para las secciones de análisis, ejecutándolos con el programa Slide v 5.0 (Rocscience Inc., 2003), el cual realiza análisis de equilibrio límite, para los estos análisis se utilizó el criterio de resistencia de Mohr – Coulomb y el modelo de Bishop.

6.5 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

Para el presente estudio los criterios de evaluación de amenaza usados fueron los que se proponen en la resolución 227 de 2006.

Para condiciones normales:

CONDICIONES NORMALES	
Amenaza	***F.S***
BAJA	> 1.9
MEDIA	1.2-1.9
ALTA	<1.2

Para condiciones extremas:

CONDICIONES EXTREMAS	
Amenaza	***F.S (50Años)***
BAJA	> 1.3
MEDIA	1.0-1.3
ALTA	<1.0

6.6 ANÁLISIS DE AMENAZA POR FRM

Luego de analizadas las secciones para cada escenario definido se procedió a realizar la calificación de amenaza utilizando los criterios definidos en la resolución 227 de 2006. De los resultados obtenidos (ver Tabla 6-1) se muestra que para condiciones normales en la condición actual la amenaza es alta, lo cual se evidencia en el terreno pues ya se han presentado movimientos. De acuerdo con esto, se ratifica la necesidad de construir obras de corrección y mitigación en el talud de corte afectado tal como se menciona en el concepto de la DPAE.

6.7 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA

La zonificación de la amenaza se realizó de acuerdo con los valores de factor de seguridad obtenidos para las distintas superficies de falla a lo largo del talud y utilizando los criterios de amenaza que se ajustan a los requisitos de la resolución 227 de 2006, tal

como se presentó en el numeral anterior. Como resultado de esto, se obtuvo el plano de amenaza correspondiente (Ver Plano No. 6).

Con base en los resultados obtenidos se concluyó que la amenaza para la condición actual es alta en el 64.0% del área y media en el 36.0%.

Tabla 6-1 Factores de seguridad para los escenarios analizados

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SITIO CRÍTICO DE RIESGO BARRIO CONSUELO								
SECCIÓN	CASO	ESTADO	CONDICICIÓN	NIVEL FREATICO		SISMO		F de S (Bishop Simplificado)
				ACTUAL	*CRITICO*	*0.00*	*0.24*	
B-B	*1*	CONDICIÓN SIN OBRAS	CONDICIONES NORMALES	*X*		*X*		1.15

CONDICIONES NORMALES

>1.9	Amenaza baja
1.2-1.90	Amenaza Media
<1.2	Amenaza Alta

CONDICIONES EXTREMAS

>1.3	Amenaza baja
1.0-1.3	Amenaza Media
<1.0	Amenaza Alta

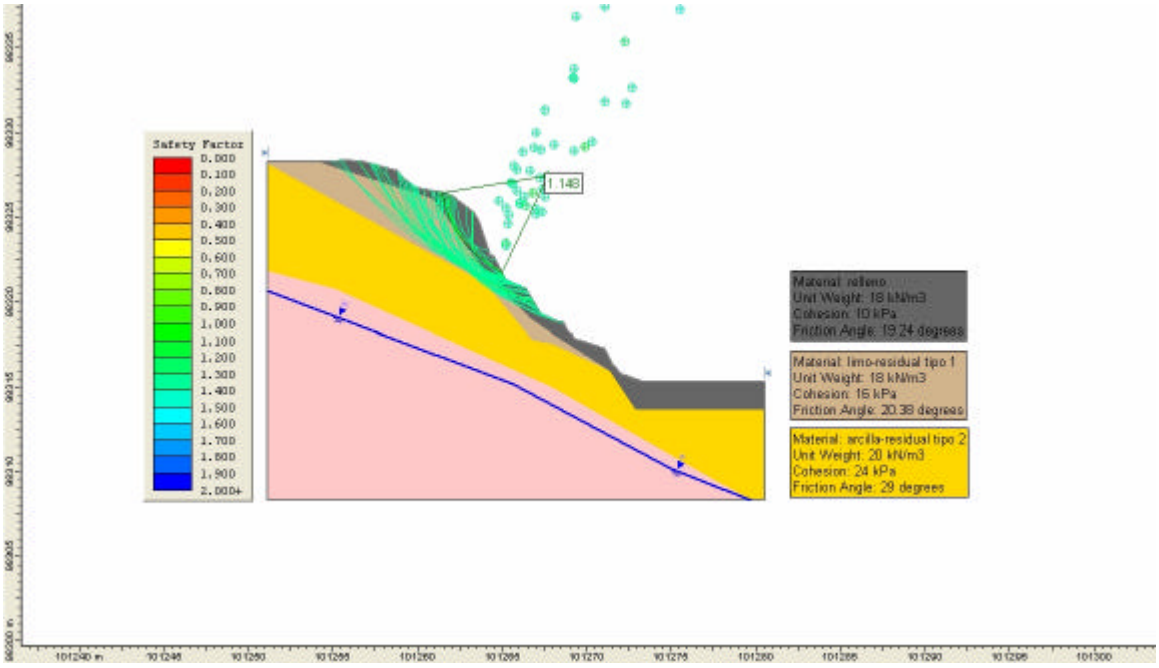


Figura 6.1 Sección B-B_ condiciones normales sin obras

7 PLAN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN

7.1 REQUERIMIENTO DE OBRAS DE MITIGACIÓN

De acuerdo con las condiciones de amenaza determinadas para la zona de estudio, se hace necesario el desarrollo de obras de mitigación que reduzcan el riesgo. Las obras planteadas incluyen:

- Perfilado del talud a dos pendientes 25º y 45º, retirando todo el material desprendido y el material susceptible de deslizarse. En las secciones presentadas en el plano de obras se muestran las áreas de excavación en las diferentes zonas de la ladera.

- Construcción de dos hileras de pilotes preexcavados construidos en concreto reforzado, con un diámetro de 25 cm. Los pilotes de se localizan hacia la parte alta y media de la ladera, según se presenta en el plano de obras. La hilera de pilotes localizados en la parte superior tienen una longitud de 8 m y separación de 0.70 m, cuya cota superior corresponde a la 2861 msnm. Por su parte, la hilera de pilotes localizados hacia la parte media de la ladera tienen una longitud de 5.0 m y separación de 1.00 m centro a centro, cuya cota superior es la 2855.5 msnm. Los pilotes se unen en su parte superior mediante una viga de amarre de sección transversal de 25 x 25 cm. La localización y detalles de esta medida se presentan en los planos de obras.

- Construcción de un muro de gaviones de tres niveles con contrafuertes, localizado en la parte inferior de la ladera con reemplazo del material existente detrás de este. Su construcción requiere la demolición de un muro en gavión existente en la parte inferior de la ladera en su sector Norte, estructura que presenta signos de deterioro importantes como lo es el rompimiento de la malla que conforma los gaviones. Ver plano de obras.

- Un sistema de trincheras drenantes que atraviesan longitudinalmente la ladera y descargan en un par de filtros localizados detrás de los muros en gaviones, los cuales a su vez descargan en cajas de inspección y por medio de tubería en PVC de ?≥ 6” se conduce al pozo de alcantarillado localizado sobre la vía principal.

- Empradización general de la ladera por medio de cespedón, sostenida con malla de triple torsión y taches de acero.

El ANEXO C presenta la memoria de cálculo del muro en gaviones y de los pilotes.

7.2 VIABILIDAD DE OBRAS DE MITIGACIÓN

La ejecución de las obras planteadas requiere la reubicación de tres viviendas localizadas en la parte alta de la ladera. Estas viviendas se encuentran dentro de la manzana 63 y se identifican con el número predial 13, 15 y 16. Adicionalmente es necesaria la adquisición de predios completos y predios parciales, estos se encuentran dentro de la manzana 13 y se identifican con el número predial 11, 52, 13,14 y 20. El predio 12, no se toma en cuenta ya que la vivienda de este predio ya ha sido reubicada. Ver plano de obras.

7.3 RESULTADOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CON OBRAS DE MITIGACIÓN

La implementación de las obras planteadas en el numeral anterior permite incrementar el factor de seguridad para fenómenos de remoción en masa por encima de 1.3 evaluado bajo las condiciones más críticas que podrían presentarse luego de la construcción de las obras. Este hecho implica que luego de construida la totalidad de las obras planteadas el área se encuentre en el rango de amenaza baja por fenómenos de remoción en masa.

La Figura 7.1, la Figura 7.2,
la

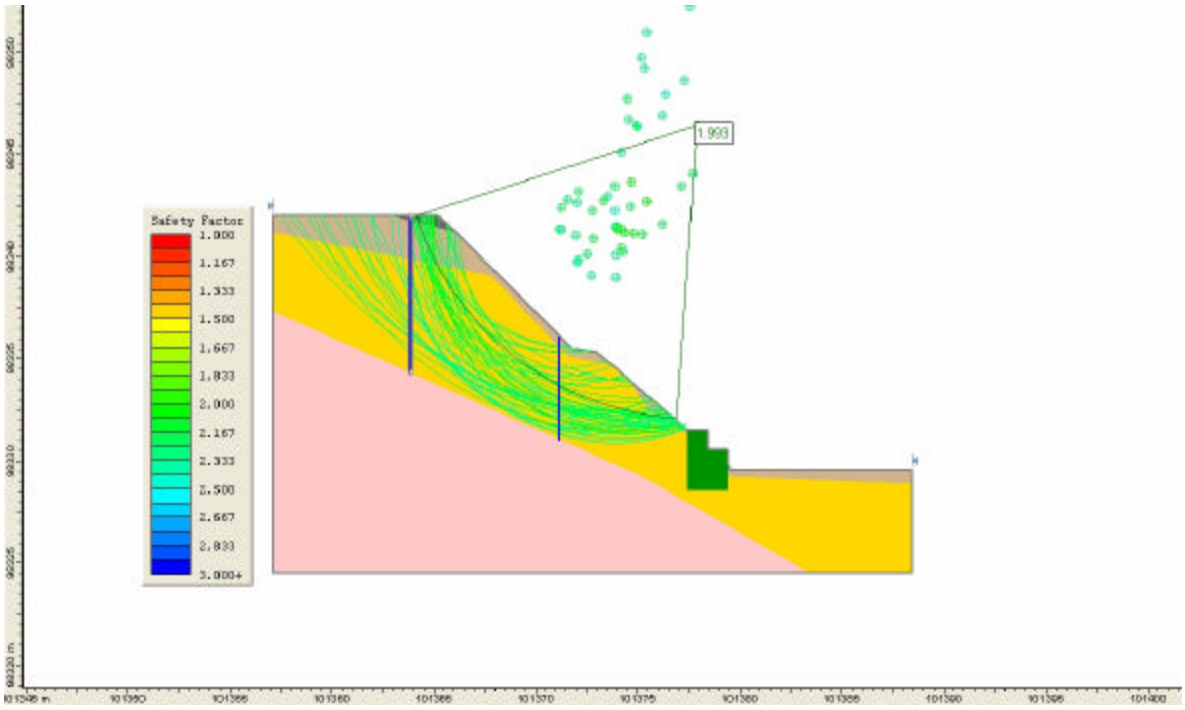


Figura 7.3 y la Figura 7.4, corresponden a los resultados de los análisis de estabilidad contemplando la totalidad de las obras propuestas sobre las secciones de análisis, presentadas en el Plano No. 55 No. 7. La Tabla 7-1 recopila los valores obtenidos en cada evaluación.

Tabla 7-1 Resultados Análisis de estabilidad con Obras de Mitigación

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SITIO CRÍTICO DE RIESGO BARRIO CONSUELO								
SECCIÓN	CASO	ESTADO	CONDICICIÓN	NIVEL FREATICO		SISMO		F de S (Bishop Simplificado)
				ACTUAL	*CRITICO*	*0.00*	*0.24*	
B-B	*1*	CONDICIÓN CON OBRAS	CONDICIONES NORMALES	*X*		*X*		1.84
	2	*CONDICIÓNC ON OBRAS*	*CONDICIONES EXTREMAS*	X			X	1.36
C-C	*1*	CONDICIÓN CON OBRAS	CONDICIONES NORMALES	*X*		*X*		1.99
	2	*CONDICIÓNC ON OBRAS*	*CONDICIONES EXTREMAS*	X			X	1.44
G-G	*1*	CONDICIÓN CON OBRAS	CONDICIONES NORMALES	*X*		*X*		1.76
	2	*CONDICIÓNC ON OBRAS*	*CONDICIONES EXTREMAS*	X			X	1.44

CONDICIONES EXTREMAS

>1.3	Amenaza baja
1.0-1.3	Amenaza Media
<1.0	Amenaza Alta

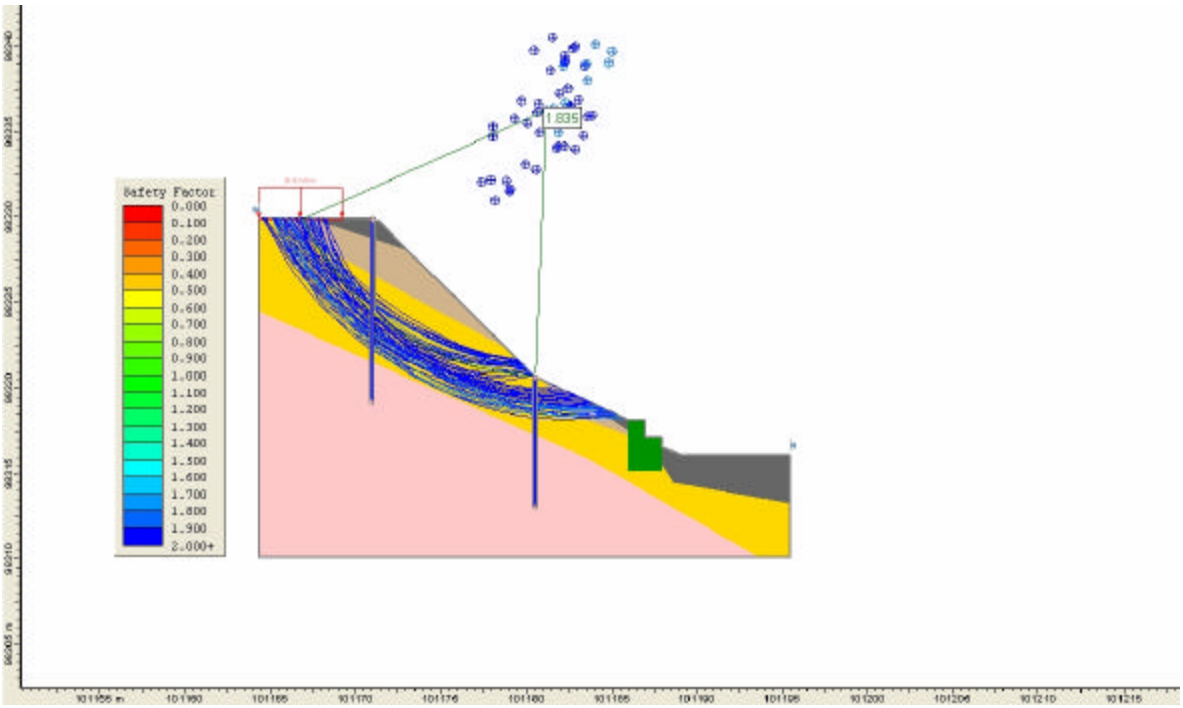


Figura 7.1 Sección B-B_ condición con obras y sin sismo.

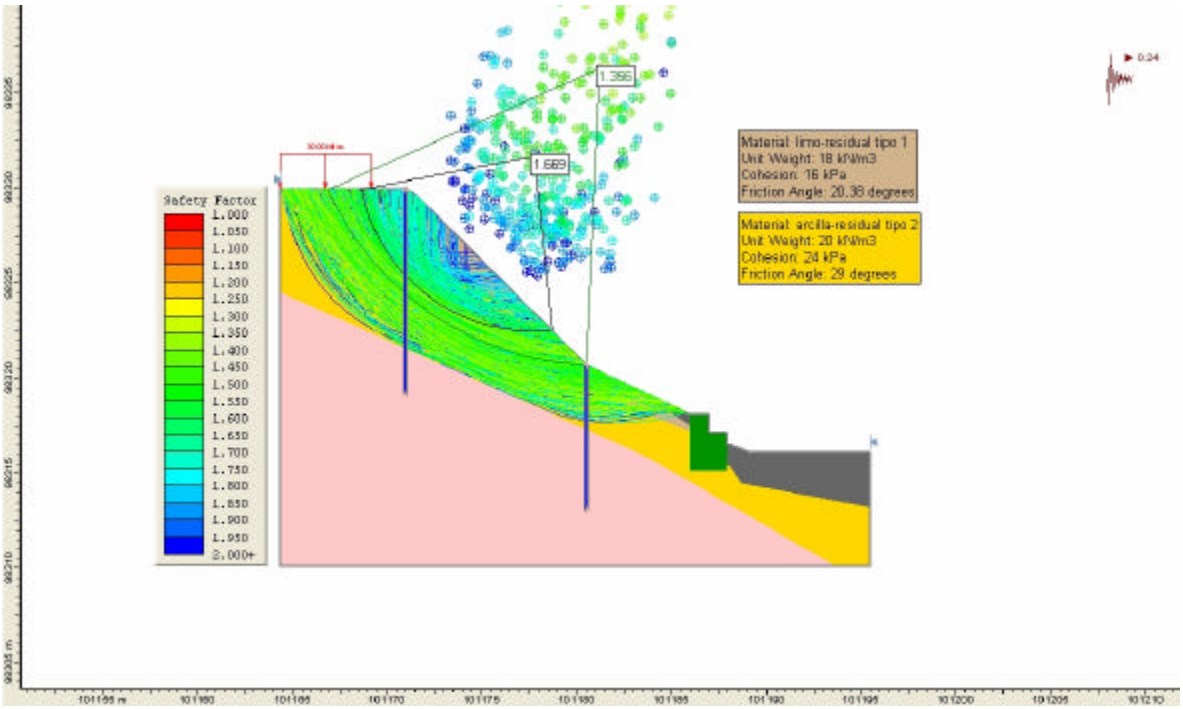


Figura 7.2 Sección B-B_ condición con obras y sismo.

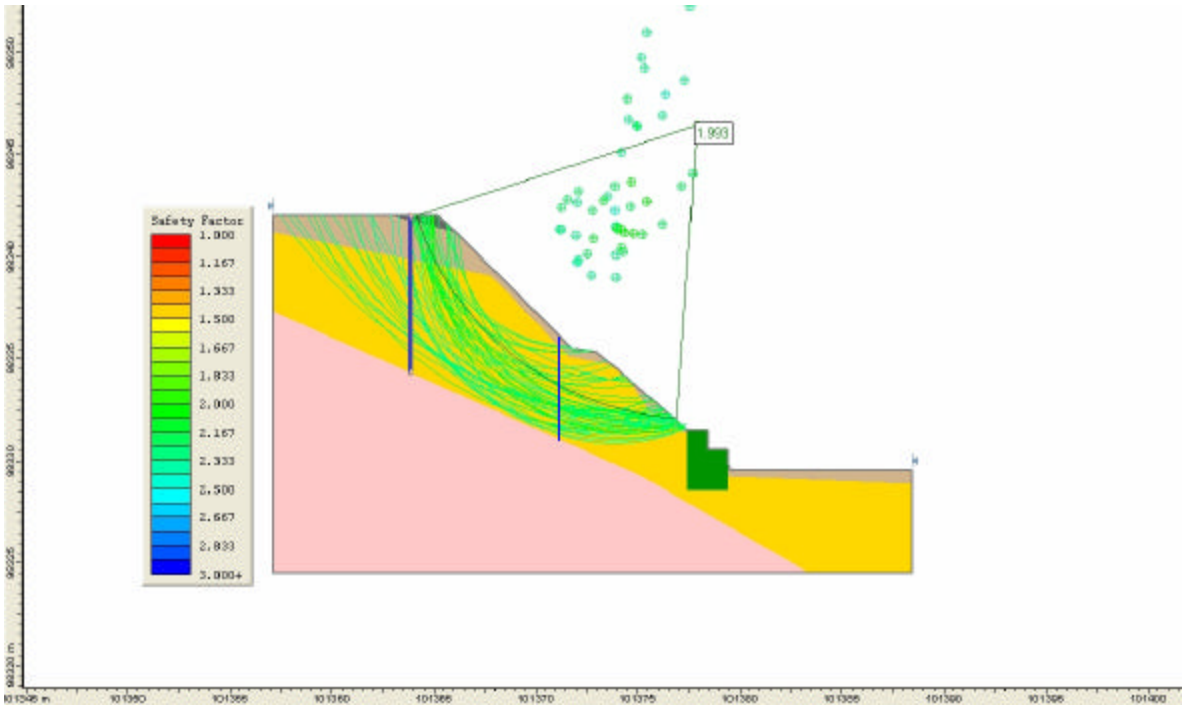


Figura 7.3 Sección F-F_ Condición con obras sin sismo.

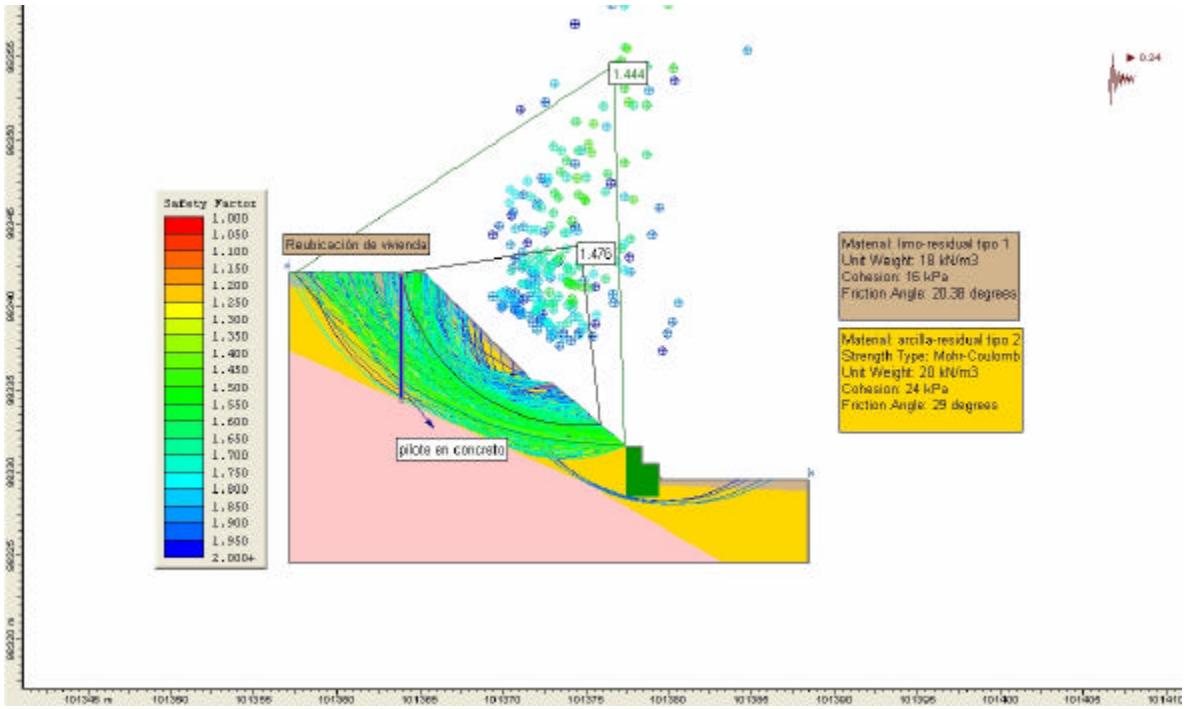


Figura 7.4 Sección F-F_ Condición con obras y sismo.

Figura 7.5 Sección G-G_ Condición con obras sin sismo.

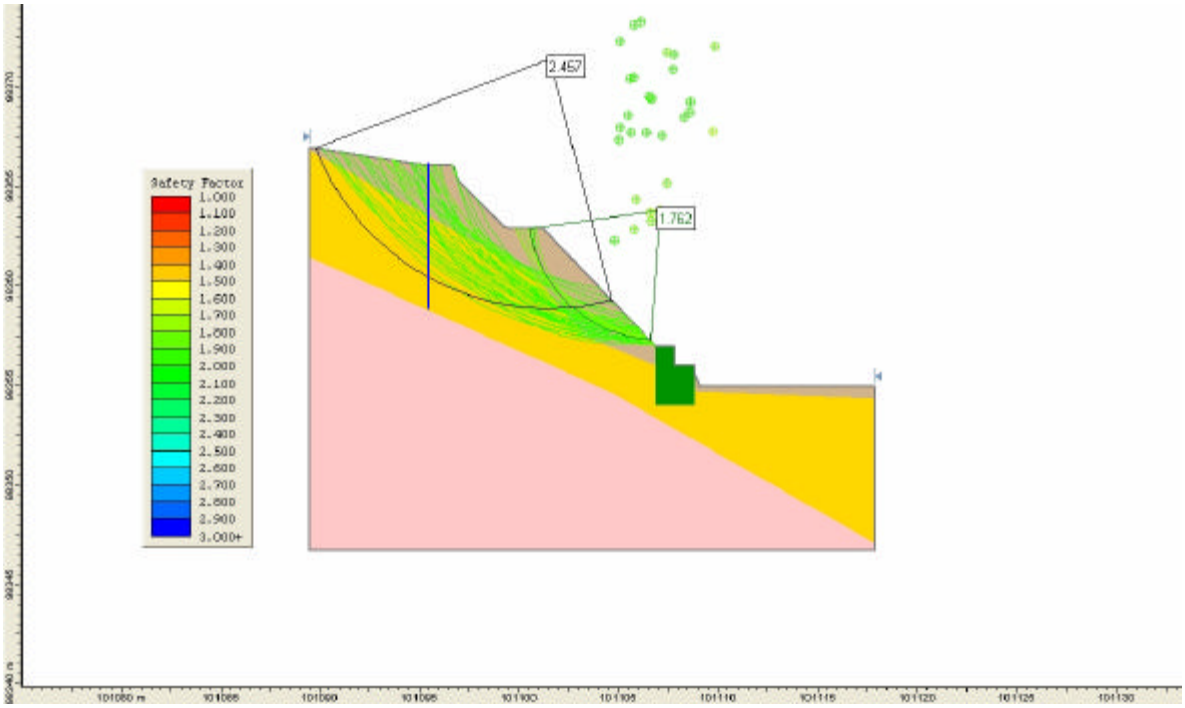
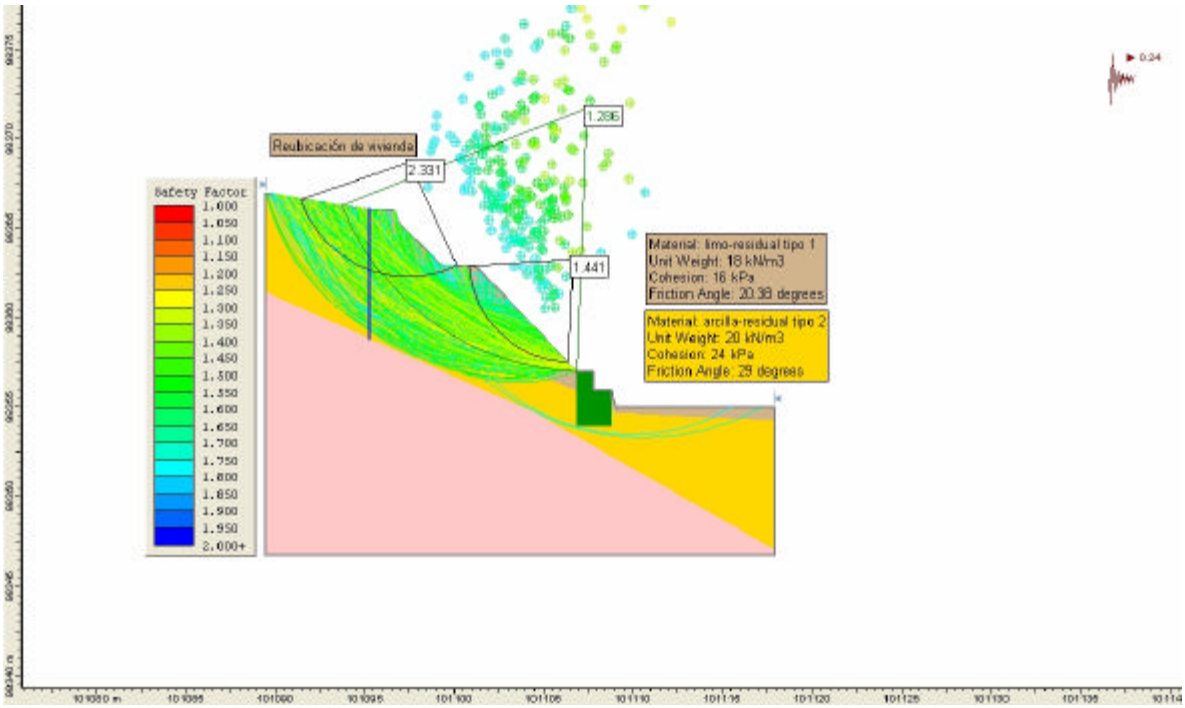


Figura 7.6 Sección G-G_ Condición con obras sin sismo.



8 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO

En la tabla 8-1 se presentan las cantidades de obra de las medidas de mitigación de riesgo de acuerdo con las características descritas en el numeral anterior y plasmadas en el plano de obras. El presupuesto se obtuvo al multiplicar las cantidades de obra (ANEXO D) por el valor unitario de cada ítem. El ANEXO E, muestra las especificaciones técnicas de cada ítem.

Tabla 8-1 Presupuesto

OBRAS DE MITIGACIÓN - EL CONSUELO				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Valor Total**
Localización y Replanteo	M2	640.00	$ 1,150	$ 736,000
Campamento, movilización de Maquinaria y Equipo	GL	1.00	$ 6,000,000	$ 6,000,000
Aislamiento y Protección de la Zona Intervenida, H=2.0m en repisa y lona verde	ML	86.00	$ 9,800	$ 842,800
Demolición muro en Gavión	M3	82.00	$ 23,500	$ 1,927,000
Demolición muros en mampostería y restauración, retiro o cambio de líneas de servicios públicos	GL	1.00	$ 500,000	$ 500,000
Demolición zona dura	M2	9.00	$ 6,463	$ 58,167
Movilización temporal y colocación final de postes	UN	3.00	$ 220,000	$ 660,000
Descapote, excavación, nivelación y perfilado del terreno en suelo (incluye retiro a sitio de disposición)	M3	755.36	$ 38,000	$ 28,703,680
Construcción muro en gavión	M3	200.00	$ 120,000	$ 24,000,000
Geotextil NT-2000	M3	353.60	$ 3,657	$ 1,293,115
Relleno en recebo compactado B-2000	M3	87.33	$ 22,000	$ 1,921,260
Empradización (incluye tierra negra)	M2	633.00	$ 10,400	$ 6,583,200
Malla triple torsión para empradizar	M2	633.00	$ 9,200	$ 5,823,600
Taches	ML	402.50	$ 3,000	$ 1,207,500
Pilotes preexcavados en concreto reforzado ϕ = 25 cm.	ML	596.00	$ 36,000	$ 21,456,000
Filtro F1 con tubería (incluye material según especificación, tubo PVC ranurado de ϕ=4" e instalación)	ML	19.56	$ 53,800	$ 1,052,328
Filtro F2 con tubería (incluye material según especificación, tubo PVC ranurado de ϕ=4" e instalación)	ML	19.91	$ 63,580	$ 1,265,878
Trinchera drenante (T1 y T2) sin tubería (incluye excavación, material según especificación e instalación)	ML	88.00	$ 61,300	$ 5,394,400
Tubería entre cajas de inspección y pozo de alcantarillado (incluye excavación, relleno en material seleccionado y tubería en PVC ϕ=6")	ML	7.70	$ 36,000	$ 277,200
Caja de inspección en concreto	UN	2.00	$ 380,000	$ 760,000
Aseo general	M2	640.00	$ 3,159	$ 2,021,760
			TOTAL COSTOS DIRECTOS	$ 112,483,888
ADMINISTRACION		8%		$ 8,998,711
IMPREVISTOS		7%		$ 7,873,872
UTILIDADES		10%		$ 11,248,389
IVA SOBRE UTILIDADES		16%		$ 1,799,742
TOTAL PRESUPUESTO				**$ 142,404,602**

REUBICACIÓN DE VIVIENDAS - EL CONSUELO				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Valor Total**
Reubicación de viviendas	UND	3.00	$ 21,685,000	$ 65,055,000
Compra de predios	M2	559.54	$ 500,000	$ 279,770,000
TOTAL COSTOS				**$ 344,825,000**

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 CONCLUSIONES

Producto del estudio realizado, se encontraron entre otros los siguientes aspectos:

- A partir de las actividades de exploración del subsuelo, se estableció un perfil geotécnico promedio del subsuelo en el área del sitio crítico El Consuelo. Material 1 (Rellenos antrópicos), Material 2 (Suelo residual tipo 1, limo arcilloso color café), Material 2 (Suelo residual tipo 2, arcilla color amarillo y gris).
- Teniendo en cuenta el modelo geológico geotécnico establecido para la zona de estudio, así como las pendientes de la zona y la susceptibilidad del material a los procesos erosivos, la evaluación de las condiciones de estabilidad contempló deslizamientos de tipo rotacional del suelo residual tipo 1 y los rellenos dispuestos sobre estos.

9.2 RECOMENDACIONES

- Las medidas de mitigación propuestas comprenden: El perfilado del talud natural, dos hileras de pilotes en concreto, dos muros en gaviones localizados en la parte inferior de la ladera y un sistema de filtros distribuidos en la totalidad del área.
- El análisis de estabilidad de la zona con la construcción de las obras de mitigación arroja factores de seguridad superiores a 1.3 en condiciones críticas, lo cual cumple con lo requisitos exigidos en la resolución 2.27 de 2006. Estos significa que las nuevas condiciones de amenaza del sitio serán bajas, luego de la construcción de la totalidad de las obras planteadas.
- Para la viabilidad del proyecto, se requiere la adquisición de predios y reubicación de tres viviendas, localizadas en la parte alta del talud.

10 BIBLIOGRAFÍA

- INGEOMINAS - UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. (1997). Microzonificación sísmica de Santa fé de Bogotá. Agosto.
- AIS, INGEOMINAS, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES (1996), “Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia”, Comité AIS 300 – Amenaza Sísmica, Bogotá.
- INGEOCIM Ltda (1999). “Zonificación de Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Diferentes Localidades en la Ciudad de Santa Fé de Bogotá D.C.”
- INGEOMINAS (2003). “Estudio de evaluación de amenaza por deslizamiento para los Barrios El Espino y El Cerro El Diamante, e instalación y monitoreo de instrumentación geotécnica”.
- HOLTZ Robert (1981). “An Introduction to Geotechnical Engineering”. N.M. Newmark.
- SLIDE, programa de análisis de estabilidad v5.0 (Rocscience Inc., 2003).
- Computer Applications In Hydraulic Engineering, Haestad Methods Engineering Staff, Sixth. Edition 2004.
- Cruden, D. y Varnes D. Landslides Types and Processes. Universidad de Alberta. 1991.
- Chow, Ven T. Hidráulica de Canales Abiertos, Mc. Graw Hill.
- Chow, Ven T.. Hidrología Aplicada. Mc. Graw Hill
- Dirección de Prevención y Atención de Emergencias- DPAE. Seminario Estudios de riesgos por fenómenos de remoción en masa. Agosto 31 de 2000.
- DUNCAN, Michel en TURNER, A. Keith y SHUSTER, Robert. Landslides, Investigation and Mitigation – Special Report 247. National Academy Press – Washington, D.C. 1996. Chapter 13.
- FINLAY, P.J., MOSTYN, G.R. y FELL, R. Landslide Risk Assessment – Prediction of Travel Distance. Australia. Julio de 1998.
- GONZÁLEZ A. J., Zamudio E. y Castellanos R. (1999). “Relaciones de Precipitación Crítica-Duración Lluvias que Disparan Movimientos en Masa en Santa Fe de Bogotá – Colombia”. Bogotá D.C. XI CPMSIF – Foz de Iguazu, Brasil.
- GONZÁLEZ, Álvaro (1999). Estimativos de parámetros efectivos de resistencia con el SPT en X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana. Sociedad Colombiana de Ingenieros – Sociedad Colombiana de Geotecnia. Bogotá. 1999.
- GOODMAN, R.E. Introduction to rock mechanics. John Wiley and sons. 1989. Cap. 8. Pp 293 – 335.
- INGEOCIM. Estudios de remoción en masa en varias localidades de Bogotá. Estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por inestabilidad del terreno para las localidades de Ciudad Bolívar, Rafael Uribe Uribe, San Cristóbal, Santa Fe, Chapinero, Usaquén y Suba de Santa Fe de Bogotá. Octubre de 1998.
- Instituto Nacional de Vias – INV. Manual de Estabilidad de Taludes, Geotecnia Vial. 1998.
- JULIVERT, M. Léxico estratigráfico internacional. Vol V, fasc. 4ª Colombia. 1968.
- LOW, B. K. Reliability analisys of rock wedges in Journal of geotechnical and geoinveronmental engineering. June 1997.
- RESOLUCIÓN No 227 de 13 de Julio de 2006. Términos de referencia para la ejecución de estudios detallados de amenaza de riesgo por fenómenos de remoción en masa para proyectos urbanísticos.
- NSR-98.

Plano No. 1 TOPOGRAFÍA

Plano No. 2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

Plano No. 3 LOCALIZACIÓN DE EXPLORACIÓN Y SECCIONES

Plano No. 4 SECCIONES GEOTÉCNICAS

Plano No. 5 OBRAS DE MITIGACIÓN

ANEXO A REGISTRO DE EXPLORACIÓN Y RESUMENES GRAFICOS

ANEXO B ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO C MEMORIA DE CÁLCULO DE OBRAS

ANEXO D CANTIDADES DE OBRA

ANEXO E ESPECIFICACIONES TÉCNICAS