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 Lourdes, 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 9
1.1 OBJETIVO 9
1.2 ALCANCE DEL ESTUDIO 9
2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO Y SU ENTORNO 11
2.1 LOCALIZACIÓN 11
2.2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO 12
2.2.1 Alcance específico del trabajo topográfico 12
2.2.2 METODO DE TRABAJO 13
3 CONDICIONES INICIALES DE LA ZONA 14
3.1 CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA 14
3.2 Hidrología y clima 15
3.2.1 Precipitación 15
3.2.2 Temperatura del aire 16
3.2.3 Humedad relativa 17
3.2.4 Brillo solar 17
3.2.5 Evaporación 17
4 ESTUDIOS GEOAMBIENTALES 20
4.1 GEOLOGÍA REGIONAL 20
4.1.1 Estratigrafía regional 22
4.1.2 Geomorfología: Formas y Procesos 23
4.1.3 Geología Estructural 23
4.2 GEOLOGÍA LOCAL 24
4.2.1 Fotogeología. 24
4.2.2 Litología y suelos 25
4.2.3 Geomorfología 26
4.2.4 Estructuras y discontinuidades. 27
5 MODELO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO INTEGRAL 28
5.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO Y ENSAYOS DE LABORATORIO 28
5.2 CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS 31
5.2.1 Perfil geotécnico promedio 31
5.3 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS Y PROCESOS MORFODINÁMICOS TÍPICOS 31
5.4 PARÁMETROS GEOMECÁNICOS 32
6 EVALUACIÓN DE AMENAZA 34
6.1 SECCIONES Y MODELO DE ANÁLISIS (MECANISMOS DE FALLA) 34
6.2 VALORES EXTREMOS DE VARIABLES ALEATORIAS 34
6.2.1 Nivel Freático 34
6.2.2 Cargas 34
6.3 ESCENARIOS DE ANÁLISIS 34
6.4 MÉTODO Y RESULTADOS DE ANÁLISIS EN TÉRMINOS DE FACTORES DE SEGURIDAD Y/O PROBABILIDADES DE FALLA 35
6.4.1 Métodos de Análisis 35
6.5 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA AMENAZA 35
6.6 ANÁLISIS DE AMENAZA POR FRM 35
6.7 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA 35

7 EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD FÍSICA 38

7.1 CARACTERÍSTICAS Y TIPOLOGÍA DE EDIFICACIONES 38
7.1.1 VIVIENDA DE DOS PISOS (Carrera 2 A Este No. 2 – 45) 38
7.2 MODOS DE AFECTACIÓN EN CASO DE FALLA SEGÚN LA AMENAZA (SOLICITACIONES) E ÍNDICES DE DAÑO 39
7.2.1 Fisuración leve y daño en elementos no estructurales 39
7.2.2 Fisuración Severa 39
7.2.3 Desplazamiento de la estructura y posible colapso 40
7.2.4 Afectación a las redes de servicio 40
7.3 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD 40
7.3.1 Vulnerabilidad Física 40
7.4 ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD 42

8 ANÁLISIS DE RIESGO 45

8.1 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL RIESGO 45
8.2 ZONIFICACIÓN DEL RIESGO 45

9 PLAN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN 46

9.1 REQUERIMIENTO DE OBRAS DE MITIGACIÓN 46
9.2 RESULTADOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CON OBRAS DE MITIGACIÓN 47

10 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO 51

11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 52

11.1 CONCLUSIONES 52
11.2 RECOMENDACIONES 52

12 BIBLIOGRAFÍA 53

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 2-1 Coordenadas de la zona de estudio 11
Tabla 3-1 características de las estaciones 15
Tabla 3-2 Precipitación media mensual multianual – series históricas (mm) 16
Tabla 3-3 Elementos de Clima Estación Vitelma 16
Tabla 5-1 Coordenadas y cantidades de perforación 28
Tabla 5-2 Cantidades de ensayos de laboratorio realizados 28
Tabla 5-3 Parámetros promedios de los Materiales Modelados 32
Tabla 5-4 Resumen de resultados de ensayos de Laboratorio 33
Tabla 6-1 Factores de seguridad para los escenarios analizados 36
Tabla 7-1 Índice de exposición en función de la zona de influencia 43
Tabla 7-2 Criterios para la calificación de los indicadores de competencia estructural 43
Tabla 7-3 Evaluación del nivel de daño 44
Tabla 7-4 Valores resumen de Índice de Vulnerabilidad Física. 44
Tabla 7-5 Valores resumen de Índice de Vulnerabilidad Física. 44
Tabla 8-1 Matriz de Riesgo 45
Tabla 9-1 Resultados Análisis de estabilidad con Obras de Mitigación 47
Tabla 10-1 Presupuesto 51

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 2.1 Localización general de la zona de estudio 12
Figura 3-1 Curvas intensidad-Duración-Frecuencia 14
Figura 3-2 Histograma de precipitación total mensual (mm) Estación Vitelma 17
Figura 3-3 Temperatura del aire 18
Figura 3-4 Variación de humedad relativa 18
Figura 3-5 Variación brillo solar 18
Figura 3-6 Variación evaporación 19
Figura 4-1 Mapa Geológico al norte del Sitio de Interés, tomado de Ingeominas (1999), Plancha K-11, Zipaquira. 21
Figura 4-2 Mapa Geológico del sitio de Interés, tomado de Ingeominas (1999), Mapa Geológico del Departamento de Cundinamarca. 21
Figura 4-3 Fotografía Aérea del Barrio Lourdes 25
Figura 5.1 Localización de Sondeos 30
Figura 6.1 Sección 1-1_ condiciones normales sin obras 36
Figura 6.2 Sección 7-7_ condiciones normales sin obras 37
Figura 7.1 Zonas de exposición para movimientos rotacionales 41
Figura 9.1 Sección 1-1_ condición con obras y sin sismo. 48
Figura 9.2 Sección 1-1_ condición con obras y sismo. 48
Figura 9.3 Sección 7-7_ Condición con obras sin sismo. 49
Figura 9.4 Sección 7-7_ Condición con obras y sismo. 49
Figura 9.5 Sección 1-1_ Condición en construcción. 50
Figura 9.6 Sección 7-7_ Condición en construcción. 50

LISTADO DE PLANOS

Plano No. 1 TOPOGRAFIA 55
Plano No. 2 GEOLOGÍA 56
Plano No. 3 GEOMORFOLOGÍA LOCAL 57
Plano No. 4 LOCALIZACIÓN DE EXPLORACIÓN Y SECCIONES 58
Plano No. 5 SECCIONES GEOTÉCNICAS 59
Plano No. 6 MAPA DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO. 60
Plano No. 7 OBRAS DE MITIGACIÓN 61

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO A INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA 62
ANEXO B REGISTRO DE EXPLORACIÓN Y RESÚMENES GRÁFICOS 74
ANEXO C ENSAYOS DE LABORATORIO 81
ANEXO D MEMORIA DE CÁLCULO DE OBRAS 97
ANEXO E MEMORIA DE CANTIDADES DE OBRA 100
ANEXO F ESPECIFICACIONES TÉCNICAS 104

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.

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.

Deslizamientos: El movimiento consiste de deformación por corte y desplazamiento

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.

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.

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.

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

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

kPa:	kilo Pascal.
m:	Metros.
Ha:	Hectárea.
S:	Pendiente del cauce.
FS:	Factor de seguridad.
RQD:	Rock Quality Designation.
SPT:	Ensayos de penetración estándar.
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.
T:	período de retorno.
n:	período de análisis o exposición.
ah/g:	Coeficiente de aceleración horizontal del terreno.
IR:	Índice de riesgo.
P_f :	Probabilidad de falla.
IVF :	Índice de vulnerabilidad física.
DE:	Daños estructurales.
La tasa de daño (TD):	representa el porcentaje de destrozos en la vivienda.

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. 3: **Barrio Lourdes** 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 – vulnerabilidad y riesgo de la zona.
- 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 1A Este No. 2-37 del Barrio Lourdes. Corresponde a un corte en ladera que conforman un peatonal con un cambio de altura entre las viviendas de la parte inferior y superior que oscila entre 4 y 5 m. En el corte se presenta desprendimiento de cobertura vegetal y suelo residual La DPAE identifica el fenómeno como un traslacional en suelo residual de areniscas de la formación Bogotá con una línea de superficie de falla ubicada debajo de las casas de la parte superior de la ladera.

El sitio de estudio tiene un área de influencia de 0.09 Ha. La altura máxima del talud de corte es de 5.0 m, ubicándose entre la cota 2682 msnm y 2687 msnm, con inclinaciones entre 70º y 75º. La zona de estudio se ubica entre las siguientes coordenadas:

Tabla 2-1 Coordenadas de la zona de estudio

NORTE (m)	ESTE (m)
98950	100420
98950	100450
98980	100420
98980	100450

En la Fotografía 2-1 y en la Fotografía 2-2 se muestra el estado actual del talud de corte, así como el del sendero peatonal y las viviendas ubicadas en la parte superior e inferior. Las dos viviendas localizadas en la parte inferior inmediatas al corte ya han sido adquiridas para la ubicación de obras de mitigación de riesgo.



Fotografía 2-1 Vista frontal del talud de corte. Vivienda superior e inferior implicadas.



Fotografía 2-2 Sendero peatonal ubicado sobre el talud de corte.



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 Lourdes.

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 METODO 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. La información topográfica base se presenta en el ANEXO A.

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

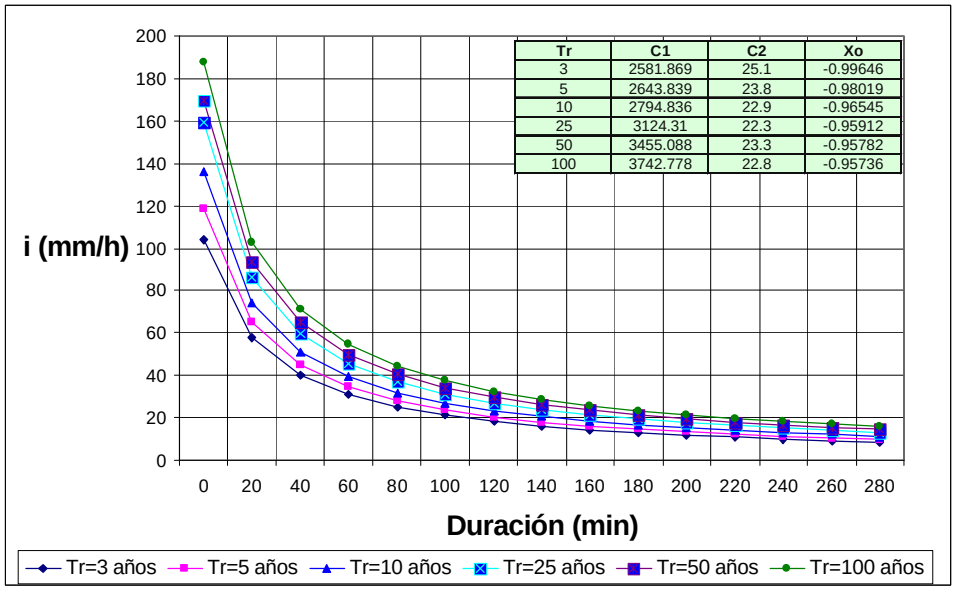
Se solicitó la ecuación para las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para el punto de estudio en la EAAB.

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	2581.869	25.1	-0.99646
5	2643.839	23.8	-0.98019
10	2794.836	22.9	-0.96545
25	3124.31	22.3	-0.95912
50	3455.088	23.3	-0.95782
100	3742.778	22.8	-0.95736

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.

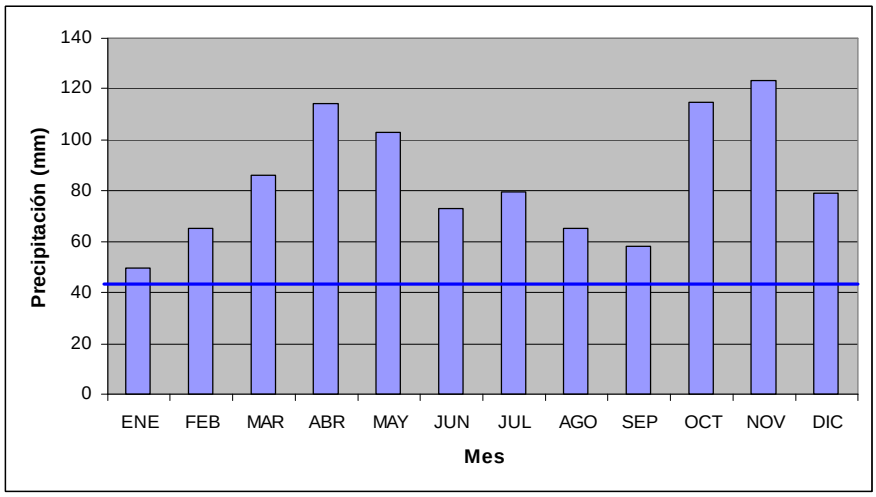


Figura 3-2 Histograma de precipitación total mensual (mm) Estación Vitelma

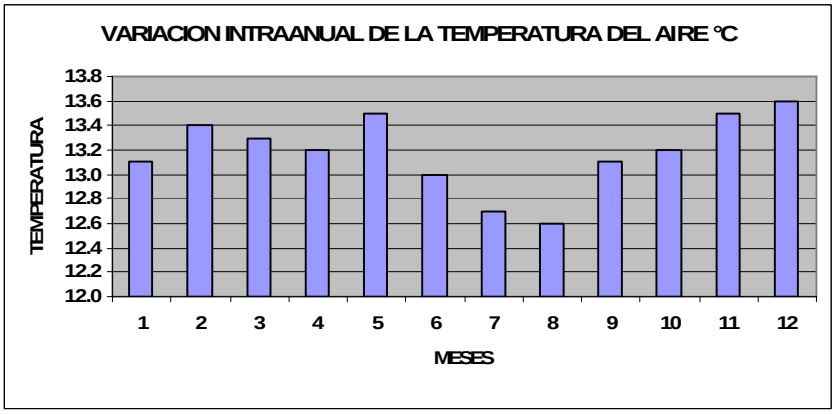


Figura 3-3 Temperatura del aire

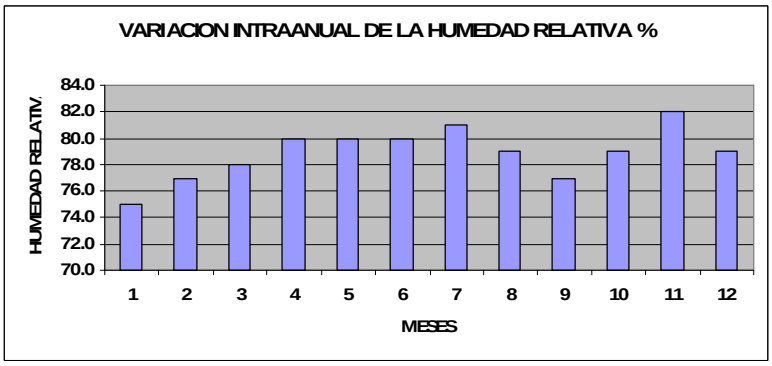


Figura 3-4 Variación de humedad relativa

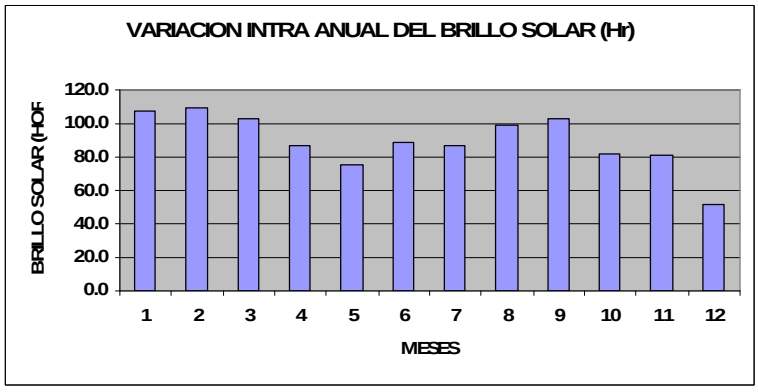


Figura 3-5 Variación brillo solar

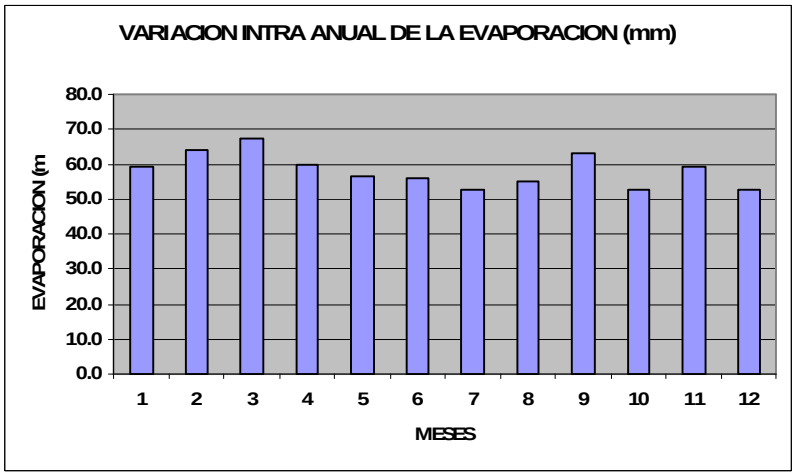


Figura 3-6 Variación evaporación

4 ESTUDIOS GEOAMBIENTALES

El barrio Lourdes está localizado en el costado centro oriental de la ciudad y en particular en la parte inferior de la vertiente de la Serranía de Guadalupe, comprendida entre los valles de los ríos San Francisco y San Cristóbal.

El acceso se logra desde la intersección de la avenida Circunvalar con la calle 7ª. Para continuar por una vía secundaria, que se mantiene aproximadamente a igual cota.

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. Toda el área de influencia se encuentra cubierta por viviendas urbanas sub-normales.

4.1 GEOLOGÍA REGIONAL

El Río San Francisco establece el límite entre los cerros de Monserrate y Guadalupe. Como el sitio se localiza en el empalme de las Figuras 4-1 y 4-2, se optó por presentar las respectivas imágenes, Mapa Geológico de Cundinamarca, para lograr una mejor exposición de las condiciones regionales, registradas por Ingeominas (1975 y 1999, respectivamente).

En la Figura 4-1, se aprecia como la Serranía de Guadalupe, y su prolongación norte, corresponde al pliegue tumbado denominado como Anticlinal de Bogotá. Allí se delimitan a las formaciones Guadalupe Inferior (Ksgi), en el núcleo de la estructura, seguido hacia el oriente por las Formaciones Guadalupe Superior (Ksgs), Guaduas, Cacho y Bogotá, todas presentan una disposición estructural con buzamientos invertidos hacia el E..

En la figura 4-2, se alcanza a traslapar el área comprendida desde el Río San Francisco, hacia el sur. En este mapa la cartografía es más general, y no incluye ni el de la estructura anticlinal, ni datos de la orientación de los planos de estratificación. Es evidente que el conjunto de las unidades de edad Terciaria, como son las Formaciones Guaduas, Cacho y Bogotá, presentan truncamiento, contra una falla de tipo inverso, la cual parece que corresponde a la Falla Bogotá, a la altura del Río San Cristóbal, sitio o alrededores de la localización del barrio Lourdes. La falla es localizada hacia la base o piedemonte del escarpe rocoso que produce la Formación Guadalupe.

Las unidades lito-estratigráficas de Guaduas y Cacho, quedarían comprendidas entre la zona de falla y el terreno bajo de la Sabana de Bogotá.

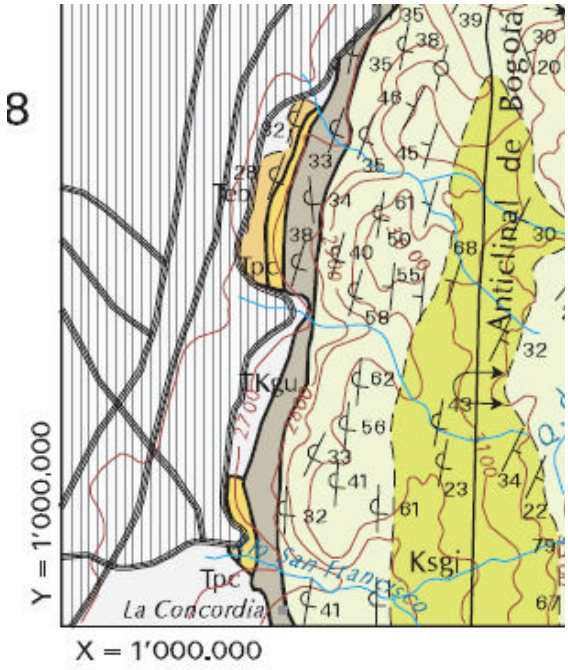


Figura 4-1 Mapa Geológico al norte del Sitio de Interés, tomado de Ingeominas (1999), Plancha K-11, Zipaquira.



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

4.1.1 Estratigrafía regional

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.

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 Formación Bogotá:

Se trata de lodolita abigarrada y arcillolita limosa con lentes de arenisca, generalmente friable, abigarrada, de grano fino a medio; raras veces lentes de conglomerado arenoso y capas delgadas de carbón de baja calidad.

4.1.1.5 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

El borde oriental de la ciudad de Bogotá, se caracteriza por los farallones rocosos que establece la formación Guadalupe principalmente, y las formaciones Guaduas y Bogota, a manera de cerros o prominencias fisiográficas menores y locales. En el segmento adyacente de la Serranía de Guadalupe, donde se localiza el barrio Girardot, la pendiente topográfica se presenta de manera acentuada, seguramente como consecuencia del espesor reducido de la Formación Guaduas, y a la presencia de una serie de cerros elevados correspondientes a la Formación Cacho.

A manera de zanjones locales o de canales de 1er. Orden, se reconocen algunas áreas topográficamente deprimidas, y ocupadas principalmente por suelos de origen coluvial y/o glacio – fluvial. Solo los ríos San Cristóbal, y San Francisco, son las corrientes que cruzan y disecan la serranía. Estas corrientes tienen amplias áreas aferentes y presentan acumulaciones de suelos de origen glacial y aluvial en el fondo de sus valles. .

No se aprecian actualmente procesos de erosión generada por la actividad hídrica concentrada.

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.

Las formaciones descritas se disponen dominantemente con rumbos NS a N10ºE, con buzamientos moderados a bajos hacia el oriente. El bloque occidental, conformado por las formaciones Guaduas, Cacho y Bogotá. El Bloque oriental por la Formación Guadalupe principalmente.

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.

En el sitio de interés, se aprecia una ligera modificación a la mencionada, dado el cambio de los planos estructurales de la estratificación con dirección hacia el W. Esta condición puede reflejar las condiciones tectónicas de la Falla Bogotá.

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.

La interpretación regional de la Falla Bogotá, permiten suponer que la masa rocosa y los procesos asociados deben ser complejos. No obstante al observar los afloramientos y las condiciones de la masa rocosa involucrada, la fracturación no es tan severa como se espera dentro de una zona de falla de cabalgamiento.

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 blandas en general.

4.2.1 Fotogeología.

Se adelantó la foto-interpretación de la Fotografía Aérea del vuelo C-1131, No. 00112, que se presenta a continuación. La disposición estructural es difícil de registrarla ante la complejidad del sitio y la cubierta de viviendas o desarrollo urbano en la mayor parte del área. En general se aprecia la continuidad de un filo rocoso rectilíneo que presenta un rumbo NS, con buzamientos del orden de unos 30 a 40º, hacia el W. Ante el ligero desplazamiento entre un filo rocoso, que se aprecia en la parte superior, sin continuidad en el afloramiento que se presenta en el sitio de interés, se trazo una pequeña fractura local. Este elemento estructural no se reconoció en el terreno, ni fue comprobado en la investigación del subsuelo.

Solo localmente se aprecia el desarrollo de algunos sitios inestables, relacionados a la erosión hídrica concentrada, o en áreas de pendiente acentuada y que no presentan ningún cubrimiento urbano, son áreas sensibles que en la actualidad los han preservado para sitios de recreación y deporte. Hacia el sur, se reconoce la flexuración y truncamiento de las secuencias del Terciario, indicadas en la cartografía de Ingeominas, donde se identifican direcciones del rumbo EW y buzamientos hacia el S.

En la parte alta se reconoce la presencia de un canal que aparentemente colecta aguas de escorrentía, y por lo tanto controla caudales en los canales naturales y de escorrentía.

Algunas zonas de inestabilidad se relacionan a los taludes de corte en las vías urbanas. Algunos fueron vías de acceso hacia explotaciones artesanales de materiales de construcción, y por lo tanto sin ningún control o diseño técnico.

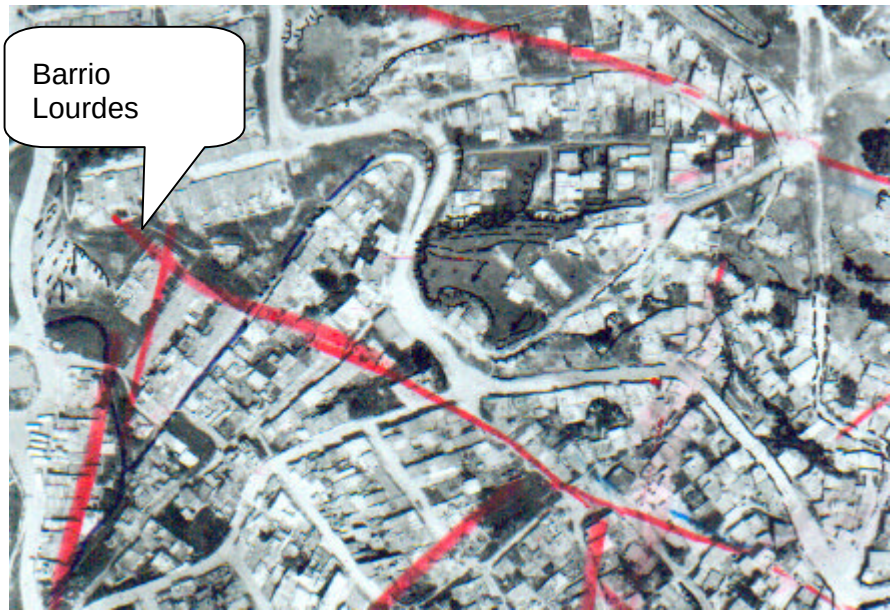


Figura 4-3 Fotografía Aérea del Barrio Lourdes

4.2.2 Litología y suelos

4.2.2.1 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.

En el sitio de estudio y dentro del área afectada por inestabilidad aflora a la base del escarpe principal y de los taludes de corte que se conformaron para la construcción de las casa., y establece el plano del desprendimiento y caída de bloques. También fue encontrada en las perforaciones y en los apiques de investigación del sub-suelo, con profundidades variables hasta de unos 3 m.

4.2.2.2 Depósito Coluvial (Qc)

Corresponden a acumulaciones locales, generadas por procesos relacionados a la erosión hídrica laminar, concentrada a lo largo de niveles rocosos blandos y a la segregación de desprendimientos, deslaves y algunos movimientos en masa de roca meteorizada y fresca. En el caso del sitio de estudio, se aprecia en las laderas y taludes

localizados entre las viviendas de la calle superior, y las afectadas por debajo del camino peatonal.

Se trata de una mezcla de bloques y guijarros líticos soportados por una matriz de carácter arcillo-limoso. Los bloques son de arenisca y arcillolita, con meteorización moderada a alta, de aspecto angular, y tamaños variables hasta de unos 0.2 m de diámetro. La matriz es de color rojizo a pardo oscuro al estar contaminado con materiales orgánicos, dominantemente arcillosa, plástica y blanda al estar bajo condiciones húmedas, y firme a dura al secarse.

4.2.2.3 Depósito de relleno antrópico (Qra).

Corresponde a escombros dispuestos por los vecinos y como rellenos para darle uniformidad a la ladera contra el muro de concreto de la escalera. Incluyen fragmentos de ladrillos mezclados con suelos orgánicos y suelo residual

4.2.3 Geomorfología

Coincide con un resalte morfológico dentro de la vertiente occidental de la Serranía de Guadalupe. 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 30º en promedio.

La pendiente del terreno es concordante con el buzamiento de la secuencia rocosa. Se suaviza un tanto, ante la cubierta de un depósito coluvial. El espesor de este suelo es de unos 2 a 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.

No fue posible establecer o precisar el origen de la humedad en el suelo coluvial, y de la roca meteorizada. Se supone la existencia de fugas del sistema de acueducto y alcantarillado de las viviendas que se localizan topográficamente por encima, y eventualmente de posibles flujos de agua infiltradas desde la parte alta de la vertiente de niveles rocosos angostos dentro del macizo.

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.

4.2.4 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/45º, y planos de diaclasamiento son 150º/70º y 80º/65º.

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 moderada a ligera. Los planos de diaclasamiento registran espaciamiento moderado a amplio, y las superficies ligeramente oxidadas, de condición cerrada.

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 dos (2) perforaciones mecánicas por rotación y lavado, cuatro (4) apiques y dos (2) trincheras.

En la Tabla 5-1 se discrimina la profundidad y localización de cada sondeo y el ANEXO B 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 B. Las memorias de ensayos de laboratorio hacen parte del ANEXO C.

Tabla 5-1 Coordenadas y cantidades de perforación

Sondeo	Coordenadas		
	N (m)	E (m)	Z (msnm)
AP-1	98988.46	100439.67	2687
AP-2	98996.54	100447.23	2685
AP-3	98963.22	100455.05	2685
AP-4	98961.19	100434.15	2680
S-1	98969.69	100440.36	2686.2
S-2	98962.04	100454.68	2688
TR-1	98986.24	100433.68	2680-2687

Tabla 5-2 Cantidades de ensayos de laboratorio realizados

Ensayo de laboratorio	Cantidad
Contenido de humedad natural	11
Límites de consistencia (LL y LP)	6
Granulometría	2
Lavado sobre tamiz No 200	2
Peso especifico de Sólidos	3
Peso Unitario Suelos	3
Compresión inconfinada	1
Corte Directo humedad natural	1
Corte Directo saturado	1



Fotografía 5.1 Localización del apique No. 1 y la trinchera.



Fotografía 5.2 Contacto suelo residual - roca. Sitio de extracción de bloque de suelo residual

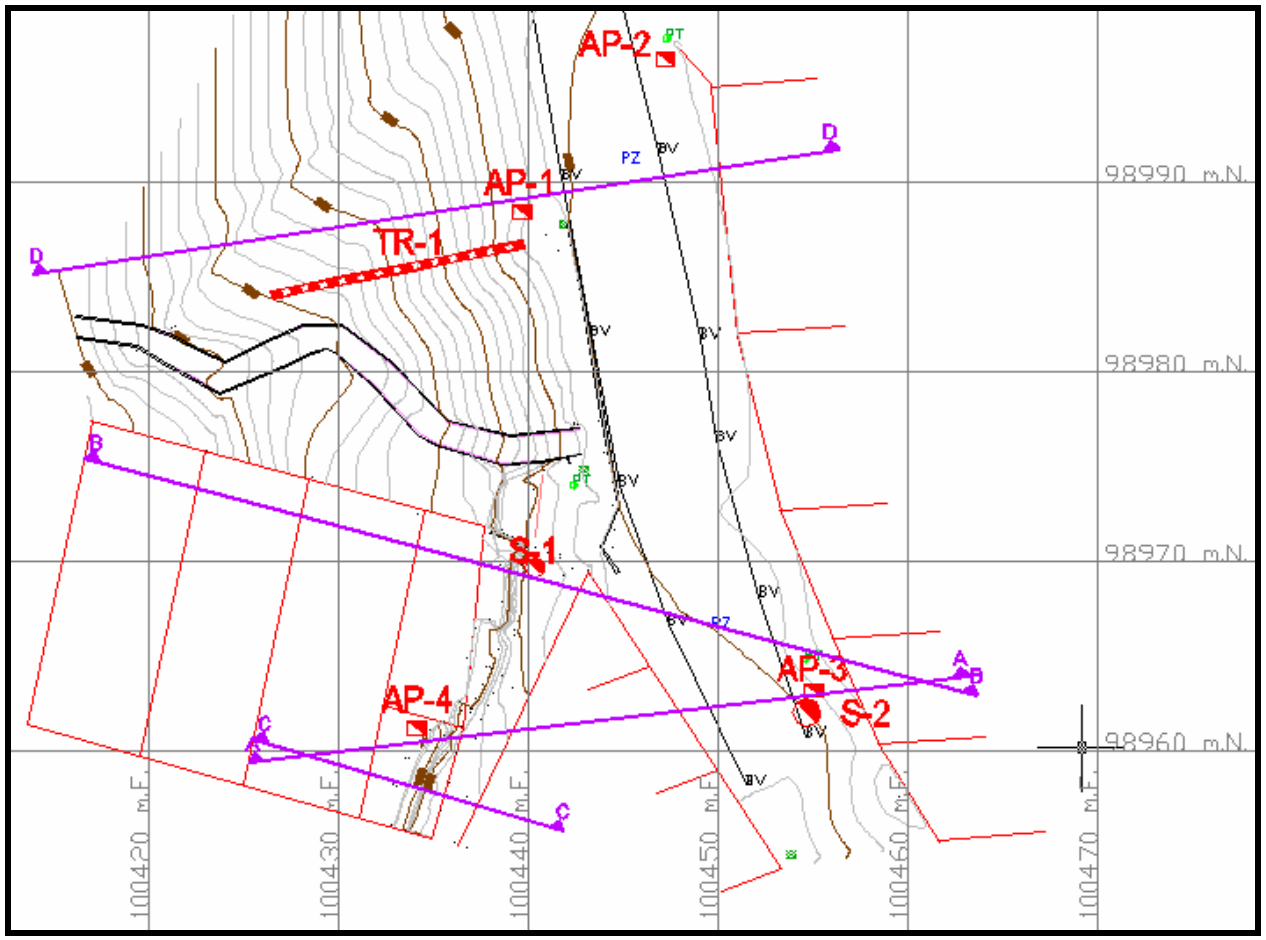


Figura 5.1 Localización de Sondeos

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 C).

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. 5 y localizados según se muestra en el plano No. 4. Tal como se describió en la geología local, en el sitio se encuentra un depósito coluvial mezclado con depósitos de origen antrópico dispuestos sobre la formación guaduas constituida por la alternancia de estratos de arcillolita y de arenisca, en la parte superior de la formación se encuentra un suelo residual proveniente de la meteorización de las rocas de la formación. En ninguna de las perforaciones realizadas se encontró niveles freáticos.

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 la ladera ubicada al norte de la zona conformando la superficie actual de la ladera.

5.2.1.2 Material 2 (suelo residual)

Corresponde a la arcilla abigarrada y a la arena color habano, provenientes del proceso de meteorización de los estratos de arcillolita y arenisca localizadas al oriente y occidente de la zona de estudio, respectivamente.

La arcilla abigarrada presenta baja plasticidad con índice de plasticidad del orden de 25% y humedades entre presenta humedades promedio de 21%. Su peso unitario total es de 2.07 Ton/m³ y seco de 1.70 Ton/m³. Sus parámetros de resistencia al corte (CD) en condición saturada son 30.1º de ángulo de fricción y 0.8 Ton/m² cohesión. La cohesión no drenada en condiciones de humedad natural es de 12.0 Ton/m².

La arena color habano

5.2.1.3 Material 3 (Formación guaduas TKgu)

Corresponde a la intercalación de estratos de arcillolita abigarrada y arenisca color habano dispuestos en capas que buzan ä 45º hacia el occidente en el sentido de la pendiente de la ladera.

5.3 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS Y PROCESOS MORFODINÁMICOS TÍPICOS

Dada la disposición de los estratos rocosos en el sentido de la pendiente, los materiales residuales y de rellenos dispuestos sobre la roca se han presentado procesos de remoción en masa cuando se realizan cortes para la explanación de las viviendas. Dichos

movimientos son del tipo desprendimientos y rotacionales pequeños dado el espesor de estos depósitos.

De otro lado, no se ha presentado inestabilidad en la roca ya que esta expone una condición masiva y los cortes realizados en la zona son pequeños interviniendo principalmente los materiales residuales.

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.

Teniendo en cuenta la dificultad de obtener parámetros en condición residual del material arenoso habano estos se adoptaron de acuerdo con la literatura existente al respecto en la ciudad de Bogotá para este tipo de materiales. De igual forma se adoptaron los parámetros de resistencia de la arenisca de la formación Guaduas.

De acuerdo con lo anterior, los parámetros empleados para los análisis de estabilidad sobre las secciones críticas, se muestran en la Tabla 5-3. En la Tabla 5-4 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		Condiciones de humedad natural	
			Cohesión c(kN/m^2)	Angulo de fricción ?	Cohesión c(kN/m^2)	Angulo de fricción ?
Suelo residual	Arcilla abigarrada	20	8	30.1	120 *	0
	Arena color habano	20	10	30	48	67.7
Roca	Arenisca	22	-	-	250	35.0
* Valor calculado a partir de ensayo de compresión inconfinada						

Tabla 5-4 Resumen de resultados de ensayos de Laboratorio

PROYECTO: LOURDES

Material	Nomenclatura	Muestra				USCS	w_n (%)	G (%)	A (%)	F (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Gs	γ_t (Ton/m³)	γ_d (Ton/m³)	Corte Directo Tipo consolidado drenado (CD)				Compresión Inconfinada	
		No.	de	a	Prof. Media (m)												f Wn (º)	C. Wn (Ton/m²)	f Sat. (º)	C. Sat. (Ton/m²)	q_u (Ton/m²)	E_{50} (Ton/m²)
	AP1	1	0.80	1.00	0.9		24.4															
	AP1	2	1.60	1.70	1.65		20.7															
	AP2	1	0.80	0.90	0.85		22.7															
	AP2	2	1.40	1.50	1.45	CL	14.8				40.5	19.1	21.4									
	AP2	3	1.60	2.00	1.8	CL	21.3				49.2	23.5	25.7		2.072	1.708			30.1	0.8	24.1	737
	AP3	1	1.00	1.00	1.00		11.8															
	AP4	1	0.40	0.50	0.45		26.5															
	AP4	2	0.40	0.60	0.50	CL	7.9				33.5	19.5	14.0									
	TR1	1	1.60	1.60	1.6		5.5															
	TR1	2					13.8															
	TR1	3					36.2															
	P1	1	0.75	1.20	0.98			1.3	28.9	69.8	19.6	NP			2.04							
	P1	2	1.25	1.30	1.275			0.0	21.8	78.2					2.13							
	P1	5	2.83	4.80	3.82		9.1								2.27							
	P2	1	0.65	1.10	0.88	CL-ML					37.4	24.0	13.4									
	BL	1	1.10	1.30	1.20	CL-ML	14.2				23.0	19.0	4.0		2.03		67.7	4.8				

- **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.

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

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

f **Wn (º)** 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

Limo arenoso
Arcilla de color gris
Material orgánico y desechos de constr.
Relleno arcilloso
Arcilla gris abigarrada
Limo arenoso
Arenisca amarilla,friable

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 y planar 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 1-1 y 7-7, presentadas y localizadas en el plano 7. 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

Durante el proceso de exploración no se establecieron niveles piezométricos en la zona, por lo tanto los análisis en condición actual no toman en cuenta niveles freáticos.

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 LOURDES								
SECCIÓN	CASO	ESTADO	CONDICICIÓN	NIVEL FREATICO		SISMO		F de S (Bishop Simplificado)
				ACTUAL	*CRITICO*	*0.00*	*0.24*	
1 -1	*1*	CONDICIÓN SIN OBRAS	CONDICIONES NORMALES	*X*		*X*		1.14
7 -7	*1*	CONDICIÓN SIN OBRAS	CONDICIONES NORMALES	*X*		*X*		1.03

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

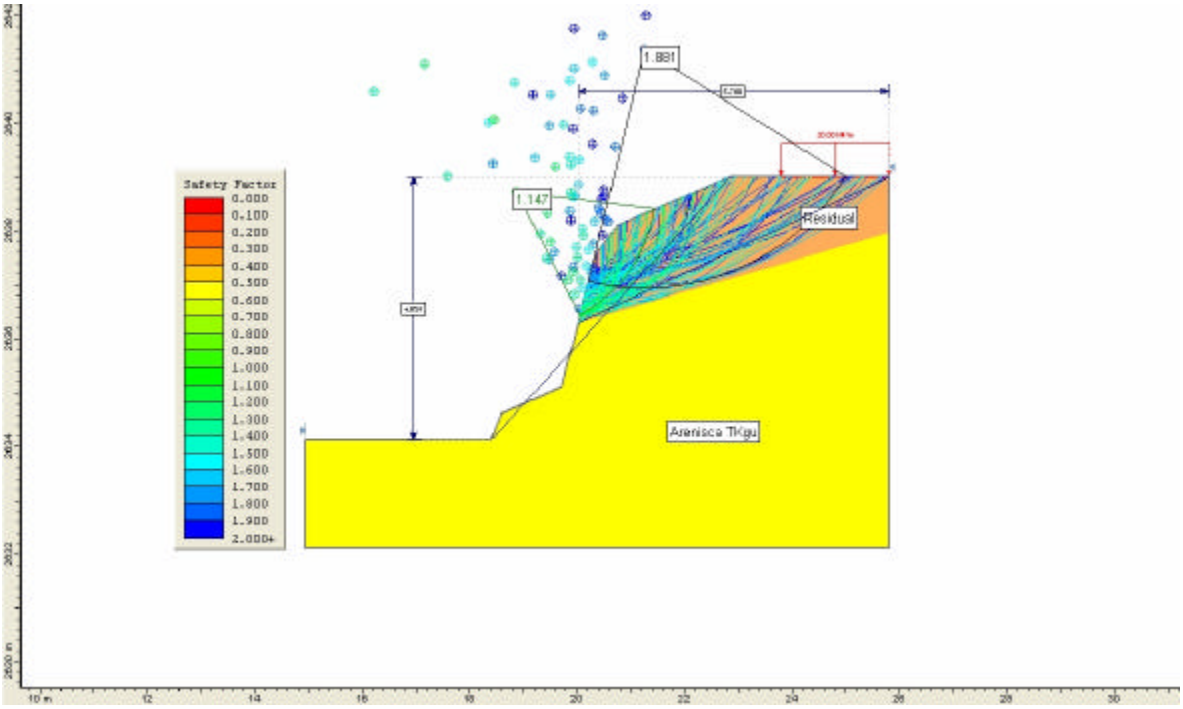


Figura 6.1 Sección 1-1_ condiciones normales sin obras

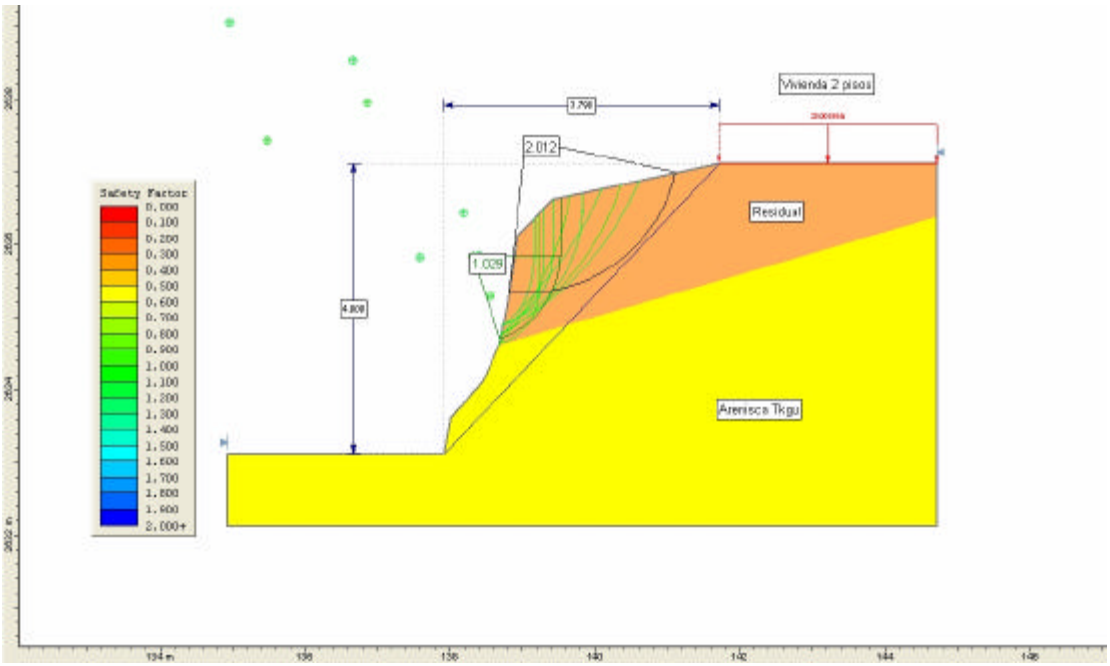


Figura 6.2 Sección 7-7_ condiciones normales sin obras

7 EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD FÍSICA

7.1 CARACTERÍSTICAS Y TIPOLOGÍA DE EDIFICACIONES

La vulnerabilidad se puede definir como una condición existente en la sociedad o un grupo social, implicando población, entorno urbano e infraestructura urbana, los cuales pueden verse afectados y sufrir daño o pérdida en caso de materialización de una amenaza. La vulnerabilidad puede clasificarse como social, física, etc. La vulnerabilidad física puede definirse en función del grado de exposición de cada uno de los elementos del entorno y de su nivel de resistencia ante la ocurrencia de un evento.

La evaluación de la vulnerabilidad tiene como objetivo analizar la condición existente de las edificaciones frente a la amenaza, teniendo en cuenta aspectos de exposición y resistencia de los elementos expuestos en la zona de estudio, información que conjugada con la evaluación de la amenaza y las condiciones de pérdidas se traduce en riesgo. Este análisis permitirá determinar las medidas y tratamientos que se pretendan desarrollar en la zona, disminuyendo el grado de exposición o incrementando la resistencia de los elementos expuestos.

De acuerdo con los perfiles geotécnicos establecidos y los posibles procesos de remoción asociados a ellos, en el análisis de vulnerabilidad se considera las edificación que se localiza en la parte alta del talud afectado, ya que de acuerdo con los movimientos presentados las viviendas localizadas en la parte inferior que pueden verse afectadas ya han sido desalojadas.

La valoración de la edificación se realizó con base en la evaluación del estado de la construcción, la calidad de sus materiales y la percepción sobre los problemas relacionados principalmente con movimientos de materiales del talud. A continuación se hace una breve descripción de la edificación localizada en la parte superior del talud afectado.

7.1.1 VIVIENDA DE DOS PISOS (Carrera 2 A Este No. 2 – 45)

La vivienda se encuentra habitada por dos familias, una por piso. En total residen 23 personas de las cuales 10 son niños.

La edificación consta de dos pisos construida en mampostería simple, entrepiso en losa maciza y cubierta en teja de asbesto cemento. No cuenta con un sistema estructural completo.

En general, la estructura de la edificación ha presentado buen comportamiento y no presenta fisuras, deflexiones excesivas, o daños estructurales importantes que puedan asociarse al desprendimiento de materiales del talud localizado en frente de la vivienda. (Ver Fotografía 7.1).



Fotografía 7.1 Vista general de las viviendas ubicadas en la parte superior e inferior del talud.

7.2 MODOS DE AFECTACIÓN EN CASO DE FALLA SEGÚN LA AMENAZA (SOLICITACIONES) E ÍNDICES DE DAÑO

Los modos de afectación sobre las viviendas ubicadas en la parte superior están directamente relacionados con el tipo de estructura evaluada en el inventario de edificaciones, sus condiciones estructurales y el tipo de amenaza evaluada en los numerales anteriores.

Teniendo en cuenta los perfiles geotécnicos establecidos para el sitio, en los cuales se observa una mayor susceptibilidad a la ocurrencia de desprendimiento del material superficial que se deslizan sobre el manto rocoso subyacente, las posibles afectaciones en la edificación pueden ser las siguientes:

7.2.1 Fisuración leve y daño en elementos no estructurales

Este tipo de afectación puede presentarse como consecuencia de desprendimientos de suelo retirando el apoyo a losas de contrapiso y que en consecuencia se produzca fisuración de las mismas o de muros divisorios que se apoyen sobre estas.

7.2.2 Fisuración Severa

Ocurre en caso que el deslizamiento de material abarque estructuras de cimentación en forma puntual presentándose un sobreesfuerzo en los elementos estructurales que dependiendo de su resistencia provocará un grado de fisuración o fracturamiento en mayor o menor grado e incluso llegando a la falla de estos.

7.2.3 Desplazamiento de la estructura y posible colapso

Teniendo en cuenta que el tipo de movimientos que se pueden presentar dependiendo del tipo de cimentación con que esta cuente y la longitud de avance de un posible deslizamiento puede presentarse el desplazamiento total de la estructura y por ende su colapso.

7.2.4 Afectación a las redes de servicio

Hace referencia a la afectación que puede presentarse en las redes de servicio de acueducto o alcantarillado vistos como desacoples o rotura de tuberías por movimientos en el terreno. Esta afectación puede presentarse por movimientos localizados en el terreno y con magnitudes de movimiento menores. De otro lado, esta situación puede generar la saturación del material superficial acelerando cualquier tipo de movimiento.

7.3 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad física se expresa como una medida del grado de soporte o resistencia que presenta una edificación ante la ocurrencia de un evento destructor, en este caso el deslizamiento, para ello se empleó como criterio de medida la tipología de la edificación ubicada en la parte superior del talud.

7.3.1 Vulnerabilidad Física

Con fines prácticos, para la elaboración de este estudio, se evaluó la vulnerabilidad de la edificación a partir del grado de exposición de ésta ante el fenómeno amenazante (Índice de exposición IE) y del comportamiento de la construcción en tal circunstancia (índice de resistencia). Finalmente, se conjugaron los índices antes descritos para estimar la vulnerabilidad física de la edificación. Estas condiciones además deben tener un ajuste de las condiciones reales en el terreno y tácitamente el consultor debe evaluar los niveles de vulnerabilidad y considerarlos aceptables desde el punto de vista del análisis.

A continuación se realiza una descripción de cada uno de ellos y los valores asumidos en cada caso.

7.3.1.1 Índice de Exposición

La determinación del índice de exposición involucró conocer el tipo de fenómeno a estudiar y su distribución espacial, en este último sentido todo movimiento está compuesto por tres grandes zonas que son: la zona de influencia directa (ZID) definida como aquella área en la que tiene lugar el movimiento, la zona de influencia indirecta (ZII) que corresponde a aquélla que puede estar afectada por la masa deslizada por distancia de viaje o avance retrogresivo y una última denominada fuera de la zona de influencia (ZF) en donde no se espera ningún tipo de afectación.

De la evaluación geotécnica mencionada en capítulos anteriores, y en función del análisis de estabilidad se determinaron las zonas críticas y que corresponden espacialmente de acuerdo a los niveles de amenaza planteados anteriormente. Por lo tanto se divide el talud en tres (3) zonas las cuales son: ZID ésta se encuentra dentro de la zona del movimiento, hacia atrás en una distancia asumida y coherente de avance retrogresivo del fenómeno se denomina como ZII y un avance hacia adelante según los lineamientos

dados por Finlay et al (1999). Por otro lado la zona ZF hace referencia a los sitios fuera del alcance del movimiento.

La zona de exposición de una edificación se puede evaluar según la condición dada en la Figura 7.1. A pesar de mostrarse para deslizamiento rotacional, dada la configuración de los desprendimientos presentados sería también aplicable.

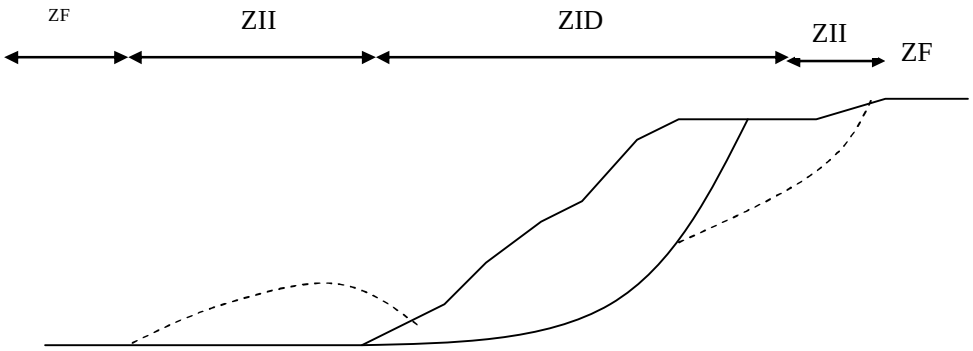


Figura 7.1 Zonas de exposición para movimientos rotacionales

Finalmente, con base en la localización de la estructura dentro del área espacial del movimiento se asignó el índice de exposición teniendo en cuenta que para un valor de IE=0 no existe influencia del movimiento, y como IE=1.0 para edificaciones ubicadas exactamente y con influencia directa sobre el movimiento.

De acuerdo con esto, el índice de exposición para la vivienda localizada en la parte superior del talud es de 0.50, ya que un posible movimiento tendría influencia secundaria sobre esta.

7.3.1.2 Índice de resistencia (IR)

La resistencia de una edificación se entenderá como su competencia estructural, CE, la cual es función a su vez de algunas variables indicadoras de calidad. Dichas variables son debidamente calificadas de acuerdo con los criterios señalados y corresponden a 1 para la condición más favorable y 3 para la más desfavorable, permiten su conjugación mediante las pautas expuestas para la determinación del CE. En la Tabla 7-2 se presentan los indicadores para calcular el valor de CE, según el cual es 15 para la vivienda evaluada. Así, el índice de resistencia para la vivienda localizada en la parte superior es 0.60.

El valor del índice de resistencia se calcula como:

$$IR = 1 \text{ para } CE = 10$$

$$IR = -0.07 * CE = 1.65 \text{ para } 11 = CE = 24$$

$$IR = 0 \text{ para } CE = 24$$

7.3.1.3 Índice de Vulnerabilidad física

Con los Índices de resistencia y exposición encontrados anteriormente, se calculó la resistencia movilizada (RM) que es una expresión de los posibles daños provocados al

elemento expuesto por un fenómeno, para lo cual se buscó una ecuación que cumpliera con las siguientes condiciones:

- Cuando IE= 0, RM=0
- Cuando IE= 1, RM=1
- Para cualquier valor de IR e IE, 1>RM>0

Pueden existir innumerables funciones que cumplan con las anteriores condiciones, sin embargo para fines prácticos se adoptó la ecuación propuesta por INGEOCIM (1998), reemplazando el índice de vulnerabilidad por deslizamientos IVD, por RM y el índice de vulnerabilidad física IVF por el índice de exposición IE:

$$RM = 1 - IR^{IE}$$

Donde:

RM: resistencia movilizada, IR: Índice de resistencia y IE: índice de exposición.

De esta manera se estableció un paralelo entre la RM y la matriz de daño presentada por el DRM que se presenta en la Tabla 7-3 y que involucra el tipo y la magnitud del evento y la solicitación de los elementos, mediante la ecuación:

$$InD = 1 + 4 * RM$$

En la que InD=1 equivale a daños leves (I) y una InD=5 (V) que es la máxima, corresponde a daños severos. Las descripciones de la intensidad de daños del DRM se dan en la tabla siguiente:

Se estableció el índice de daño, ID que sería un equivalente del Índice de Vulnerabilidad Física si la confiabilidad de los datos fuera del 100%. De acuerdo con las condiciones propias del presente estudio, se asumió que ésta es del 90%, lo cual índica que:

$$IVF = ID / CfF$$

Donde: CfF: coeficiente de confiabilidad = 0.9. Así el IVF, grado de vulnerabilidad se dividió en 3 grupos, es decir, según la estructura, como se presenta en la

Tabla 7-4 y que define el grado de vulnerabilidad de las construcciones.

7.4 ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD

De acuerdo con el análisis anterior la vulnerabilidad de la vivienda localizada en la parte superior del talud es MEDIA. (Ver Tabla 7-1)

Tabla 7-1 Índice de exposición en función de la zona de influencia

ZONA DE INFLUENCIA	IE (ÍNDICE DE EXPOSICIÓN)
ZID	0.85
ZII	0.50
ZF	0.0

Tabla 7-2 Criterios para la calificación de los indicadores de competencia estructural

VARIABLE	PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
V-1	Edad de la construcción	1. Posterior a 1998	1
		2. Entre 1984 y 1998	2
		3. Anterior a 1984	3
V-2	Tipo de cimentación	En general buena calidad	1
V-3	Estructura de la placa de piso	1. Concreto reforzado	1
		2. Mortero	2
		3. Madera	3
		5. otro	3
V-4	Estructura de soporte de la cubierta	1. Concreto reforzado	1
		2. Metálica	2
		3. Madera	3
		4. Recuperación	3
		5. Mampostería u otro	3
V-5	Cubierta	1. teja de barro	3
		2. Asbesto – cemento	2
		3. Zinc	2
		4. Recuperación	2
		5. Otro	2
V-6	Sistema estructural	B1 - Pórtico	1
		B3 - Mampostería estructural	2
		B4 - Muro no estructural de bloque	2
		B5 - Muro no estructural de ladrillo	2
		Sistema estructural diferente	3
V-7	Daños en elementos estructurales. Sumatoria de las evaluaciones en cada elemento	Menor que 10	1
		Entre 10 y 20	2
		Mayor que 20	3
V-8	Condición del suelo de fundación	1. Roca	1
		2. Firme	1
		3. Medio	2
		4. Blando	3
		5. relleno	3

Tabla 7-3 Evaluación del nivel de daño

CALIFICACIÓN	TIPO DE DAÑO	% DE DAÑO	InD
I	Daños ligeros no estructurales. Estabilidad no afectada	0.055	1
II	Fisuración en paredes. Reparaciones no urgentes	0.115	2
III	Deformaciones importantes. Daños en elementos estructurales	0.500	3
IV	Fracturación de la estructura	0.750	4
V	Desplome parcial o total de la estructura.	0.950	5

Tabla 7-4 Valores resumen de Índice de Vulnerabilidad Física.

EDIFICACIÓN	IE	IR	RM	Ln D	IVF	% Daños(%IVF)
Vivienda localizada en la parte alta del talud “Condición actual”	0.50	0.60	0.47	2.89	3.22	0.53

Tabla 7-5 Valores resumen de Índice de Vulnerabilidad Física.

CATEGORÍA DE LA VULNERABILIDAD	VALOR DEL %IVF
Alta	%IVF >= 0.55
Media	0.25<=%IVF<0.55
Baja	%IVF<0.25

8 ANÁLISIS DE RIESGO

8.1 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL RIESGO

Para la evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa se empleó la matriz de decisión propuesta por González (2005), la cual se muestra en la Tabla 8-1, en ella se combinan los resultados de las evaluaciones de amenaza por fenómenos de remoción en masa y vulnerabilidad de las edificaciones. Se aclara que la evaluación del riesgo es únicamente cualitativa, por las aproximaciones asumidas.

8.2 ZONIFICACIÓN DEL RIESGO

Teniendo en cuenta los criterios definidos en el numeral anterior, la evaluación de riesgo de la edificación ubicada en la parte superior del talud arroja como resultado RIESGO ALTO. Ver Plano No. 6 .Según esto, deben implementarse medidas de mitigación en el talud para reducir el riesgo.

Tabla 8-1 Matriz de Riesgo

		AMENAZA		
		ALTA	**MEDIA**	**BAJA**
VULNERABILIDAD	**ALTA**	ALTA	ALTA	MEDIA
	MEDIA	ALTA	MEDIA	BAJA
	BAJA	MEDIA	BAJA	BAJA

9 PLAN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN

9.1 REQUERIMIENTO DE OBRAS DE MITIGACIÓN

De acuerdo con las condiciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo determinadas para la zona de estudio, se hace necesario el desarrollo de obras de mitigación que reduzcan el riesgo. Las obras planteadas se relacionan a continuación y se encuentran plasmadas en el Plano No. 7A, Plano No. 7B y Plano No. 7C. Igualmente, las especificaciones técnicas de construcción de cada una se presentan en el ANEXO F.

- Perfilado del talud a 60º, retirando todo el material desprendido y que se acumula en el pie del talud. En las secciones incluidas en los planos de obra se presentan las áreas de retiro. Se recomienda cortar el talud en tramos no mayores de tres metros y proteger el material residual dispuesto sobre el manto rocoso de las agresiones del medio ambiente, especialmente lluvía, durante el tiempo que sea necesario.

- Construcción de dos muros en gaviones localizados en la parte baja del talud. El primero con una longitud de 11.0 m y dos niveles de gaviones, cimentado a la cota 2681.5 msnm sobre un concreto ciclópeo existente que corresponde a la cimentación de la vivienda que será demolida para dar paso a la construcción de las obras de mitigación. El segundo con una longitud de 5.0 m y tres niveles de gaviones cimentado a la cota 2680.5 msnm, sobre el nivel de arenisca de la formación Guaduas. Para la cimentación del primer muro es necesario establecer durante la etapa constructiva las condiciones del concreto ciclópeo existente y de acuerdo con esto ajustar el nivel de cimentación, el cual será evaluado y aprobado por la Interventoría.

- Construcción de un muro mecánicamente estabilizado con geotextil. Este muro busca conformar el paso peatonal para las viviendas existentes en la parte superior del talud. El muro se dispone entre el muro en gaviones de dos niveles y el talud natural perfilado, sobre la sección más amplia del talud. El muro esta constituido por capas de 30 cm de espesor en material tipo recebo B-200, material que es reforzado por medio de geotextil tejido que debe tener una resistencia a la tensión por el método de tira ancha no menor de 24.0 KN/m. Ver plano No. 7.

- Construcción de un muro en relleno en recebo B-200 compactado para conformar el paso peatonal sobre el talud, en la sección más reducida del talud, entre el muro en gaviones de tres niveles y el talud natural perfilado. La altura promedio es de 1.80 m.

- Construcción de una capa filtrante de 30 cm de espesor aparente, dispuesta sobre el terreno natural perfilado y que descargue a un filtro (F1) de 2.0 m de altura y 0.45 m de ancho, localizado en el trasdós del muro en gaviones. Este último debe construirse con una pendiente mínima de 1% e incluir tubería ranurada de 4”. El material filtrante debe cumplir las especificaciones del ANEXO E.

- Construcción de una caja de inspección al borde del gavión para recolección y redireccionamiento del agua proveniente del filtro (F1). Las cotas de implantación de la caja y su geometría se presentan en el plano de obras. La salida de la caja

de inspección debe realizarse por medio de tubería de 6" hasta alcanzar una de las cajas de alcantarillado de las viviendas localizadas hacia la parte inferior de la ladera. La caja de inspección será construida en concreto reforzado de acuerdo con los detalles mostrados en los planos de obras.

- Adecuación del paso peatonal por medio de una estructura de pavimento en adoquines limitado por una baranda tipo IDU, y empradización del área restante de la corona del talud.

La memoria de cálculo de las obras de contención propuestas se presenta en el ANEXO D.

9.2 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 9.1, la Figura 9.2, la Figura 9.3 y la Figura 9.4, corresponden a los resultados de los análisis de estabilidad contemplando la totalidad de las obras propuestas sobre las secciones de análisis 1-1 y 7-7, presentadas en el Plano No. 7. La Tabla 9-1 recopila los valores obtenidos en cada evaluación.

Tabla 9-1 Resultados Análisis de estabilidad con Obras de Mitigación

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SITIO CRÍTICO DE RIESGO BARRIO LOURDES								
SECCIÓN	CASO	ESTADO	CONDICIÓN	NIVEL FREATICO		SISMO		F de S (Bishop Simplificado)
				ACTUAL	*CRITICO*	*0.00*	*0.24*	
1 -1	*1*	CONDICIÓN CON OBRAS	CONDICIONES NORMALES	*X*		*X*		2.24
	2	*CONDICIÓNC ON OBRAS*	*CONDICIONES EXTREMAS*	X			X	1.46
7 -7	*1*	CONDICIÓN CON OBRAS	CONDICIONES NORMALES	*X*		*X*		3.40
	2	*CONDICIÓNC ON OBRAS*	*CONDICIONES EXTREMAS*	X			X	2.60

CONDICIONES EXTREMAS

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

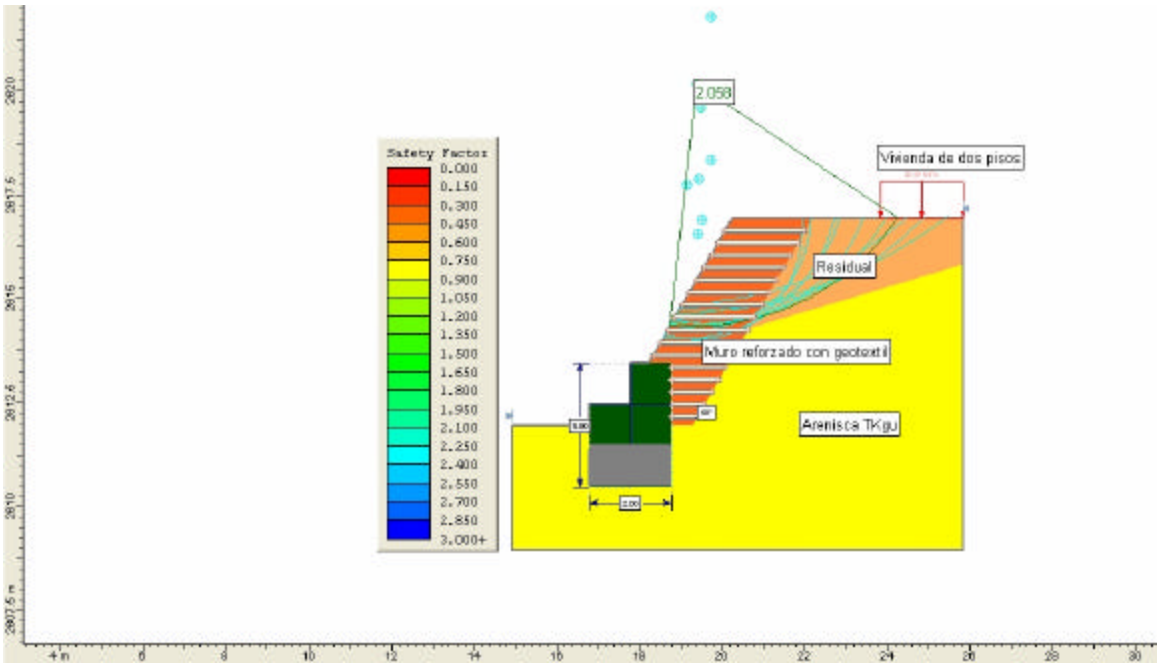


Figura 9.1 Sección 1-1_ condición con obras y sin sismo.

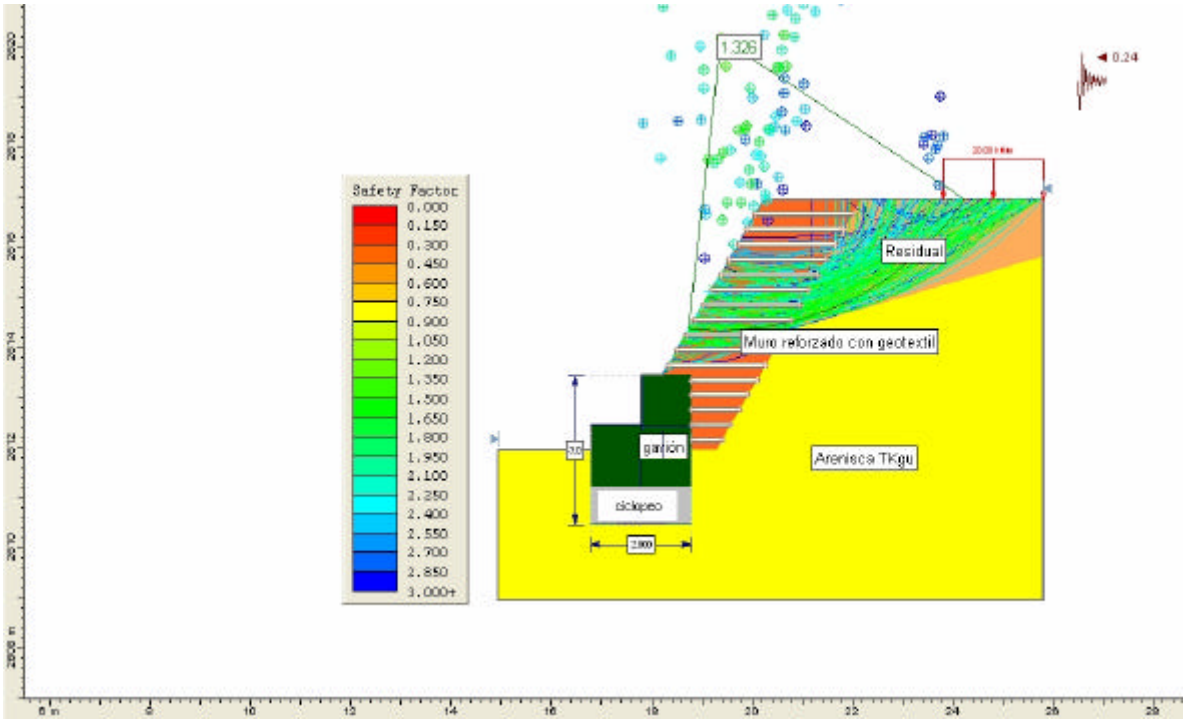


Figura 9.2 Sección 1-1_ condición con obras y sismo.

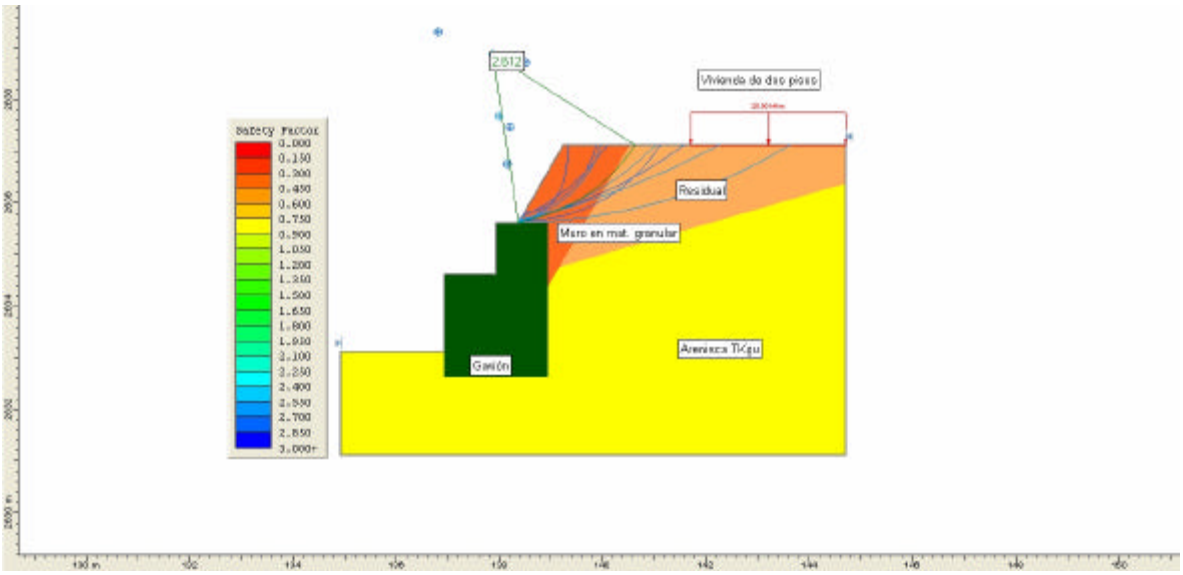


Figura 9.3 Sección 7-7_ Condición con obras sin sismo.

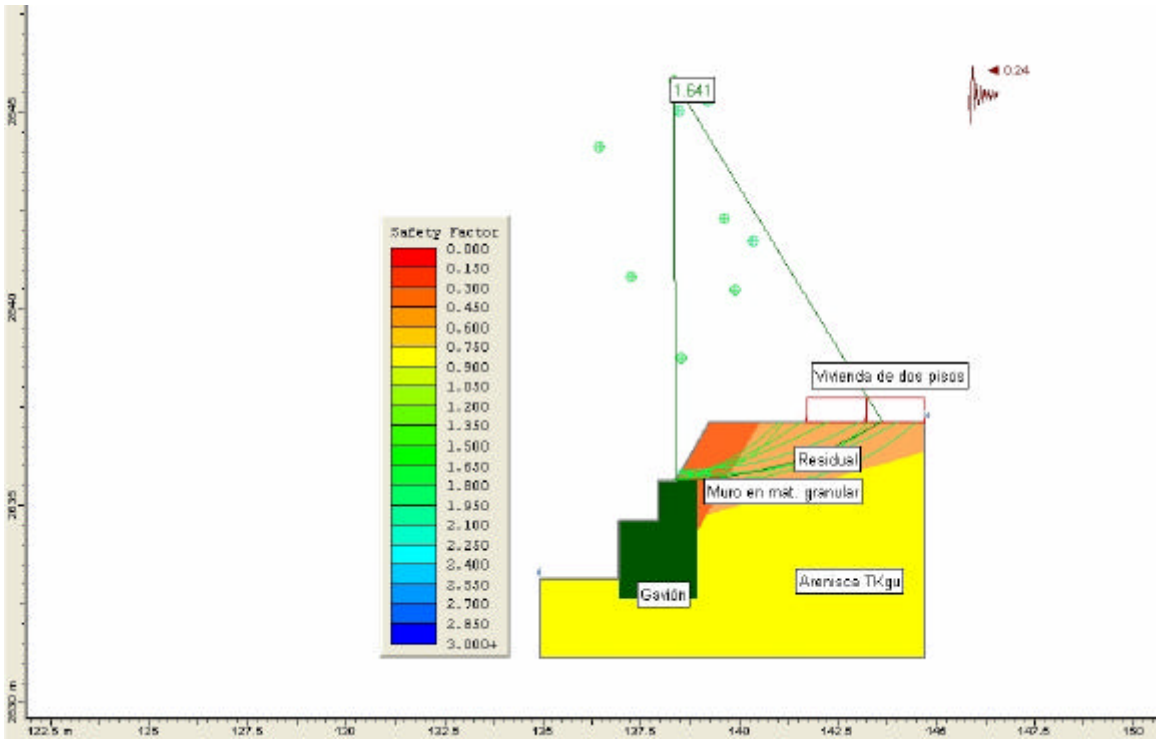


Figura 9.4 Sección 7-7_ Condición con obras y sismo.

De otro lado, se evaluó la estabilidad del talud en condiciones de construcción obteniendo valores de factor de seguridad cercanos a 1.0, razón por la cual es necesario establecer medidas temporales de protección del talud , especialmente hacía las agresiones del medio ambiente, lluvia, y realizar el corte del talud por ventanas no superiores a 3.0 m de ancho. Los resultados de los análisis de estabilidad en las condiciones de construcción se presentan en la Figura 9.5 y Figura 9.6.

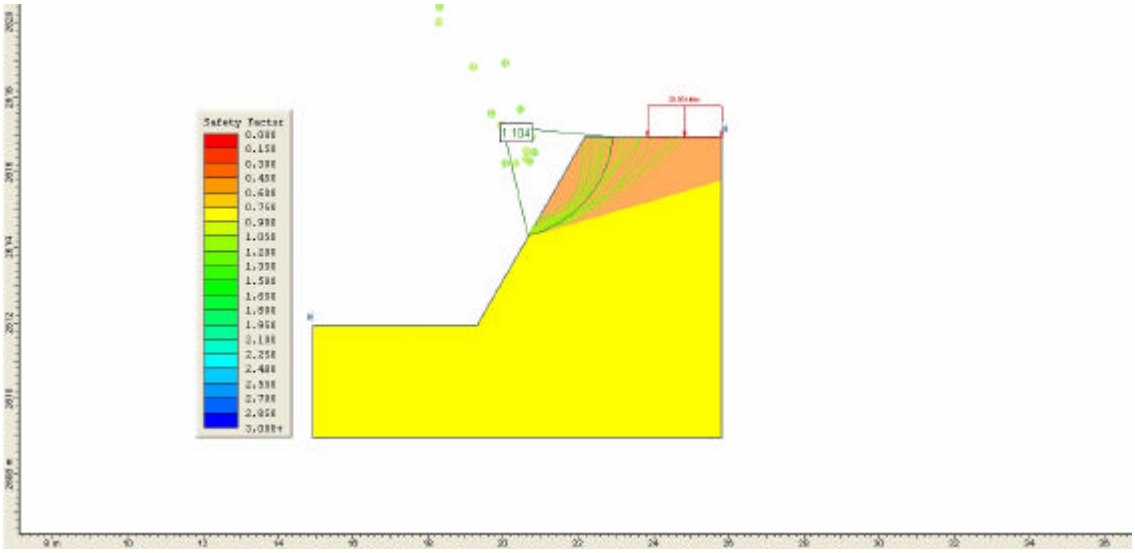


Figura 9.5 Sección 1-1_ Condición en construcción.

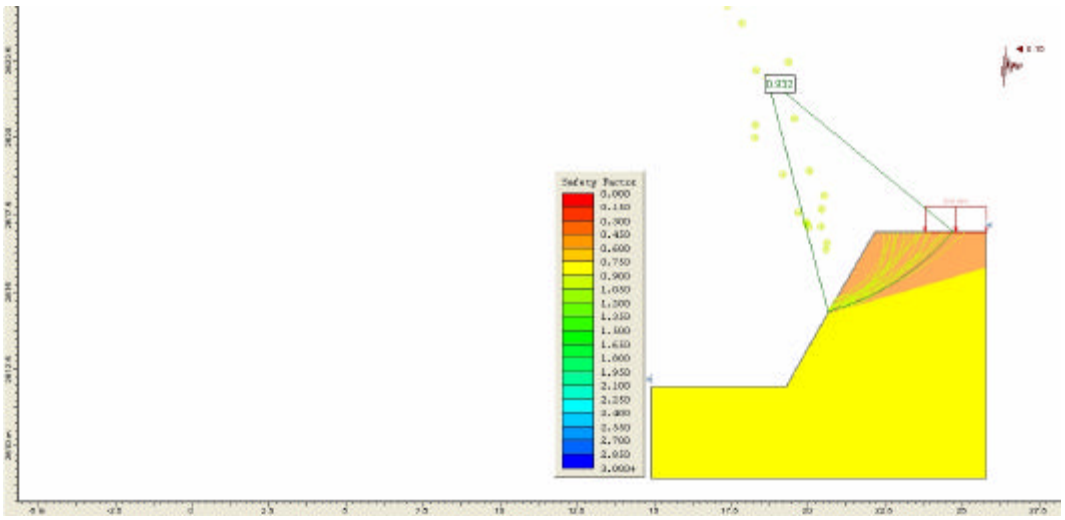


Figura 9.6 Sección 7-7_ Condición en construcción.

10 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO

En la Tabla 10-1 se presentan las cantidades de obra de las medidas de mitigación de riesgo de acuerdo con las características descritas en el numeral anterior. El Plano No. 7A, el Plano No. 7B y el plano No. 7C, contienen los detalles de las obras de mitigación planteadas. El presupuesto se obtuvo al multiplicar las cantidades de obra por el valor unitario de cada ítem. El ANEXO E presenta la memoria de las cantidades de obra evaluadas para tal fin.

Tabla 10-1 Presupuesto

OBRA DE MITIGACIÓN - LOURDES				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Valor Total**
Localización y Replanteo	M2	160.50	$ 1,150	$ 184,575
Campamento, movilización de Maquinaria y Equipo	GL	1.00	$ 2,000,000	$ 2,000,000
Aislamiento y Protección de la Zona Intervenida, H=2.0m en repisa y lona verde	ML	31.45	$ 9,800	$ 308,210
Descapote, excavación, nivelación y perfilado del terreno en suelo (incluye retiro a sitio de disposición)	M3	122.90	$ 38,000	$ 4,670,200
Excavación, nivelación y perfilado del terreno en roca (incluye retiro a sitio de disposición)	M3	80.55	$ 56,000	$ 4,510,800
Muro en gaviones	M3	58.00	$ 120,000	$ 6,960,000
Empradización (incluye tierra negra)	M2	10.31	$ 10,400	$ 107,224
Recebo compactado estabilizado mecánicamente con geotextil tejido MTA>24.0 KN/m	M3	79.17	$ 35,664	$ 2,823,511
Relleno en recebo compactado B-2001	M3	9.20	$ 22,000	$ 202,400
Filtros con tubería (incluye excavación, gravilla, tubo PVC ranurado de ϕ=4" y material necesario con su respectiva y adecuada instalación)	ML	17.20	$ 130,000	$ 2,236,000
Tubería entre cajas de inspección PVC sanitaria ϕ=4" (incluye excavación, relleno en material seleccionado y conducción al pozo de alcantarillado en ϕ=6")	ML	7.90	$ 36,000	$ 284,400
Demolición pisos en Concreto (Anden)	M2	19.20	$ 6,463	$ 124,090
Sardinel en concreto	ML	38.39	$ 27,000	$ 1,036,530
Adoquin Arcilla 6X6X26. Incluye Sum/Inst/Corte/Sello arena/Confinamiento	M2	34.72	$ 131,365	$ 4,560,993
Adecuación de piso-Afirmado, e=20cm. Capa asfáltica, e=5 cm.	M2	71.20	$ 22,688	$ 1,615,386
Demolicion de Viviendas	M2	79.00	$ 43,500	$ 3,436,500
Baranda Tipo IDU M-80	ML	18.64	$ 125,048	$ 2,330,895
Geotextil NT-4000	M2	97.10	$ 3,657	$ 355,095
Caja de inspección	UN	1.00	$ 380,000	$ 380,000
Impermeabilización muros divisorios	M2	38.00	$ 11,050	$ 419,900
Aseo general	M2	160.44	$ 3,159	$ 506,830
TOTAL COSTOS DIRECTOS				$ 39,053,537
ADMINISTRACION		8%		$ 3,124,283
IMPREVISTOS		7%		$ 2,733,748
UTILIDADES		10%		$ 3,905,354
IVA SOBRE UTILIDADES		16%		$ 624,857
TOTAL PRESUPUESTO				**$ 49,441,778**

11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11.1 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 Lourdes conformado por las siguientes capas: Material 1 (Rellenos antrópicos), Material 2 (Suelo residual tipo arcilla y arena, localizados en la parte superior e inferior de la ladera respectivamente), Material 3 (arcillolita y arenisca pertenecientes al estrato rocoso de la formación Guaduas).
- 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 y planar del suelo residual sobre el estrato rocoso de la formación Guaduas.
- De acuerdo con el análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, la vivienda localizada en la parte superior del talud se encuentra en riesgo alto, por lo tanto, se hace necesario la construcción de medidas de corrección y mitigación de riesgo en el talud afectado.

11.2 RECOMENDACIONES

- Las medidas de mitigación propuestas comprenden: El perfilado del talud natural y conformación de un relleno para la adecuación del paso peatonal construido en recebo compactado y confinado por un muro en gaviones cimentado en la arenisca de la formación Guaduas. En la zona más amplia del talud, el relleno será mecánicamente estabilizado con geotextil tejido con separación vertical de 30 cm. Adicionalmente, se debe implementar un sistema de drenaje consistente en una capa drenante de 30 cm de espesor aparente dispuesta entre el talud natural perfilado y el material de relleno para conformación del paso peatonal.
- Los factores de seguridad obtenidos con la implementación de las medidas de mitigación de taludes son superiores a 1.3, tal como lo exige 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.
- Como complemento a las medidas de mitigación requeridas para reducir el riesgo, se plantea la construcción de otras obras complementarías con el fin de adecuar la zona de intervención, como son: la construcción de una estructura en adoquín sobre la corona del talud para conformar el paso peatonal de las viviendas del nivel superior del talud, la empradización del área restante de la corona del talud, la instalación de una baranda tipo IDU para delimitar el paso peatonal y la construcción de un afirmado con capa asfáltica en la zona libre de los predios intervenidos.
- La viabilidad de estas obras requiere la intervención de los predios adyacentes al pie del talud, incluyendo, la demolición de las dos viviendas que allí se encuentran.

12 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 TOPOGRAFIA

Plano No. 2 GEOLOGÍA

Plano No. 3 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

Plano No. 4 LOCALIZACIÓN DE EXPLORACIÓN Y SECCIONES

Plano No. 5 SECCIONES GEOTÉCNICAS

Plano No. 6 MAPA DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO.

Plano No. 7 OBRAS DE MITIGACIÓN

ANEXO A INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA

ANEXO B REGISTRO DE EXPLORACIÓN Y RESÚMENES GRÁFICOS

ANEXO C ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO D MEMORIA DE CÁLCULO DE OBRAS

ANEXO E MEMORIA DE CANTIDADES DE OBRA

ANEXO F ESPECIFICACIONES TÉCNICAS