

PORTADA

RESUMEN

El Fondo de Prevención y Atención de Emergencias a través de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias del Distrito – DPAE contrató por medio del Contrato de Consultoría No. 518 de 2006 a la UNIÓN TEMPORAL GEOTÉCNIA URBANA, la *“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.”*, contrato iniciado a partir del 21 de Noviembre de 2006 con una duración de tres meses.

El barrio Girardot 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.

Las condiciones de la zona de estudio presentan dos particularidades: 1) flujos superficiales y 2) saturación de materiales por agua superficial y subsuperficial. Las obras deben estar orientadas hacia el control de los flujos superficiales de suelos por medio de estructura de contención y pérdida de aguay al control de agua superficial por medio de cunetas y subsuperficial por medio de filtros.

Se realizó la sección geotécnica evaluando la amenaza actual y con obras por medio del programa slide5.0. En condición actual, con condiciones de agua cerca al terreno natural (1.0 m de la superficie) se presentan zonas inestables en la parte central de la ladera con espesores de menos de 2.0 m y superficies circulares cortas que involucran los rellenos y parte de los suelos residuales de arcillolita. Aun así algunas superficies profundas sobre el contacto de roca – suelo se presenta valores de FS menores a 1.2, mostrando condiciones críticas de estabilidad.

Con obras se revisó la estabilidad con sismo de 0.24 g y sin agua, teniendo en cuenta los elementos que se utilizaran y su eficiencia obteniendo resultados favorables con factores de seguridad mayores que los que exige la resolución 227 de 2006, la cual exige valores de factores de seguridad mayores de 1.3 para condiciones extremas y mayores de 1.9 para condiciones normales.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| GLOSARIO..... | 6 |
| SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS | 7 |
| 1 INTRODUCCIÓN..... | 8 |
| 1.1 OBJETIVO..... | 8 |
| 1.2 Alcance del estudio | 8 |
| 1.3 ORDEN DEL ESTUDIO..... | 9 |
| 2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO Y SU ENTORNO | 10 |
| 2.1 UBICACIÓN GENERAL..... | 10 |
| 2.2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO | 11 |
| 2.2.1 Traslado de coordenadas reales | 11 |
| 2.2.2 Levantamiento topográfico | 12 |
| 3 CONDICIONES INICIALES DE LA ZONA | 15 |
| 3.1 CARTOGRAFÍA..... | 15 |
| 3.2 CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA..... | 15 |
| 3.3 Hidrología y clima..... | 16 |
| 3.3.1 Precipitación..... | 17 |
| 3.3.2 Temperatura del aire..... | 19 |
| 3.3.3 Humedad relativa..... | 20 |
| 3.3.4 Brillo solar..... | 20 |
| 3.3.5 Evaporación..... | 20 |
| 3.4 Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, DPAA..... | 21 |
| 3.4.1 Información SIRE | 21 |
| 4 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA..... | 23 |
| 4.1 GEOLOGÍA REGIONAL | 23 |
| 4.2 LOCALIZACIÓN | 24 |
| 4.3 GEOLOGÍA GENERAL..... | 24 |
| 4.3.1 Estratigrafía..... | 24 |
| 4.3.2 Estructuras Geológicas..... | 25 |
| 4.4 GEOMORFOLOGÍA | 26 |
| 4.5 GEOLOGÍA LOCAL..... | 26 |
| 4.5.1 Litología y Suelos..... | 27 |
| 4.5.2 Estructuras y Discontinuidades..... | 28 |
| 4.5.3 Geomorfología y Procesos de Inestabilidad..... | 29 |
| 4.6 ASPECTOS DE HIDROGEOLOGÍA..... | 31 |
| 5 MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO INTEGRAL..... | 31 |
| 5.1 INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUBSUELO | 31 |
| 5.1.1 Exploración del subsuelo..... | 31 |
| 5.1.2 Ensayos de laboratorio..... | 32 |
| 5.2 PROPIEDADES ÍNDICE Y CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA | 33 |
| 5.2.1 Perfil geotécnico - geológico..... | 33 |
| 5.2.2 Propiedades índices..... | 35 |
| 5.2.3 Ensayo de penetración estándar - SPT..... | 37 |
| 5.2.4 Nivel de agua en exploraciones y permeabilidad | 39 |
| 5.2.5 Resistencia al corte..... | 40 |
| 6 AMENAZA..... | 42 |
| 6.1 INTRODUCCIÓN | 42 |
| 6.2 VARIABLES ALEATORIAS: LÍMITES..... | 42 |
| 6.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD..... | 43 |
| 6.4 ANÁLISIS DETERMINÍSTICO DE AMENAZA..... | 52 |
| 6.5 DISTANCIA DE VIAJE..... | 53 |
| 6.6 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA..... | 55 |
| 7 VULNERABILIDAD Y RIESGO..... | 56 |

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 DC.
SITIO No. 2: GIRARDOT

| | | |
|-------|---|----|
| 7.1 | VULNERABILIDAD..... | 56 |
| 7.1.1 | Tipología de edificaciones..... | 56 |
| 7.1.2 | Cuantificación de daños..... | 57 |
| 7.1.3 | Índice de vulnerabilidad física..... | 59 |
| 7.2 | ANÁLISIS DE RIESGO..... | 60 |
| 8 | OBRAS DE MITIGACIÓN..... | 62 |
| 8.1 | Selección de obras de mitigación..... | 62 |
| 8.2 | AMENAZA CON OBRAS..... | 62 |
| 8.3 | diseño de obras de drenaje..... | 63 |
| 8.3.1 | Filtro..... | 63 |
| 8.3.2 | Cunetas..... | 63 |
| | Curvas de intensidad – duración y frecuencia..... | 63 |
| | Cálculo de caudales máximos esperados..... | 63 |
| | Diseño de cunetas en concreto..... | 64 |
| 8.4 | DISEÑO DE MURO DE GAVIÓN..... | 65 |
| 8.5 | Ítem de de trabajo y especificaciones técnicas..... | 66 |
| 8.6 | CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO..... | 67 |
| 8.6.1 | Cantidades de obra..... | 67 |
| 8.6.2 | Presupuesto..... | 67 |
| 8.7 | PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO..... | 68 |
| 8.8 | VIABILIDAD DE CONSTRUCCIÓN..... | 69 |
| 9 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 71 |
| 9.1 | CONDICIONES GENERALES..... | 71 |
| 9.2 | CONDICIONES DE ESTABILIDAD ACTUALES..... | 71 |
| 9.3 | CONDICIONES DE ESTABILIDAD CON OBRAS..... | 71 |
| 9.4 | CONDICIONES ECONÓMICAS..... | 72 |
| 9.5 | INDICADORES..... | 72 |
| 10 | RECOMENDACIONESESES..... | 73 |
| 11 | BIBLIOGRAFÍA..... | 74 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-------------|---|----|
| Figura 2-1 | Localización general del proyecto..... | 13 |
| Figura 2-2 | Nube de puntos..... | 14 |
| Figura 3-1 | Plancha IGAC No. M-11..... | 15 |
| Figura 3-2 | Curvas intensidad-Duración-Frecuencia..... | 16 |
| Figura 3-3 | Histograma de precipitación total mensual (mm) Estación Vitelma..... | 17 |
| Figura 3-4 | Localización de estación Vitelma..... | 18 |
| Figura 3-5 | Histograma de precipitación total mensual (mm) Estación Vitelma..... | 19 |
| Figura 3-6 | Temperatura del aire..... | 19 |
| Figura 3-7 | Variación de humedad relativa..... | 20 |
| Figura 3-8 | Variación brillo solar..... | 20 |
| Figura 3-9 | Variación evaporación..... | 21 |
| Figura 3-10 | Localización de información del SIRE..... | 22 |
| Figura 4-1 | Mapa Geológico al norte del Sitio de Interés..... | 23 |
| Figura 4-2 | Mapa Geológico del Departamento de Cundinamarca. (Ingeominas 99)..... | 23 |
| Figura 5-1 | Sección geotécnica..... | 34 |
| Figura 5-2 | Carta de plasticidad..... | 35 |
| Figura 5-3 | Plasticidad vs profundidad..... | 36 |
| Figura 5-4 | Análisis de propiedades mecánicas por SPT..... | 38 |
| Figura 5-5 | Ensayo de permeabilidad..... | 39 |
| Figura 5-6 | Parámetros geomecánicos por SPT y ensayo de corte directo..... | 41 |
| Figura 6-1 | Condiciones de análisis..... | 44 |
| Figura 6-2 | FS para condición actual con C_{max} | 45 |
| Figura 6-3 | FS para condición actual con C_{min} | 46 |
| Figura 6-4 | Corrida para condición con obra y sismo C_{max} | 47 |
| Figura 6-5 | Corrida para condición con obra y sismo C_{min} | 48 |
| Figura 6-6 | Corrida para condición con obra y sin sismo C_{max} | 49 |
| Figura 6-7 | Corrida para condición con obra y sin sismo C_{min} | 50 |
| Figura 6-8 | Dimensiones para el cálculo de la distancia de viaje de deslizamientos..... | 54 |

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 DC.

SITIO No. 2: GIRARDOT

| | |
|---|----|
| Figura 7-1 Tipología de viviendas..... | 58 |
| Figura 8-1 Lotes aledaños a la zona de la obra..... | 69 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 2-1 Coordenadas de la zona de estudio..... | 10 |
| Tabla 2-2 Mojoneros materializados en campo..... | 11 |
| Tabla 2-3 Listado de coordenadas del punto de amarre..... | 12 |
| Tabla 2-4 Relación de equipos y elementos por comisión..... | 12 |
| Tabla 3-1 características de las estaciones..... | 16 |
| Tabla 3-2 Precipitación media mensual multianual – series históricas (mm)..... | 17 |
| Tabla 3-3 Elementos de Clima Estación Vitelma..... | 19 |
| Tabla 3-4 Información en la base de datos del SIRE..... | 21 |
| Tabla 5-1 Descripción de exploraciones..... | 31 |
| Tabla 5-2 Cantidades de ensayos de laboratorio ejecutados..... | 32 |
| Tabla 5-3 Definición de tipo de material..... | 33 |
| Tabla 5-4 Parámetros de suelos con SPT..... | 38 |
| Tabla 5-5 Nivel de agua..... | 39 |
| Tabla 5-6 Ensayo de permeabilidad en campo..... | 40 |
| Tabla 5-7 Ensayos de corte directo..... | 40 |
| Tabla 6-1 Valores extremos de las variables aleatorias..... | 43 |
| Tabla 6-2 Factores de seguridad..... | 51 |
| Tabla 6-3 Valoración de amenaza por FS..... | 52 |
| Tabla 6-4 Evaluación de amenaza..... | 52 |
| Tabla 6-5 Datos de variables. Finlay et all (1999)..... | 54 |
| Tabla 7-1 Tipificación de construcciones..... | 56 |
| Tabla 7-2 Descripción de viviendas..... | 57 |
| Tabla 7-3 Intensidades de daño según el DRM..... | 57 |
| Tabla 7-4 Matriz de daño (Leone, 1996)..... | 59 |
| Tabla 7-5 Valores de alfa..... | 59 |
| Tabla 7-6 Valor cualitativo y cuantitativo de la Vulnerabilidad..... | 60 |
| Tabla 7-7 Análisis de vulnerabilidad..... | 60 |
| Tabla 7-8 Matriz de valoración del riesgo (perdida esperadas %)...... | 61 |
| Tabla 7-9 Resultados de análisis de riesgo..... | 61 |
| Tabla 8-1 Caudales máximos..... | 64 |
| Tabla 8-2 Características de la cuneta en piedra pegada..... | 65 |
| Tabla 8-3 Factores de seguridad para muros..... | 66 |
| Tabla 8-4 Presupuesto..... | 67 |
| Tabla 8-5 Tabla 8-6 Llave DACD de predios aledaños..... | 70 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|--|-----|
| ANEXO 1 DATOS TOPOGRAFÍA..... | 76 |
| ANEXO 2 FOTOGRAFÍA AÉREA..... | 83 |
| ANEXO 3 REGISTROS DE EXPLORACION..... | 86 |
| ANEXO 4 ENSAYOS DE LABORATORIO..... | 109 |
| ANEXO 5 NORMALIZACIÓN DEL SPT..... | 127 |
| ANEXO 6 CORTES DIRECTOS..... | 129 |
| ANEXO 7 DISTANCIA DE VIAJE..... | 133 |
| ANEXO 8 MEMORIA DE CALCULO CUNETAS..... | 136 |
| ANEXO 9 MEMORIA DE CALCULO MURO EN GAVIÓN..... | 141 |
| ANEXO 10 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS..... | 143 |
| ANEXO 11 CANTIDADES DE OBRA..... | 161 |

LISTA DE PLANOS

| |
|------------------------|
| Plano 1 TOPOGRAFÍA |
| Plano 2 GEOLOGÍA |
| Plano 3 GEOMORFOLOGÍA |
| Plano 4 AMENAZA |
| Plano 5 VULNERABILIDAD |
| Plano 6 RIESGO |
| Plano 7 OBRAS |

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 período 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 delimitación un terreno en su configuración superficial.
- Movimientos en masa:** Caída de las rocas, una vez han sido fragmentadas (meteorización), 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/m³: peso unitario.

IL: Índice de Liquidez

N_r: 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_{x16}: valor medio de la precipitación en la estación de período corto, 16 años

P₁₁₆: precipitación media en la estación de período largo, 16 años en este caso

P₁: 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 pérdida 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: Pérdida esperada de una vivienda.

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

Con formato: Fuente: Negrita

Con formato: Fuente: Negrita

Con formato: Fuente: Negrita

Con formato: Fuente: Negrita

Con formato: Fuente: Negrita

Con formato: Fuente: Negrita

Con formato: Fuente: Negrita

Con formato: Fuente: Negrita

Con formato: Fuente: Negrita

Con formato: Fuente: Negrita

Con formato: Fuente: Negrita

Con formato: Fuente: Negrita

Con formato: Fuente: Negrita
Español (España - alfab.
internacional)

Con formato: Fuente: Negrita
Español (España - alfab.
internacional)

Con formato: Fuente: Negrita

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 siconatural 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.

Este informe final condensa los resultados adelantados desde la firma del Acta de Inicio el 21 de noviembre hasta el 26 de diciembre de 2006.

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. 2: **Barrio Girardot** 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.

1.3 ORDEN DEL ESTUDIO

El contenido del estudio esta dividido en 11 capítulos en donde cada uno tiene sus propios anexos incluidos. De estos capítulos, 8 son de contenidos técnicos y 3 son de contenido informal como lo es la introducción, las limitaciones, la bibliografía.

Cada capítulo tiene incluido los planos de referencia, las figuras, tablas y fotografías necesarios para entender cada capítulo, los cuales están convenientemente entrelazados entre si manteniendo una secuencia lógica de la información. Los capítulos son los siguientes:

- ? Capítulo 1. Introducción.
- ? Capítulo 2. Descripción general del proyecto y su entorno. En este capítulo se ubica al lector en el proyecto, el levantamiento topográfico. Plano No. 1 Topografía.
- ? Capítulo 3. Condiciones iniciales de la zona. Se presenta el tipo, calidad y pertinencia de la información existente, incluyendo diagnósticos de la DPAE, cartografía y demás que aporten a construir el modelo de la zona.
- ? Capítulo 4. Geología. Se presenta la geología regional y local, el marco estructural, la identificación de mecanismos, hidrogeología. Plano No. 2 y 3. Geología y Geomorfología.
- ? Capítulo 5. Caracterización geomecánica del macizo rocoso. Se presentan los análisis desarrollados en muestras de bloque y sus condiciones de parámetros geomecánicos de discontinuidades y del macizo rocoso.
- ? Capítulo 6. Amenaza. Se identifican los límites de las variables aleatorias, el análisis de estabilidad en roca, el análisis de probabilidad total, la distancia de viaje y la zonificación de amenaza. Plano No. 4 Amenaza actual.
- ? Capítulo 7. Vulnerabilidad y riesgo. Se clasifican las edificaciones de acuerdo a su exposición y resistencia. Se clasifica la vulnerabilidad y se identifica el riesgo. Plano No. 5 Vulnerabilidad. Plano No. 6 Riesgo.
- ? Capítulo 8. Obras. Se enmarcan las obras desde el punto de vista de prevención y/o mitigación dependiendo del nivel de riesgo. Se elaboran cantidades de obra y presupuesto. Plano No. 7 Obras.
- ? Capítulo 9. Conclusiones y recomendaciones.
- ? Capítulo 10. Limitaciones.
- ? Capítulo 11. Bibliografía.

2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO Y SU ENTORNO

2.1 UBICACIÓN GENERAL

El sitio de estudio se ubica en la Carrera 5 Este No. 1F-23 del Barrio Girardot, UPZ 96-Lourdes. Corresponde a una ladera de pendiente media-alta, conformada por suelo residual de arcillolita de aproximadamente 3.0 m de espesor y cobertura vegetal. La zona presenta fenómenos de remoción en masa asociados a un deslizamiento rotacional con flujo de suelo y lodo definido por la DPAE con carácter retrogresivo. Se observan posibles problemas afectan la adecuada transitabilidad y desplazamiento en el sector. El sitio de estudio tiene un área de influencia de 0.13 Ha. El talud tiene una altura de 10.0 m con inclinaciones entre 37° y 45°, ubicándose entre la cota 2706 msnm y 2716 msnm.

La zona de estudio se ubica entre las siguientes coordenadas:

Tabla 2-1 Coordenadas de la zona de estudio

| NORTE (m) | ESTE (m) |
|--------------|-------------|
| 98745 | 100470 |
| 98760 | 100480 |
| 98770 | 100520 |
| 98750 | 100525 |

En la Figura 2-1 se presenta la ubicación general del proyecto:

En la fotografía se puede observar los flujos de suelo que han ocupado la vía de ingreso a la zona. Pequeñas barrigas en la parte media y alta muestran indicios de reptamiento antiguo que se aceleró a flujos por la alta pendiente y las aguas negras del sector. Observe al centro de la fotografía la puerta de una vivienda reasentada por la DPAE.

Fotografía 2-1 Parte baja del área de estudio



Fotografía 2-2 Parte alta del área de estudio



2.2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Se realizó el traslado de coordenadas y amojonamiento de los dos (2) vértices a referenciar de acuerdo como aparece en Tabla 2-2 y se definieron los auxiliares para la radiación de los detalles.

Tabla 2-2 Mojones materializados en campo

| MOJÓN | NORTE | ESTE | COTA |
|--------------|--------------|-------------|-------------|
| D1 | 98775.966 | 100513.937 | 2710.008 |
| D2 | 98760.129 | 100471.829 | 2705.597 |

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 Traslado de coordenadas reales

Para realizar el traslado de coordenadas del levantamiento topográfico se empleó la información suministrada por el IGAC del vértice CD-554.

A continuación se presenta las coordenadas de este vértice.

Tabla 2-3 Listado de coordenadas del punto de amarre

| MOJÓN | NORTE | ESTE | COTA |
|--------|------------|------------|----------|
| CD 554 | 100374.219 | 101302.009 | 2674.561 |

2.2.2 Levantamiento topográfico

Trabajo de campo

El equipo y los recursos utilizados por la comisión para realizar el levantamiento topográfico son los que se relacionan en la tabla siguiente:

Tabla 2-4 Relación de equipos y elementos por comisión

| DESCRIPCIÓN | Cantidad |
|--------------------------|----------|
| Estación TOPCON GTS-235W | 1 |
| Topógrafo | 1 |
| Cadenero primero | 1 |
| Cadenero segundo | 2 |
| Vigilante | 2 |
| Radios de onda corta | 4 |
| Vehículo | 1 |

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 y puntos de topografía para generar curvas de nivel cada 0.5 m. El total de puntos levantados fue de 637.

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*.

Trabajo de oficina

Los datos del levantamiento topográfico realizado, se bajaron directamente desde el colector de datos de la estación total al computador, evitando así errores de transcripción y agilizando este proceso.

Los puntos topográficos fueron interpolados utilizando el software EAGLE POINT modulo *SURFACE MODELING*, hallando las curvas de nivel, y con las carteras de campo y se realizó la planimetría del sitio, obteniendo como resultado el Plano No. 1.

Figura 2-1 Localización general del proyecto

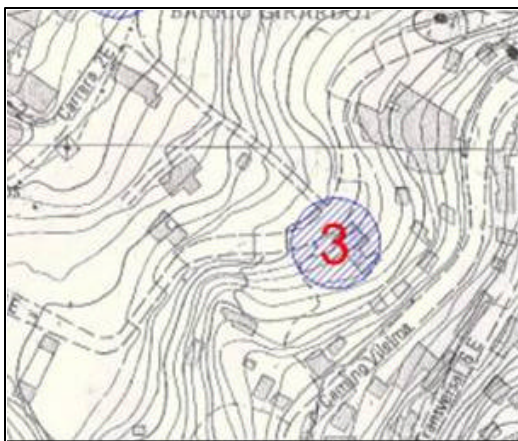
Figura 2-2 Nube de puntos

3 CONDICIONES INICIALES DE LA ZONA

3.1 CARTOGRAFÍA

Se adquirió la plancha del Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC No. M-11 en escala 1:2000 del año 1981 presentada en la Figura 3-1.

Figura 3-1 Plancha IGAC No. M-11



Se puede observar que sobre la parte superior del escarpe (costado derecho de la vía) se ubicaba una vivienda y hacia la parte inferior otra vivienda. La zona de estudio tiene pendiente alta (curvas de nivel seguidas). La zona es similar a lo encontrado hoy en día, con los rasgos de la vivienda ubicada en la parte superior de la ladera. Adicionalmente, se solicitaron las fotografías aéreas de diferentes décadas, destinadas al análisis multitemporal geomorfológico. Estas fotografías serán analizadas por el Geólogo para el análisis multitemporal.

3.2 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 periodos de retorno fueron suministrados por la EAAB, a partir de los cuales se obtiene la intensidad, utilizando la siguiente ecuación:

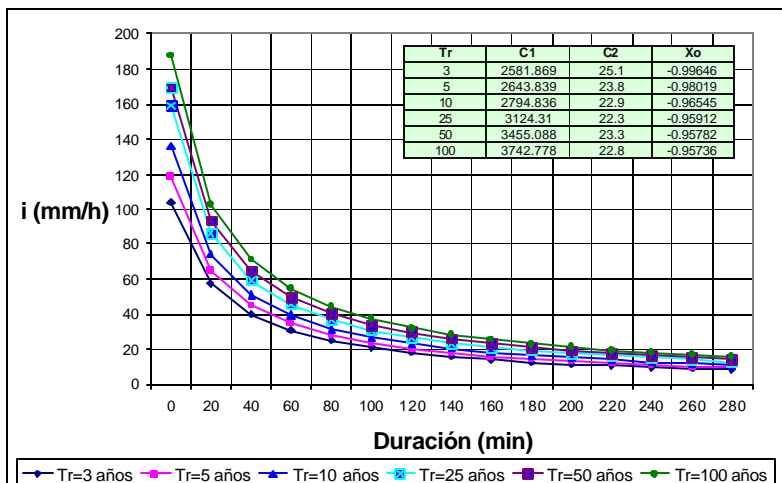
$$INTENSIDAD = C_1 (DURACION X_0)^{C_2} \quad [1]$$

Los términos C_1 , C_2 y X_0 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 EAAB¹.

¹ IRH Ltda – EAAB. “Estudio para análisis y caracterización de tormentas en la Sabana de Bogotá”

En la Figura 3-2 se presentan las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para el punto que fueron calculadas a partir de la ecuación [1].

Figura 3-2 Curvas intensidad-Duración-Frecuencia



3.3 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 de la Estación Vitelma. 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 | 04°35' N 74°05' W |
| Norte | 998262.32 |
| Este | 999731.82 |
| Elevación (msnm) | 2800 |
| Periodo de registro | 1927 - 2005 |

En la Figura 3-4 se presenta la ubicación de estaciones y el proyecto.

3.3.1 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)

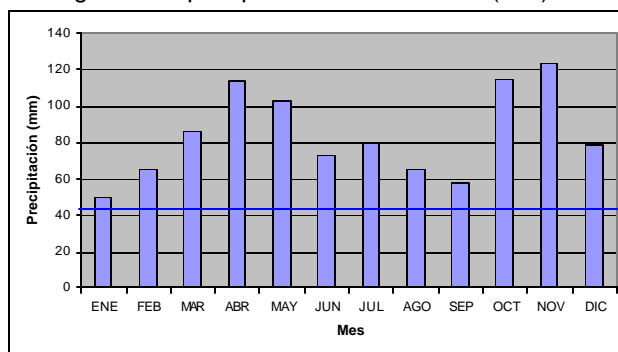
| ESTACIÓN | MESES | | | | | | | | | | | | TOTAL |
|----------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| Vitelma | 49.6 | 65.4 | 85.9 | 114.0 | 103.0 | 73.1 | 79.3 | 65.3 | 57.8 | 115.0 | 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 1011 milímetros.

A continuación, se presenta el histograma de precipitación mensual multianual de la estación Vitelma.

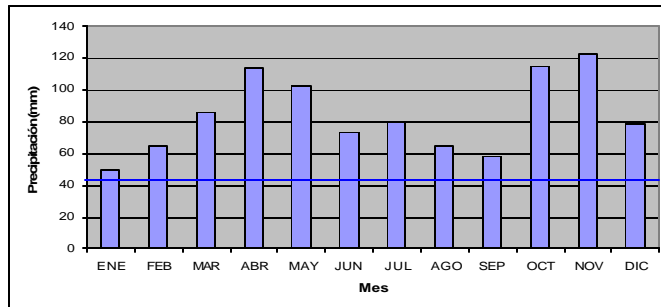
Figura 3-3 Histograma de precipitación total mensual (mm) Estación Vitelma



De la misma manera, se presentan en la siguiente tabla los valores medios mensuales multianuales de las variables climatológicas de la estación Vitelma.

Figura 3-4 Localización de estación Vitelma

Figura 3-5 Histograma de precipitación total mensual (mm) 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

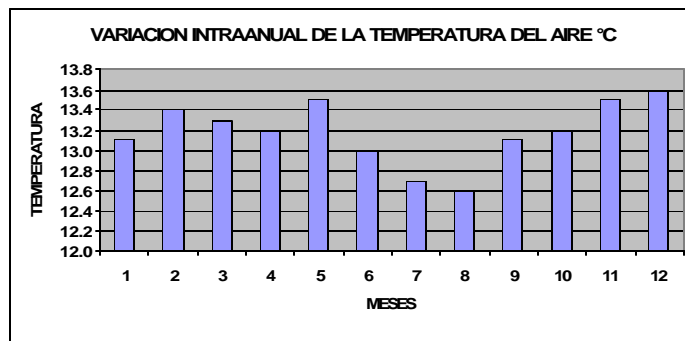
| ELEMENTOS DE CLIMA ESTACIÓN VITELMA | MESES | | | | | | | | | | | | VALOR ANUAL |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| Temperatura media | 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 |

A continuación se trata cada elemento de clima mencionado en la tabla anterior.

3.3.2 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 3-6 se presentan los valores dados en la tabla anterior.

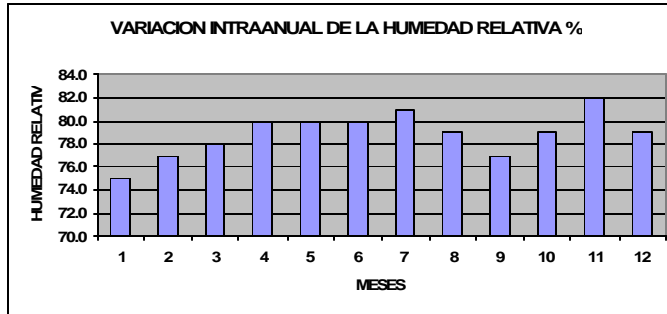
Figura 3-6 Temperatura del aire



3.3.3 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 %.

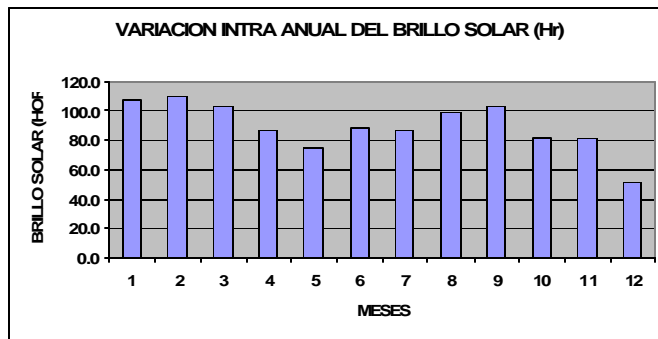
Figura 3-7 Variación de humedad relativa



3.3.4 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 % 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 siguiente figura:

Figura 3-8 Variación brillo solar

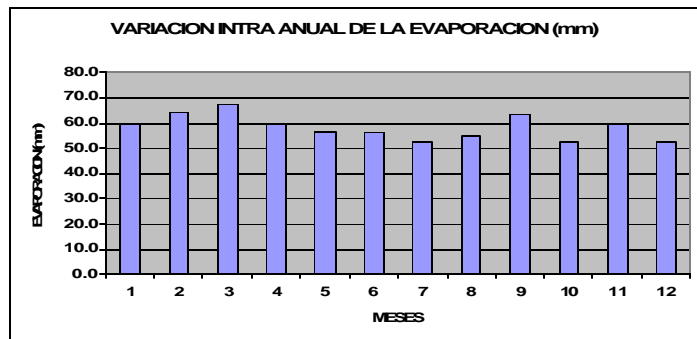


3.3.5 Evaporación

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 3-9 Variación evaporación



3.4 Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, DPAE

3.4.1 Información SIRE

Se realizó la recopilación de información existente a través de la página www.sire.gov.co, donde se encontró referencia al Barrio Atanasio Girardot. En el sector del cual hace parte el actual estudio, se han realizado diagnósticos que de alguna forma permiten evidenciar y conocer las condiciones y comportamiento geotécnico del área de estudio. Dentro de la búsqueda de información, se identificaron 6 diagnósticos, que se referencian a continuación:

Tabla 3-4 Información en la base de datos del SIRE

| No. | IDENTIFICADOR | DIRECCIÓN | FECHA | EVENTO | | |
|-----|---------------|--|-----------------------------------|----------------|-------|-------------|
| | | | | DESPLAZAMIENTO | FLUJO | REUBICACIÓN |
| 1 | DI-378 | Carrera 5 Este con Calle 2B | Enero 27 de 1998 | X | | |
| 2 | DI-606 | Carreras 4 y 5 Este entre calles 1 a 2 B | Marzo 8 de 1999. Marzo 9 de 1999. | X | | |
| 3 | DI-1434 | Carrera 4 Este No. 1F - 36 | Abril 26 de 2002, 7:00 P.M. | X | | |
| 4 | DI-2052 | Carrera 4 Este con Calle 2B | Febrero 17 de 2004 | X | | |
| 5 | DI-2698 | Carrera 5 Este # 1F-23 | 11 Abril de 2006 | X | X | |
| 6 | DI-2875 | Carrera 5 Este # 1 D - 67 | 5 de Julio de 2006 | X | | X |

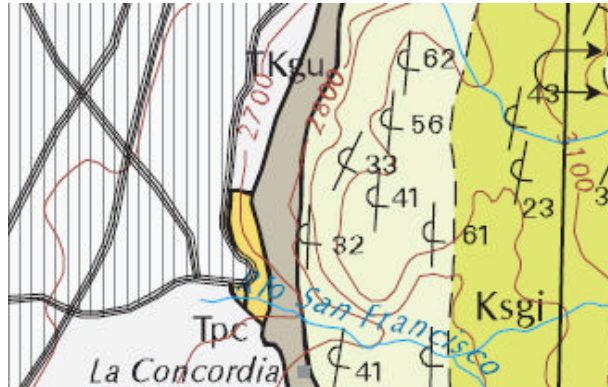
Según la información procesada, en la zona del estudio se observa una serie de eventos que se caracterizan por presentar deslizamientos y durante el año inmediatamente anterior, además de este, se evidenciaron problemas de reubicación. En la Figura 3-10, se aprecia la localización de la información relacionada anteriormente.

Figura 3-10 Localización de información del SIRE

4 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

4.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Figura 4-1 Mapa Geológico al norte del Sitio de Interés*.



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 Concordia. Es de resaltar la interpretación de la posición invertida de toda la secuencia de la Formación Guadalupe (¿)

Figura 4-2 Mapa Geológico del Departamento de Cundinamarca. (Ingeominas 99)



* , Tomado de Ingeominas (1999), Plancha K-11, Zipaquira

Obsérvese el contacto fallado entre las formaciones Guadalupe (Ksgs) y Guaduas (TKgu), al igual el trazo con color amarillo de la Formación Cacho. Todo comprendido entre los cauces de los ríos San Francisco y San Cristóbal.

4.2 LOCALIZACIÓN

El barrio Girardot 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. Hacia la parte alta de la vertiente, por lo menos en una proporción superior a la mitad en extensión, se encuentra cubierto por bosques secundarios. La parte baja y en particular el sitio de interés se encuentran cubierto por viviendas urbanas sub-normales.

4.3 GEOLOGIA GENERAL.

4.3.1 Estratigrafía

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:

? Formación Guadalupe Superior:

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.

? Formación Guaduas

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 onduladas, 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,

? **Formación Cacho:**

Principalmente arenisca cuarzosa, de grano medio, gris clara a gris naranja, estratificación cruzada común, localmente capas inter-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.

? **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.

? **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.

4.3.2 Estructuras Geológicas.

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 predominantemente con rumbos NS a N10°E, 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.

4.4 GEOMORFOLOGÍA

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 Bogotá, 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.

4.5 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 principalmente 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.

4.5.1 Litología y Suelos

Formación Guaduas (TKgu): Se asume como material perteneciente a esta formación y representada como un nivel de arcillolita abigarrada con colores morado y gris a habano, con textura pastosa, y masiva. 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 o suelo residual es de 2 a 4 m. Este material de suelo residual y los depósitos coluviales descritos adelante hacen parte del movimiento presentando,

En el sitio de estudio y dentro del área afectada por inestabilidad aflora a la base del escarpe principal, y establece el plano de falla del movimiento. También fue encontrada en las perforaciones y en los apiques de investigación del sub-suelo, con profundidades variables hasta de unos 3m.

Formación Cacho (Tc):

Corresponde a una secuencia de arenisca cuarzo feldespática y arcillosa, compacta y ligeramente dura en ocasiones friable, y color rojo a ocre que aflora a manera del contrafuerte en el flanco izquierdo o sur del movimiento en estudio. Se trata de una secuencia de bancos de arenisca de 1.5 a 2.0 m, de estratificación cruzada y truncada, con intercalaciones lenticulares de arcillolita y limolita, con estratificación delgada. Toda la secuencia se observa afectada por costras de óxido férrico, en casos concordantes con la estratificación, en otros a manera de rellenos de fracturas, hasta de unos 2 a 3 cm., y también de manera invasiva dentro de la secuencia.

Se le asigna a esta secuencia local como perteneciente a la Formación Cacho en base a la notoria presencia de óxido férrico, situación que siempre expone esta secuencia en todos los alrededores de la Sabana de Bogotá. Parece que se trata de un episodio geológico muy marcado que indica una exposición sub-aérea durante su sedimentación, y por lo tanto el desarrollo de perfiles de tipo laterítico, y en general el desarrollo de corazas férricas.

Deposito 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 concentra por debajo del nivel de arcillolita que se localiza por debajo del nivel de arenisca, esta última de manera relativa de mayor dureza.

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, predominantemente arcillosa, plástica y blanda al estar bajo condiciones húmedas, y firme a dura al secarse. Estos materiales se encuentran hacia la parte inferior de la ladera y costado oriente y su delimitación no es clara debido a los cortes y rellenos realizados para la ubicación de las antiguas viviendas.

Depósitos de Deslizamientos (Qdd):

A partir de los suelos descritos arriba como coluviales, suelos residuales y depósitos antrópicos, se registran masas que han sufrido la transposición y desplazamientos hacia las partes topográficamente más bajas. El material original expone cierto remoldeo y desarrollo de acumulaciones de geometría lobular. Los contornos de estas masas se encuentran limitadas por sutiles escarpes o escalones topográficos a manera de coronas locales que indican condiciones de inestabilidad reciente y activa. La composición es igual o similar a la de los suelos coluviales, con menor compactación y consolidación debido a su reciente conformación.

Estos depósitos se localizan hacia la parte inferior del sitio considerado como inestable y se observa que flujos o desplazamientos recientes han invadido la banca de la calle, recientemente pavimentada con losas de concreto.

4.5.2 Estructuras y Discontinuidades

El flanco occidental o izquierdo del sitio inestable lo conforma el nivel resistente de la Formación Cacho (Tpc). Limita de manera neta el flanco del movimiento, con el contrafuerte que producen los planos de estratificación.

Los planos de la estratificación presentan orientación de 245°/ 55°, con buzamiento evidente hacia fuera del área afectada, es decir bajo condición favorable. El diaclasamiento principal corresponde a la contrapendiente a los planos de estratificación, con orientación de 95°/ 40°. Este plano coincide con el flanco izquierdo del movimiento y o acumulación del suelo coluvial mencionado.

La disposición de los planos mencionados debe continuar con igual orientación en la masa que encierra o limita a la masa inestable. Las estructuras no parecen ser factores definitivos en la inestabilidad de interés.

Si es importante mencionar que la orientación de los planos de estratificación no es consistente con la expectativa regional. Es decir, la disposición general, Ingeominas (2002), cita la disposición de la secuencia de roca sedimentaria con buzamientos hacia el oriente, aquí aparece en sentido contrario. Esta situación debe estar relacionada a la Falla Bogotá.

4.5.3 Geomorfología y Procesos de Inestabilidad.

El sitio en estudio, y bajo condiciones de inestabilidad implica la inestabilidad de un depósito de tipo coluvial. Se aprecia en su contorno occidental el desarrollo de todas las características de una serie de condiciones de inestabilidad reciente. El extremo oriental, el escarpe rocoso, se expone directamente, y parece que el material coluvial fue removido totalmente.

El área ocupada por el suelo coluvial queda delimitada por el nivel de arenisca mencionada, continua hasta la parte alta, conformando un escarpe rocoso con dirección NWW – SEE, a la base de una serie de viviendas que aun no registran inestabilidad, con una longitud de unos 80 m, para luego girar hasta presentar una dirección NNW. La parte afectada por la inestabilidad se asocia a los primeros 45 m del escarpe principal. La porción del escarpe que se dispone hacia el NE se encuentra totalmente vegetada, hasta con desarrollo de árboles que presentan condiciones normales de crecimiento.

En resumen se tiene: que la diferencia de altura del movimiento es de unos 14 m ; la longitud entre la base y el escarpe es de 60 a 65 m; la longitud o ancho del escarpe principal inicial es de 80, de los cuales, se dividen en 45 m en extremo sur –occidental, asociados a la presencia del depósito coluvial actual y suelos residuales , y los otros 35 m, a solo el escarpe vertical cubierto por vegetación densa, y sin viviendas.

El suelo coluvial y residual de arcillolita se encuentra apoyado directamente sobre la roca de la Formación Guaduas, compuesta principalmente por arcillolitas abigarradas con meteorización moderada a alta, de colores morado a la base y rojo anaranjado a amarillo rojizo al la parte mas externa. La pendiente del depósito coluvial y suelos residuales es del orden de 23° en la parte inferior y de unos 10° hacia la porción superior.

La inestabilidad se localiza hacia el tercio inferior de la ladera que se observa por encima de la calle. No hay signos de inestabilidad por debajo de la vía. La inestabilidad expone una serie de escalonamientos convexos, vista en planta, con diferencia de altura de 2 a 4 m, con el desarrollo del material transpuesto por debajo de dichos escarpes. El material desplazado alcanza a presentar geoformas de fluxión y de acomodamiento de material con humedad alta, incluso se aprecia la invasión de material desplazado sobre las losas de concreto.

La cota promedio de los escarpe recientes y activos se localizan hacia los 2712 m.s.n.m., la cota de la vía en el tramo de la inestabilidad se encuentra entre 2709 y 2707 m.s.n.m.

La masa que evidencia el mayor desplazamiento en distancia es el que se localiza hacia el extremo oriental del sitio, el cual parece que la masa original se disgregó desde el escarpe principal. Los otros definitivamente se activaron hacia la pata del talud.

Existen otros escarpes o escalonamientos menores por encima de los mencionados, y seguramente están relacionados al desconfinamiento del suelo ante la inestabilidad en la base. Estos últimos son los que afectaron de manera severa a las viviendas que ya han sido desocupadas y totalmente destruidas ante el proceso de estudio.

La humedad es alta, y se registra algunos puntos a manera de manantiales con caudales bajos. No hay evidencia de erosión hídrica activa, seguramente relacionada a la densa cubierta de pastos y rastrojo que aparece en toda la superficie. Cabe destacar que esta situación complementa y confirma la alta condición de humedad en el sitio.

Parece que el orden de los eventos que generaron la inestabilidad se relaciona de la siguiente manera:

- ? Erosión consecuente entre el nivel de arenisca y la arcillolita abigarrada, con la creación de un zanjón o canal local. La profundización ocurrió a lo largo del nivel mas blando a la erosión.
- ? El relleno parcial de dicho zanjón mediante la erosión de las paredes laterales y desprendimiento de los mismos.
- ? Se establece el suelo coluvial y residual bajo condiciones de estabilidad natural.
- ? Se mantiene una ladera confinada dentro de la vertiente en alguna posición intermedia o “colgada”.
- ? La líneas de flujo superficial y del sub-suelos son de tipo convergente, adicionalmente, el tipo de suelo sobre-impuesto es de condición de baja a muy baja permeabilidad.
- ? No es de descartar que este suelo por su carácter arcilloso y oxidado fuese una fuente de arcilla para la fabricación de ladrillo, condición que se deduce de la gran amplitud de la corona y la remoción amplia del material hacia el extremo oriental como se indicó anteriormente.
- ? La utilización de viviendas sobre el suelo, de por sí húmedo, pudo iniciar su condición inestable ante la modificación al realizar las explanaciones para las viviendas y ante la mala conducción de las aguas servidas.
- ? La ampliación de la vía y la conformación de la estructura del pavimento pudo inducir un aumento o elevación de la tabla del agua.
- ? La inestabilidad se genera inicialmente en la parte inferior, y de manera progresiva y retrogresiva se afecta toda la masa del suelo.

Las Fotografías aéreas se pueden ver en el ANEXO 2.

4.6 ASPECTOS DE HIDROGEOLOGÍA

La zona corresponde a la parte media de la ladera, en donde los cortes viales controlan la línea de agua existente. El material inferior que corresponde a la arcillolita es impermeable dejando que el material de la parte superior con permeabilidad intermedia se sature fácilmente acumulando agua y drenando finalmente sobre el contacto sobre la roca. Este proceso es lento y progresivo ayudando a que el contacto de suelo residual / rellenos y la roca se altere generando una superficie de falla, proceso que ha sido ayudado por las aguas negras de constante caudal.

5 MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO INTEGRAL

5.1 INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUBSUELO

Para determinar las características y propiedades mecánicas del subsuelo, se adelantaron una serie de actividades de exploración del subsuelo consistente en perforaciones, apiques y trincheras, así como ensayos de laboratorio. Posteriormente, se realiza un análisis de las propiedades obtenidas de acuerdo a los registros de campo, de la geología y geomorfología en la zona de estudio. Este análisis permitió determinar las propiedades de cada uno de los materiales y así el modelo de estabilidad de la zona.

5.1.1 Exploración del subsuelo

Se estableció el plan de exploración presentado en el Plano No. 2 Geología con el objeto de establecer las principales condiciones del subsuelo en relación con la distribución de los materiales y su comportamiento mecánico. Se ejecutaron seis perforaciones mecánicas con profundidad variable entre 2.0 m y 6.50 m, ocho apiques, y 3 trincheras. Durante estas exploraciones se recuperaron muestras de los materiales encontrados, permitiendo su identificación y la caracterización detallada en el laboratorio. La localización de las perforaciones, la cota y profundidad máxima obtenida se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5-1 Descripción de exploraciones

| Perforación No. | NORTE m | ESTE m | Espesor perforado en | | Prof. total (m) |
|-----------------|---------|----------|----------------------|-----------|-----------------|
| | | | COTA msnm | suelo (m) | |
| P1 | 98763.3 | 100501.7 | 2711.0 | 2.05 | 4.90 |
| P2 | 98756.3 | 100509.1 | 2716.0 | 3.90 | 6.50 |
| P3 | 98743.3 | 100506.2 | 2720.0 | 1.15 | 3.75 |
| P4 | 98753.7 | 100534.7 | 2720.5 | 3.15 | 5.90 |
| P5 | 98748.5 | 100514.1 | 2719.5 | 1.80 | 1.80 |
| P6 | 98766.1 | 100513.0 | 2710.5 | 3.35 | 3.35 |
| P7 | 98768.1 | 100518.7 | 2710.5 | 1.5 | 1.5 |
| P8 | 98766.3 | 100512.3 | 2710 | 2.15 | 2.15 |

| Perforación No. | NORTE m | ESTE m | COTA msnm | Espesor perforado en suelo (m) | Espesor perforado en roca (m) | Prof. total (m) |
|-----------------|---------|----------|-----------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| P9 | 98765.6 | 100508.0 | 2709.5 | 2.85 | - | 2.85 |
| P10 | 98765.5 | 100496.1 | 2710.5 | 1.85 | - | 1.85 |
| P11 | 98760.8 | 100507.8 | 2713.0 | 5.47 | - | 5.47 |
| TOTAL | | | | 28.77 | 10.80 | 39.57 |
| AP1 | 98760.5 | 100506.1 | 2713.5 | 2.00 | - | 2.00 |
| AP2 | 98759.8 | 100514.5 | 2714.0 | 2.20 | - | 2.20 |
| AP3 | 98753.4 | 100509.9 | 2717.0 | 2.00 | - | 2.00 |
| AP4 | 98753.5 | 100495.2 | 2720.0 | 2.00 | - | 2.00 |
| AP5 | 98742.3 | 100503.4 | 2721.5 | 1.50 | - | 1.50 |
| AP6 | 98754.8 | 100538.9 | 2722.0 | 1.00 | - | 1.00 |
| AP7 | 98749.1 | 100532.6 | 2722.0 | 1.70 | - | 1.70 |
| AP8 | 98753.0 | 100524.6 | 2719.0 | 2.30 | - | 2.30 |
| T1 | 98742.3 | 100503.4 | 2721.5 | 3.50 | - | 3.50 |
| T2 | 98754.8 | 100538.9 | 2722.0 | 2.90 | - | 2.90 |
| T3 | 98763.1 | 100511.5 | 2711 | 5.95 | - | 5.95 |

Durante el avance de las perforaciones con equipo mecánico se realizaron ensayo de penetración estándar, SPT, utilizando un martillo tipo Donut de peso 67,5 Kg (140 lbs), altura de caída libre de 0,75 m (30"), hincando el toma muestras tipo SS (cuchara partida) o tubo de pared delgada (shelby) según sea el caso. En los apiques y trincheras igualmente se hincaron tubos shelby y se tomaron muestras de bolsa para clasificación. En dos de los apiques se realizó el ensayo de permeabilidad en campo. La distribución de los sondeos permitió identificar la secuencia estratigráfica de materiales y corroborar información de geología regional y local. En el ANEXO 3 se presentan los resúmenes gráficos de los registros de cada una de las perforaciones, apiques y trincheras.

Para la definición de la estructura de contención se realizaron cuatro perforaciones con percusión y lavado, obteniendo muestras representativas para clasificación visual y definición de nivel de cimentación por medio del ensayo de SPT.

5.1.2 Ensayos de laboratorio

Sobre las muestras obtenidas de las exploraciones se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

Tabla 5-2 Cantidades de ensayos de laboratorio ejecutados

| ENSAYO | CANTIDAD |
|------------------------|----------|
| Humedad natural | 18 |
| Límites de atterberg | 17 |
| Corte directo en suelo | 3 |
| Compresión Inconfiada | 3 |
| Consolidación | 1 |

5.2 PROPIEDADES ÍNDICE Y CARACTERIZACION GEOMECÁNICA

5.2.1 Perfil geotécnico - geológico

Con la información obtenida de ensayos de laboratorio y campo se procedió a analizar las diferentes características de los materiales. Dentro de estas condiciones es importante tener en cuenta que el análisis geológico tuvo una interacción directa con la geotecnia teniendo en cuenta las condiciones de los materiales observados y sus espesores. De esta forma se identifican tres tipos de materiales así:

Tabla 5-3 Definición de tipo de material

| Nombre | Símbolo | Tipo | Definición |
|-------------------------------|----------|------|---|
| Rellenos | Qa | 1 | Rellenos antrópicos. Espesor menor a 2.0 m. Ubicados en los diferentes puntos de viviendas reasentadas. |
| Depósito coluvial | Qc | 2 | Depósito coluvial matriz soportado. Su continuidad no es clara debido a los cortes y rellenos realizados en la zona. Aparece pequeños parches hacia la parte inferior de la ladera. |
| Suelo residual de arcillolita | Tkgu res | 3 | Suelo residual de arcillolita de la Formación Guaduas. Espesor entre 2 a 4 m. |
| Roca | Tkgu | 4 | Arcillolita abigarrada con colores morado y gris habano.. |

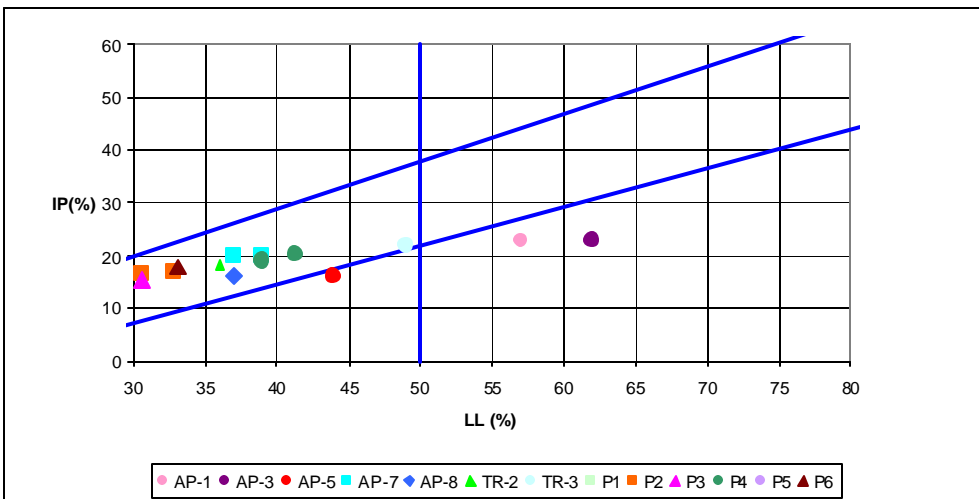
Figura 5-1 Sección geotécnica

Los materiales 2 y 3 son tratados como una sola unidad teniendo en cuenta que los depósitos coluviales no fue posible delimitarlos en sus contactos por los cortes y rellenos existentes y teniendo en cuenta que el movimiento se ha presentando en los suelos residuales de arcillolita y los rellenos antrópicos que se ubican sobre estos materiales.

5.2.2 Propiedades índices

A continuación se presenta la carta de plasticidad de los materiales encontrados:

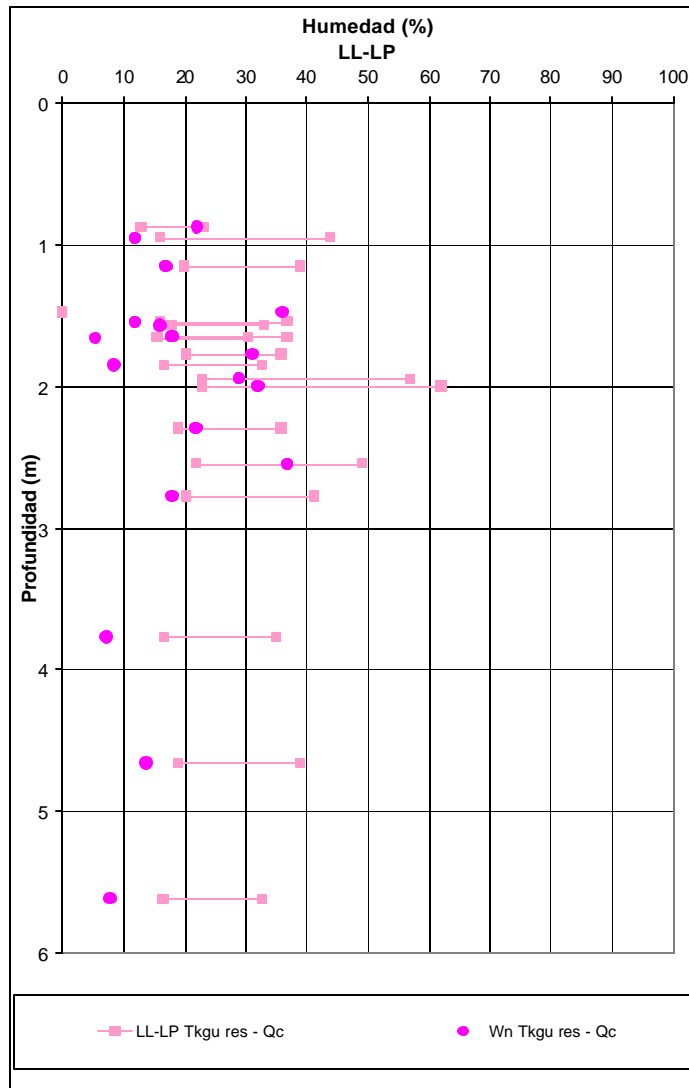
Figura 5-2 Carta de plasticidad



De esta figura es importante comentar que las dos muestras que presentan valores altos en la zona de arcillas orgánicas de límite líquido 57 y 62, se encuentran en profundidades similares cercanas a 2 m. En general las demás muestras en la zona de arcillas de plasticidad alta con valores de límite líquido entre 36 y 49 y con un contenido importante de limos.

La plasticidad de suelos ejecutada con la profundidad se presenta en la siguiente figura:

Figura 5-3 Plasticidad vs profundidad



Se puede observar que para las muestras entre 0.95 y 1.65 m de profundidad presentan humedades naturales más bajas que el límite plástico; a partir de esta profundidad se observa un ganancia importante de humedad, lo cual refleja el nivel de agua observado en las perforaciones.

5.2.3 Ensayo de penetración estándar - SPT

Para tener en cuenta el confinamiento del material y la relación de energía promedio aplicada se aplica de acuerdo con la siguiente expresión:

$$N_i = C_N \cdot N \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3 \cdot \gamma_4$$

En donde:

- N_i : Número de golpes corregido para un determinado nivel de transmisión de energía i
- C_N : Factor de ajuste para tener en cuenta el esfuerzo geostático, γ_v . Se evaluó con base en las propuestas de Peck, Seed, Meyerhoff -Ishihara, Liao-Whitman, Skempton, Sedd-Isdriss, Schmertmann y González, cuidando siempre que este factor no resultara mayor que 2.. Estos valores posteriormente se promediaron
- γ_1 : Factor de corrección por eficiencia de energía transmitida del martillo al varillaje y al toma muestras. Se obtiene como la relación entre las eficiencias medias de cada país así, para Japón la eficiencia es del 72%, para USA del 60% y para Colombia del orden de 45%.
- γ_2 : Factor de corrección por longitud del varillaje.
- γ_3 : Factor de corrección por presencia de revestimiento. Debido a que no se utilizó revestimiento, el factor de corrección es 1.0.
- γ_4 : Factor de corrección por diámetro de la perforación. Los diámetros de las perforaciones fueron inferiores a 0,12 m, por lo cual el factor de corrección es 1.0

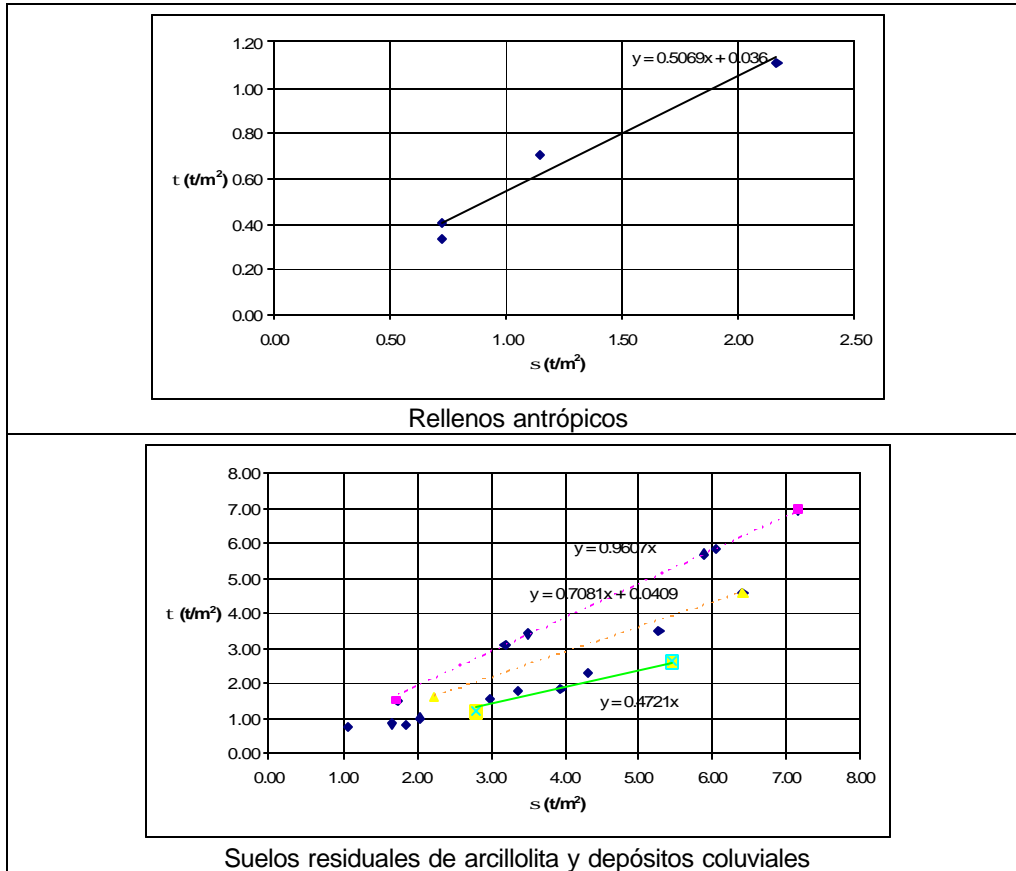
Con el fin de estimar valores de ángulo de fricción equivalente, γ_{eq} , en la misma tabla se promediaron los resultados obtenidos de las siguientes expresiones:

| | |
|---------------|--|
| Kishida | $\gamma = 15 + \gamma (20 \cdot N_{72})$ |
| JRB | $\gamma = 15 + \gamma (15 \cdot N_{72})$ |
| Shiou & Fukui | $\gamma = 27 + 0.36 \cdot N_{72}$ |
| JNR | $\gamma = 27 + 0.30 \cdot N_{72}$ |

Finalmente, se estiman los parámetros c' y γ' por material siguiendo la metodología propuesta por González, A. J. (1999) que consiste en graficar puntos (γ_v' , γ) en planos Mohr -Coulomb, donde los coeficientes de una regresión lineal, corresponden a los parámetros geomecánicos efectivos buscados.

El esfuerzo efectivo vertical γ_v' , se calcula como la diferencia entre el esfuerzo geostático total y la presión de poros y , el esfuerzo cortante a la profundidad del ensayo, γ , se obtiene como el producto del esfuerzo efectivo vertical por la tangente del ángulo de fricción equivalente estimado antes. En la Figura siguiente se presenta el análisis de propiedades del subsuelo para los diferentes tipos de materiales:

Figura 5-4 Análisis de propiedades mecánicas por SPT



Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5-4 Parámetros de suelos con SPT

| MATERIAL | TENDENCIA SPT | tan (fi) | φ° | c (t/m ²) |
|------------------------------------|---------------|----------|-------|-----------------------|
| Relleno | PROMEDIO | 0.507 | 26.88 | 0.0360 |
| | MAXIMA | 0.961 | 43.85 | 0.0000 |
| Suelo residual + depósito coluvial | INTERMEDIA | 0.708 | 35.30 | 0.0409 |
| | MINIMA | 0.472 | 25.27 | 0.0000 |

5.2.4 Nivel de agua en exploraciones y permeabilidad

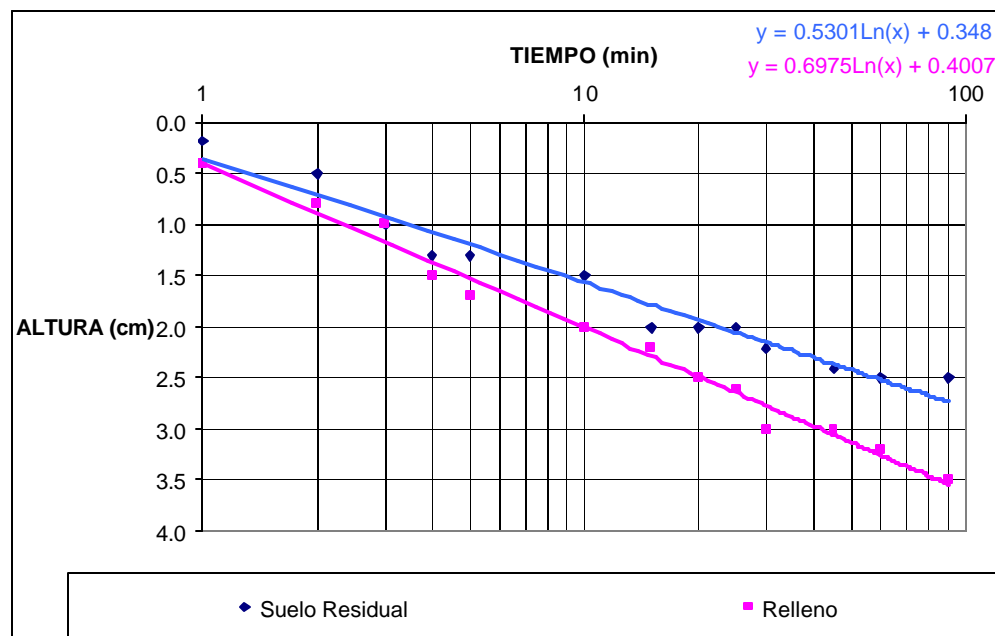
En las perforaciones y apiques efectuados se encontraron niveles de agua bajo la superficie del terreno los cuales se aprecian en la siguiente tabla:

Tabla 5-5 Nivel de agua

| PERFORACIÓN | FECHA | HORA | PROFUNDIDAD (m) |
|-------------|----------|-----------|-----------------|
| P-2 | 28/12/06 | 10:00 a.m | 2.20 |
| P-2 | 28/12/06 | 12:30 m | 2.70 |
| P-3 | 28/12/06 | 1:00 p.m | 1.60 |
| P-3 | 28/12/06 | 4:00 p.m | 1.80 |
| P-4 | 29/12/06 | 9:00 a.m | 2.60 |
| P-4 | 29/12/06 | 12:00 m | 2.90 |

Se realizaron dos ensayos en apiques para determinar la velocidad de infiltración en campo, por medio de ensayos de percolación (permeabilidad in situ) siguiendo las recomendaciones del método desarrollado por González (1987). Los resultados se presentan en la siguiente figura:

Figura 5-5 Ensayo de permeabilidad



Los valores obtenidos se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 5-6 Ensayo de permeabilidad en campo

| Ensayo | Tipo de material | Permeabilidad (cm/s) [cm/h] | Apreciación de la permeabilidad | Localización Ensayo |
|--------|------------------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------|
| 1 | Relleno | 6.03×10^{-4} [2.17cm/h] | Media a baja | A media ladera |
| 2 | Suelo Residual | 7.93×10^{-4} [2.85 cm/h] | Media a baja | A media ladera |

Como se puede observar estos materiales tienen permeabilidad de media a baja con condiciones de arcilla (impermeable).

5.2.5 Resistencia al corte

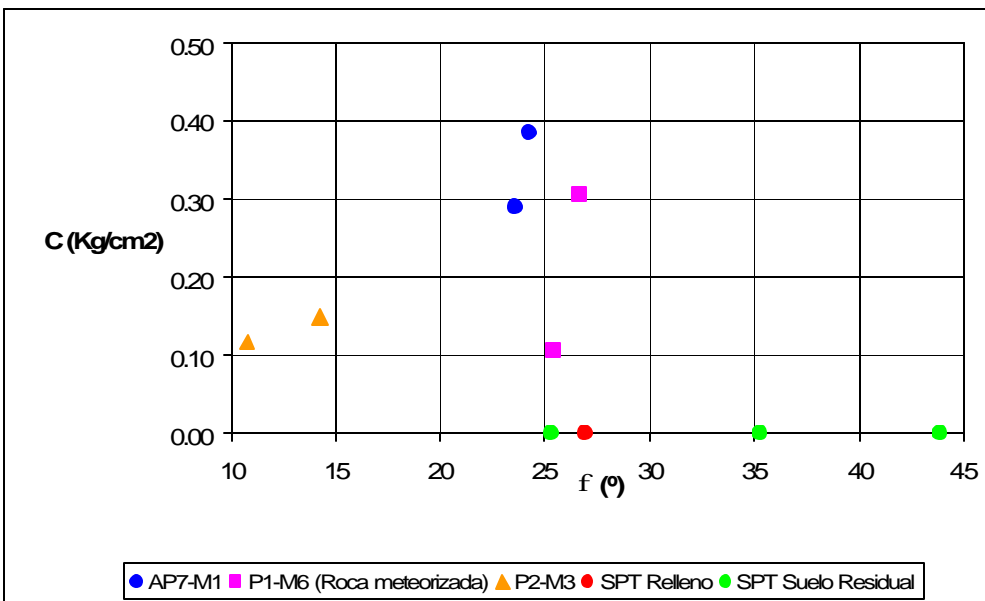
Para evaluar las condiciones de resistencia de los suelos encontrados se realizaron tres cortes directos: dos en suelo residual de arcillolita obtenida en tubo shelby y uno en roca meteorizada en núcleo, muestra la cual fue saturada previamente y fallada, simulando condiciones de suelo residual. Para cada uno de estos ensayos se determinaron cohesión y ángulo de fricción pico y residual de cada material:

Tabla 5-7 Ensayos de corte directo

| MUESTRA | PROF. (m) | Material | Condición | f | c (kg/cm ²) |
|---------|-----------|------------------|-----------|-------|-------------------------|
| AP7-M1 | 0.90-1.20 | Suelo residual | Pico | 24.26 | 0.38 |
| | | | Residual | 23.59 | 0.29 |
| P1-M6 | 3.60-4.90 | Roca meteorizada | Pico | 26.69 | 0.31 |
| | | | Residual | 25.41 | 0.11 |
| P2-M3 | 1.70-2.65 | Suelo residual | Pico | 14.22 | 0.15 |
| | | | Residual | 10.72 | 0.12 |

Finalmente, los datos de corte directo y el ensayo de SPT son representados en la siguiente figura:

Figura 5-6 Parámetros geomecánicos por SPT y ensayo de corte directo



6 AMENAZA

6.1 INTRODUCCIÓN

La amenaza se debe entender como la probabilidad de que ocurra la falla para cualquier mecanismo en un determinado lapso de tiempo. Esta amenaza se relaciona con el sitio puntual según el tipo de movimiento o mecanismo. En este capítulo se aborda la probabilidad de falla de los materiales y por otra, la probabilidad de que ellos avancen. La conjugación de estos dos elementos permite la definición de franjas de amenaza graduales semi-paralelas a los taludes (hacia arriba y hacia abajo) que tienen que ver con las distancias de viaje, eventos retrogresivos o afectación de terrenos de los taludes que involucran los materiales y su resistencia al deslizamiento.

De esta forma se puede definir para las condiciones del suelo el siguiente modelo de análisis: Se definen la o las secciones típicas para análisis, la configuración o perfil geotécnico y sus propiedades mecánicas. Posterior a esto se define el mecanismo de falla y la amenaza que es función del factor de seguridad, FS para las combinaciones de variables aleatorias extremas como son: parámetros geomecánicos (c y ϕ) e influencia de los sismos y las lluvias (Rosenblueth, 1975 y Hart, 1987). La tercera etapa consiste si es el caso en la definición de las distancias de viaje: como funciones de probabilidad a partir de un valor único en la posible falla del suelo.

Se definió una sección de análisis a la cual en el marco de interrelación geológica y geotécnica se identificaron los espesores de materiales y sus características para el posterior modelamiento.

6.2 VARIABLES ALEATORIAS: LÍMITES

Se consideran como variables aleatorias o fuentes de incertidumbre: la cohesión, el ángulo de fricción, el grado de reblandecimiento de los materiales (relacionado con la lluvia) o la presencia de presiones de agua y la aceleración sísmica.

El sismo entendido como evento condicionante o exógeno, recibió tratamiento basado en la Microzonificación Sísmica de Bogotá. Todos los demás parámetros se suponen conocidos y con muy baja variabilidad, es decir, determinísticos. La incorporación de los agentes disparadores de los procesos de inestabilidad en los modelos de análisis, se concentrará en este numeral exclusivamente a la acción de la lluvia y el sismo y no a agentes antrópicos u otros.

El nivel de agua se trabajó a un metro de la superficie del terreno para condiciones actuales y extremas, nivel obtenido en campo en los trabajos de exploración del subsuelo. En condiciones sin agua, se colocó el nivel de agua sobre el contacto del suelo y la roca.

La aceleración horizontal del terreno en caso de sismo se tiene en 0.24, correspondiente a la Zona I, Cerros, 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.

Los parámetros de resistencia son producto de la caracterización geomecánica expuesta en el capítulo anterior. Para el análisis se utilizaron los valores de borde obtenidos por los ensayos de corte directo, es decir que no se utilizó un valor promedio entre valores de cortes directos (por la cantidad mínima de datos) ni se incluyó los obtenidos por el ensayo de penetración estándar, los cuales sirvieron como calibración pero presentan incertidumbres en cuanto a cohesión en suelos finos.

En la Tabla siguiente se resumen los valores de los parámetros utilizados: c_{min} , c_{max} , ϕ_{min} , ϕ_{max} , a_{min} , a_{max} , $agua_{min}$ y $agua_{max}$ para el análisis:

Tabla 6-1 Valores extremos de las variables aleatorias

| Material | PARÁMETROS DE ANÁLISIS | | | | Agua | a_{max} |
|--|------------------------|-------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|-----------|
| | ϕ_{min} (°)? | ϕ_{max} (°)? | c'_{min} (T/m ²) (kPa) | c'_{max} (T/m ²) (kPa) | | |
| Relleno | | 27 | - | 0.03 (0.30) | Determinado anteriormente para nivel máximo a 1.0 m sobre la superficie del terreno y nivel mínimo en el contacto de suelo – roca | 0.24 g |
| Suelo residual - depósito coluvial Tkgu-res y Tkgu-met | 10.72 | 26.69 | 1.20 (12) | 3.1 (31) | | |

Las condiciones del relleno fueron determinadas a través del ensayo de SPT. El contacto entre el suelo y roca fue modelado con un espesor de 50 cm con propiedades de Tkgu-res, teniendo en cuenta que este nivel hace parte de una roca meteorizada.

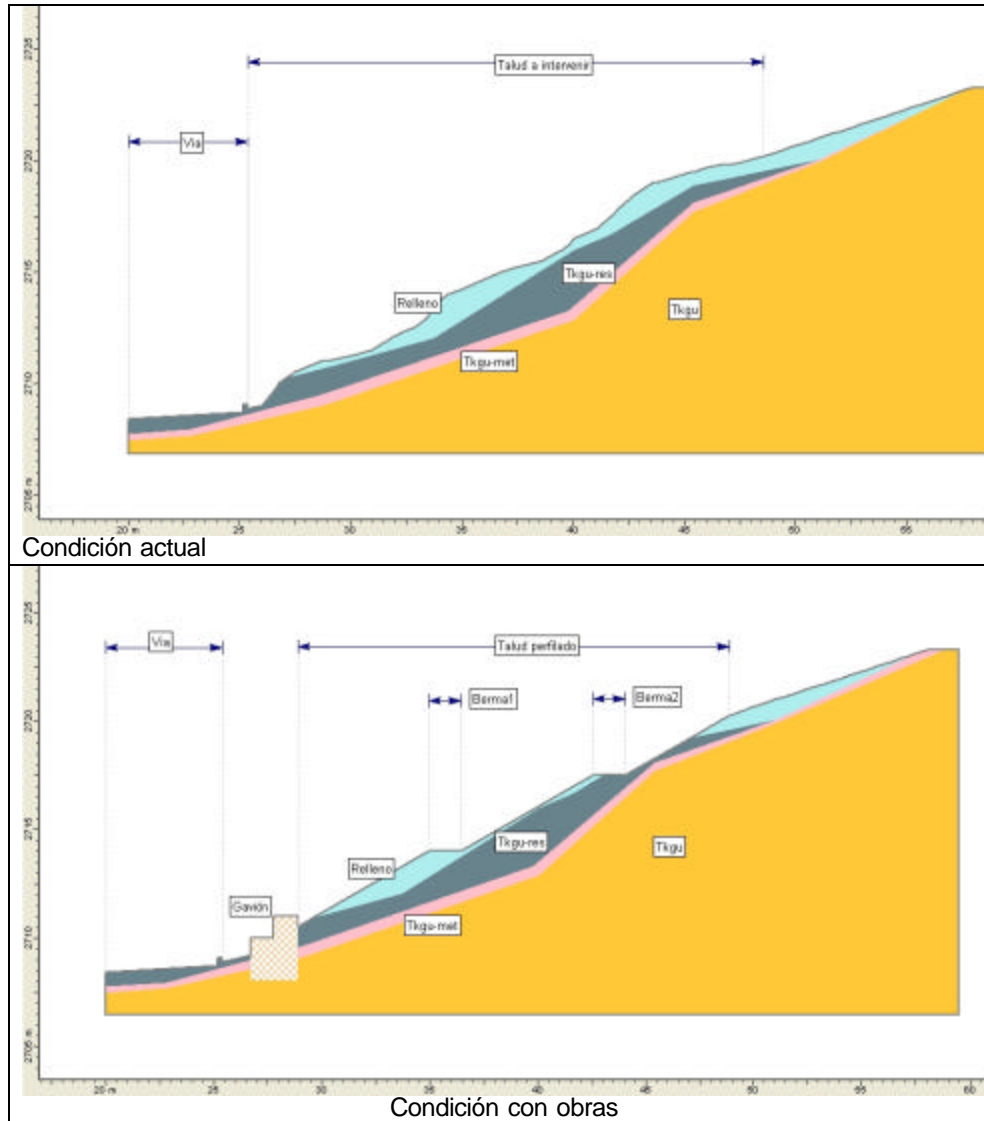
Para el análisis en suelo las condiciones del material rocoso no fue tenido en cuenta para el análisis de estabilidad ya que es intrascendente en el modelamiento y solo interpreta el movimiento sobre esta superficie.

6.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Se realizó dos tipos de análisis: 1) Condición actual con agua y sin sismo y 2) Condición con obras sin agua y con sismo.

En la Figura siguiente se presenta las dos condiciones secciones realizadas:

Figura 6-1 Condiciones de análisis



Factores de seguridad

Se realizó el análisis de estabilidad para las dos condiciones. La evaluación de estabilidad se planteó con métodos de equilibrio límite: falla rotacional sobre superficie crítica, empleando como herramienta de trabajo el programa Slide 5.0, método de Bishop.

Se corrieron 1000 superficies para los diferentes valores de aceleración y condición de agua. En la figura siguiente se presenta una corrida modelo:

Figura 6-2 FS para condición actual con C_{max}

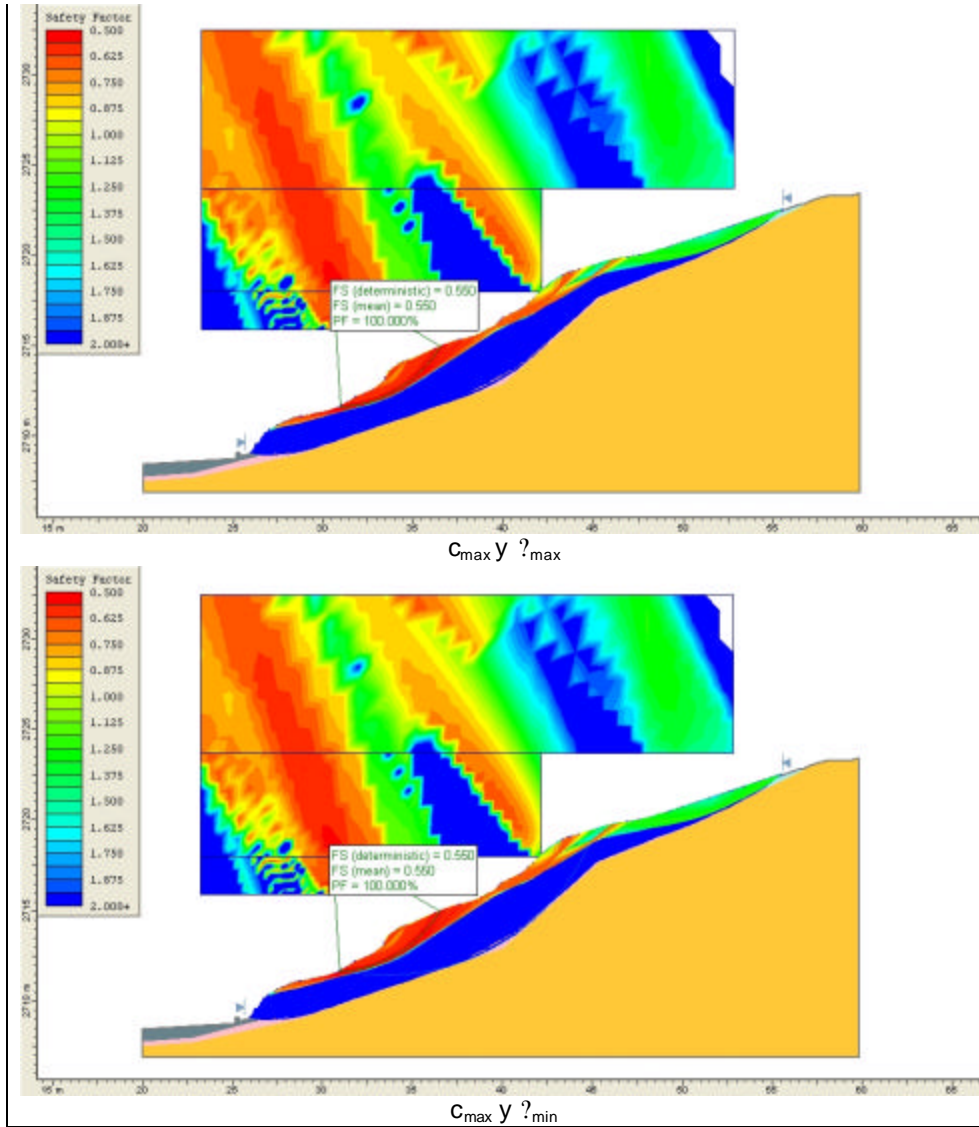


Figura 6-3 FS para condición actual con C_{min}

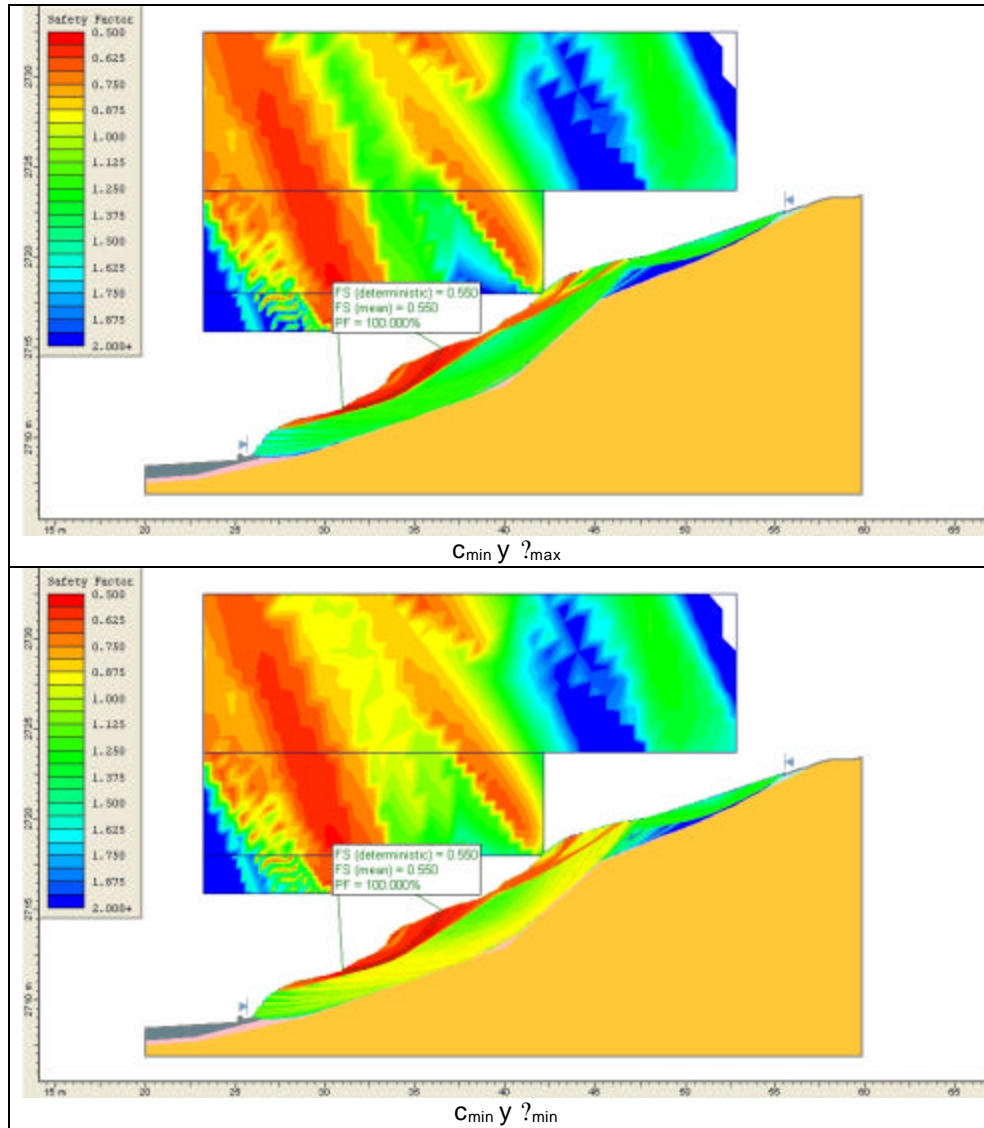


Figura 6-4 Corrida para condición con obra y sismo C_{max}

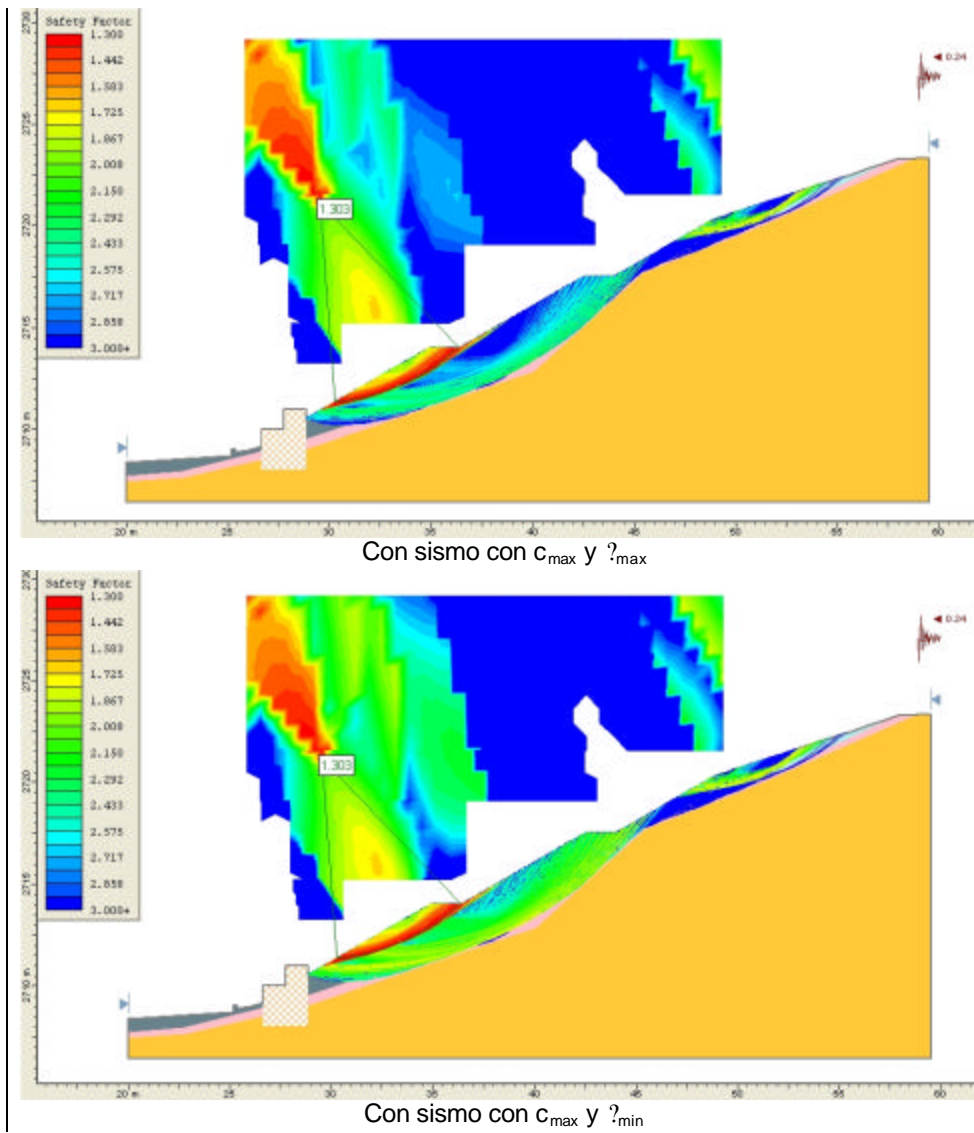


Figura 6-5 Corrida para condición con obra y sismo C_{min}

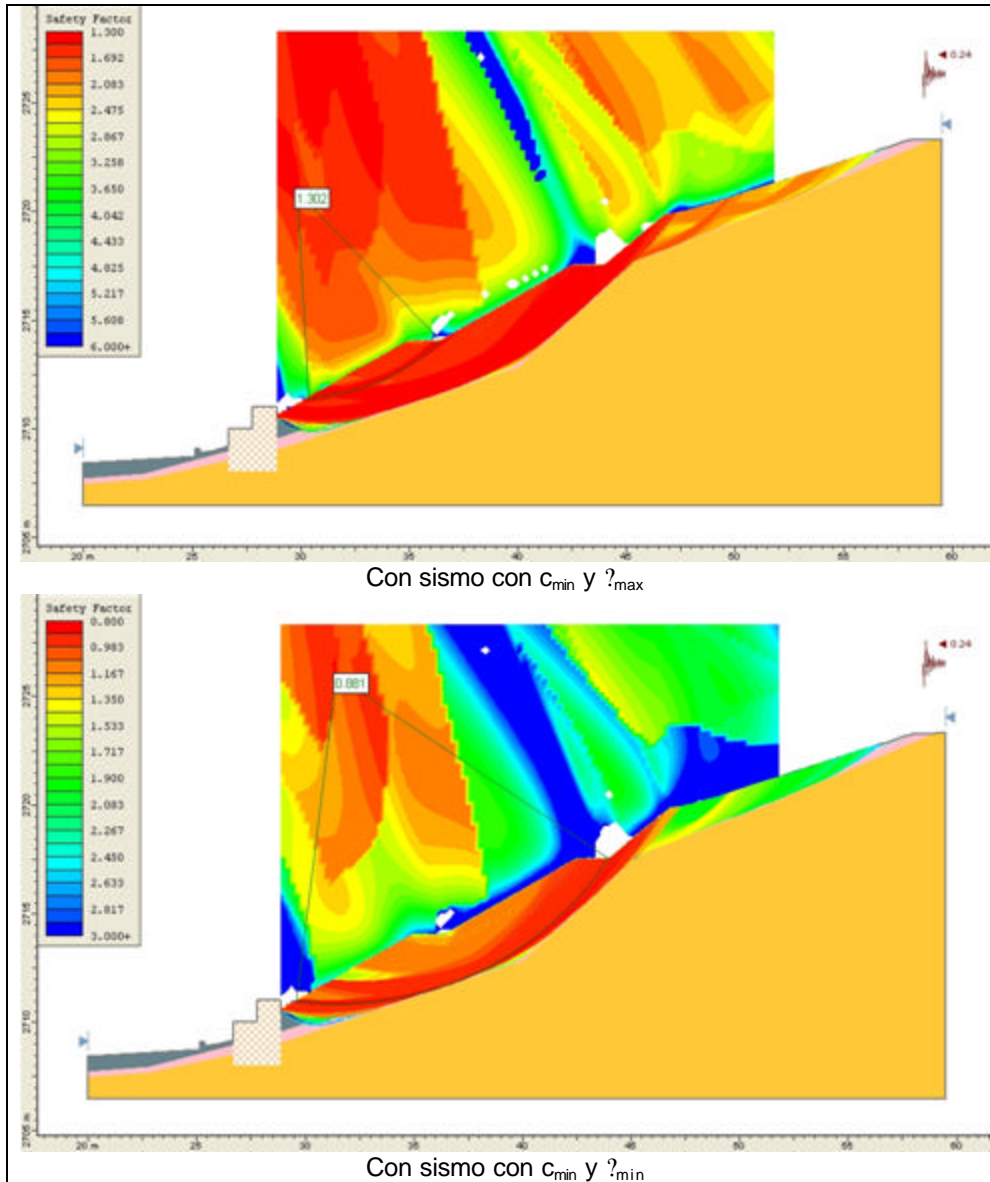


Figura 6-6 Corrida para condición con obra y sin sismo C_{max}

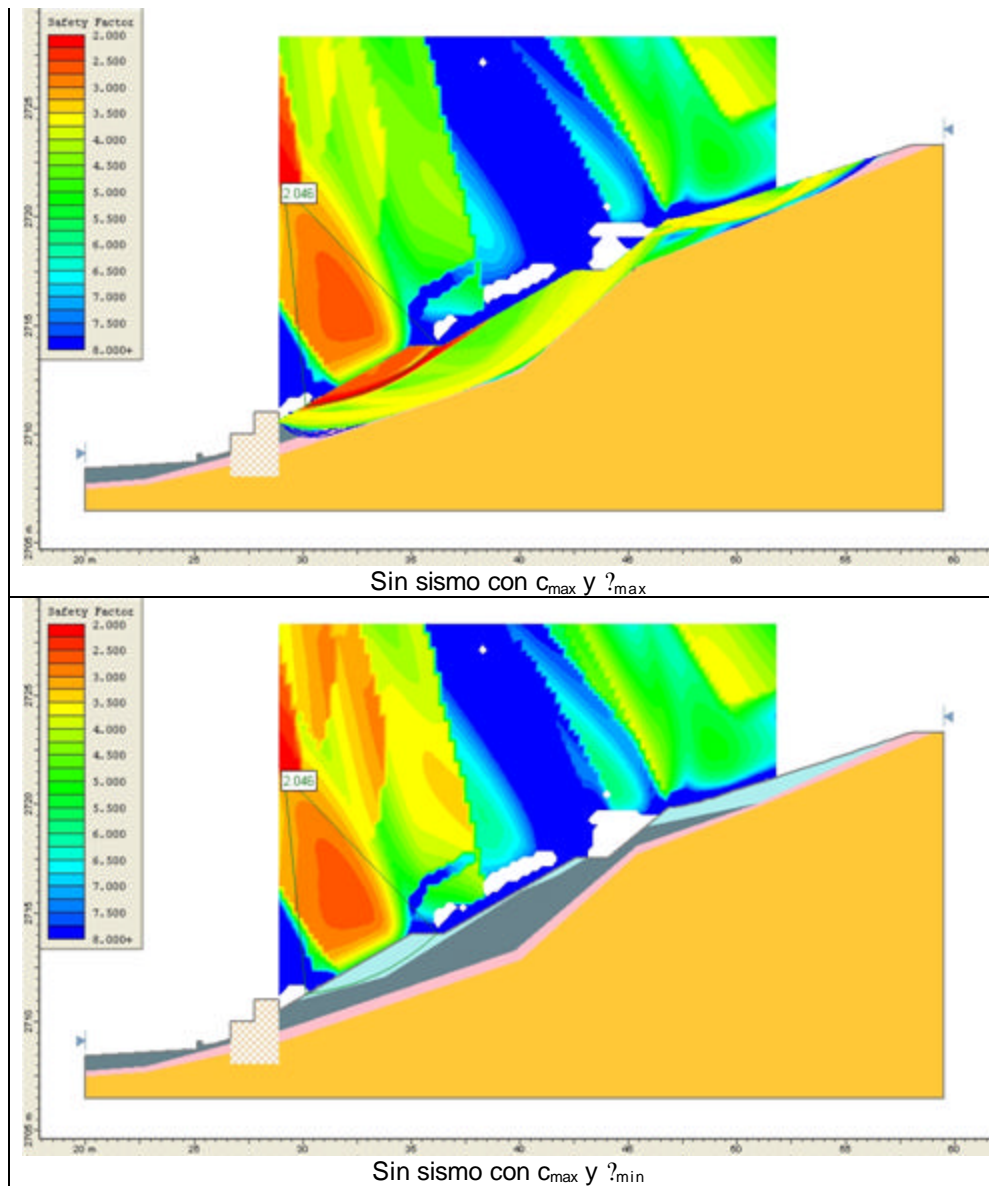
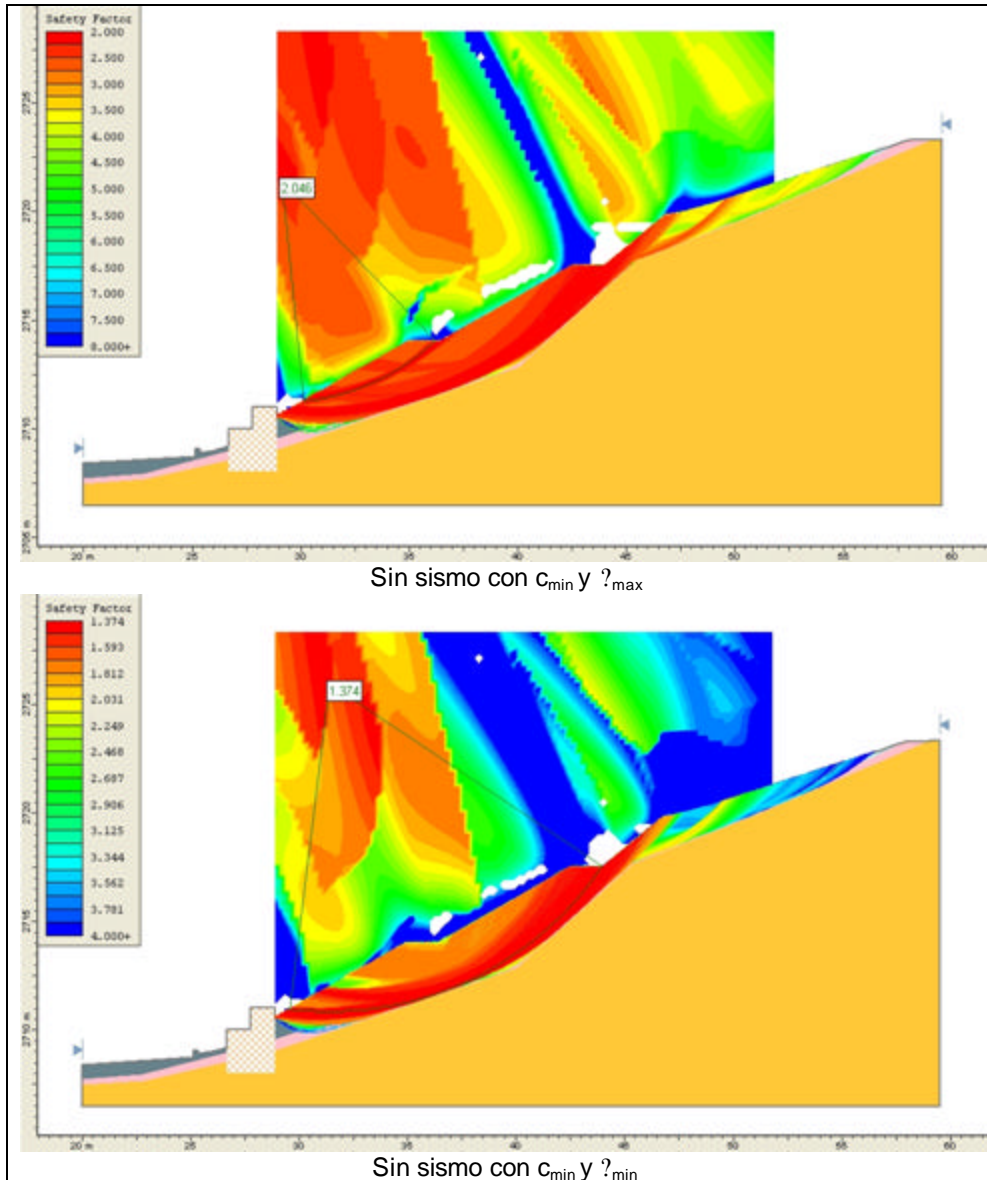


Figura 6-7 Corrida para condición con obra y sin sismo C_{min}



De las superficies mostradas anteriormente se puede concluir lo siguiente:

- ? Las superficies más críticas ocurren en las zonas de rellenos especialmente en la ubicada en la parte inferior. Estos movimientos serían flujos de pequeña magnitud y poco espesor (menor a 2.0 m)
- ? Existe igualmente una superficie amplia y profundidad la cual no es estable y que involucra los rellenos y el suelo residual de un espesor mayor a 2.0 m y la cual reviste especial cuidado (observe superficies de falla color amarillo, verde y azul en condición actual y superficies arriba del muro de berma 1 a berma 2).

El resumen de condiciones de factores de seguridad obtenidos para las diferentes corridas teniendo en cuenta la superficie de falla sobre el relleno y la ocurrida más profunda sobre el suelo residual se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 6-2 Factores de seguridad

| SECCION 2 | | FACTORES DE SEGURIDAD | | | | | | |
|-----------|----------------|-----------------------|---------|---------|---------|------|-------|------|
| ANALISIS | SECTOR | C (max) | C (min) | f (max) | f (min) | Agua | Sismo | FS |
| ACTUAL | Rellenos | X | | X | | X | | 0.55 |
| ACTUAL | Suelo residual | X | | X | | X | | 2.41 |
| ACTUAL | Suelo residual | X | | | X | X | | 1.86 |
| ACTUAL | Suelo residual | | X | X | | X | | 1.24 |
| ACTUAL | Suelo residual | | X | | X | X | | 0.85 |
| DESPUES | Rellenos | X | | X | | | | 2.04 |
| DESPUES | Suelo residual | X | | X | | | | 4.31 |
| DESPUES | Suelo residual | X | | | X | | | 2.53 |
| DESPUES | Suelo residual | | X | X | | | | 2.31 |
| DESPUES | Rellenos | | X | | X | | | 1.64 |
| DESPUES | Suelo residual | | X | | X | | | 1.39 |
| DESPUES | Rellenos | X | | X | | | X | 1.30 |
| DESPUES | Suelo residual | X | | X | | | X | 2.43 |
| DESPUES | Suelo residual | X | | | X | | X | 1.58 |
| DESPUES | Suelo residual | | X | X | | | X | 1.34 |
| DESPUES | Suelo residual | | X | | X | | X | 0.88 |

6.4 ANÁLISIS DETERMINÍSTICO DE AMENAZA

De acuerdo a la resolución No. 227 la evaluación debe ser realizada de acuerdo a los siguientes valores:

Tabla 6-3 Valoración de amenaza por FS

| Amenaza | Condiciones normales FS |
|---------|--------------------------------|
| Baja | >1.9 |
| Media | 1.2-1.9 |
| Alta | <1.2 |
| Amenaza | Condición extrema (50 años) FS |
| Baja | >1.30 |
| Media | 1.0 – 1.3 |
| Alta | <1.0 |

Teniendo en cuenta lo anterior se realizó una valoración de los factores de seguridad obtenidos y sus condiciones de amenaza de acuerdo a la resolución obteniendo los siguientes valores:

Tabla 6-4 Evaluación de amenaza

| SECCION 2 | | FACTORES DE SEGURIDAD | | | | | | AMENAZA | AMENAZA | |
|-----------|----------------|-----------------------|---------|---------|---------|------|-------|---------|---------|---------|
| ANALISIS | SECTOR | C (max) | C (min) | f (max) | f (min) | Agua | Sismo | FS | NORMAL | EXTREMA |
| ACTUAL | Rellenos | X | | X | | X | | 0.55 | ALTA | |
| ACTUAL | Suelo residual | X | | X | | X | | 2.41 | BAJA | |
| ACTUAL | Suelo residual | X | | | X | X | | 1.86 | MEDIA | |
| ACTUAL | Suelo residual | | X | X | | X | | 1.24 | MEDIA | |
| ACTUAL | Suelo residual | | X | | X | X | | 0.85 | ALTA | |
| DESPUES | Rellenos | X | | X | | | | 2.04 | BAJA | |
| DESPUES | Suelo residual | X | | X | | | | 4.31 | BAJA | |
| DESPUES | Suelo residual | X | | | X | | | 2.53 | BAJA | |
| DESPUES | Suelo residual | | X | X | | | | 2.31 | BAJA | |
| DESPUES | Rellenos | | X | | X | | | 1.64 | MEDIA | |
| DESPUES | Suelo residual | | X | | X | | | 1.39 | MEDIA | |
| DESPUES | Rellenos | X | | X | | | X | 1.30 | | BAJA |
| DESPUES | Suelo residual | X | | X | | | X | 2.43 | | BAJA |
| DESPUES | Suelo residual | X | | | X | | X | 1.58 | | BAJA |
| DESPUES | Suelo residual | | X | X | | | X | 1.34 | | BAJA |
| DESPUES | Suelo residual | | X | | X | | X | 0.88 | | ALTA |

Se puede observar que para los parámetros mínimos en condiciones extremas y con obras la amenaza sería alta. Este valor debe ser analizado desde la óptica de que los materiales se alteren y degraden a esta condición, situación que con obras no sería posible, ya que se esta evitando la saturación de materiales y el sobrepeso.

Es más conveniente adoptar la amenaza con obras entre un valor intermedio de los valores máximos y mínimos, situación que brindaría amenaza baja en condiciones extremas y en normalidad (FS entre 0.88 y 2.43 con sismo y FS de 1.39 y 4.31 para condiciones normales).

6.5 DISTANCIA DE VIAJE

La trayectoria de viaje de una masa inestable depende del tipo de material y del mecanismo en tanto que su alcance es función de las características topográficas del sitio y de las dimensiones de la masa.

Para deslizamientos el cálculo de la distancia de viaje se puede llevar a cabo aplicando las expresiones formuladas por Finlay, Mostyn y Fell, 1999, que permiten obtener la distancia de viaje, L, en función de las dimensiones de la masa potencialmente inestable.

En este caso se requieren entonces: las dimensiones de la masa potencialmente inestable y la topografía del talud. Ambas incertidumbres se despejan interpretando el talud de suelo con ayuda de la sección, cuya topografía se muestra en el plano topográfico y la sección. Las dimensiones de la masa potencialmente inestable se obtienen de los análisis de estabilidad donde se establece una superficie crítica.

Los valores adoptados para el análisis provienen de los datos analizados por el autor mencionado, teniendo en cuenta el comportamiento de una serie de taludes y su potencial de falla. En la siguiente tabla se presentan los datos parametrizados por el autor mencionado de donde se obtienen los valores para el análisis de distancia de la masa inestable de suelo de acuerdo a las dimensiones dadas en la figura.

Tabla 6-5 Datos de variables. Finlay et all (1999).

| Variable dependiente | Tipo de ecuación | Componentes de la ecuación VD = C0 + C1*I1 + C2*I2 | | | | |
|-----------------------|------------------|---|-------|-------|--------|-------------|
| | | C0 | C1 | I1 | C2 | I2 |
| CUT SLOPE | | | | | | |
| log L | LCI | 0.062 | 0.965 | log H | -0.558 | log (tan A) |
| | Mean | 0.109 | 1.01 | | -0.506 | |
| | UCI | 0.156 | 1.055 | | -0.454 | |
| H4 | LCI | 0.453 | 0.525 | D | 0.0217 | H |
| | Mean | 0.678 | 0.695 | | 0.0537 | |
| | UCI | 0.903 | 0.866 | | 0.0858 | |
| FILL SLOPE | | | | | | |
| log L | LCI | 0.269 | 0.325 | log H | 0.166 | log (V/W) |
| | Mean | 0.453 | 0.547 | | 0.305 | |
| | UCI | 0.693 | 0.768 | | 0.443 | |
| RETAINING WALL | | | | | | |
| log L | LCI | 0.037 | 0.35 | log H | 0.108 | log (V/W) |
| | Mean | 0.178 | 0.587 | | 0.309 | |
| | UCI | 0.319 | 0.825 | | 0.15 | |
| BOULDER FALL | | | | | | |
| log L | LCI | 0.041 | 0.515 | log H | -0.629 | log (tan A) |
| | Mean | 0.253 | 0.703 | | -0.417 | |
| | UCI | 0.466 | 0.891 | | -0.206 | |

Con formato: Centrado

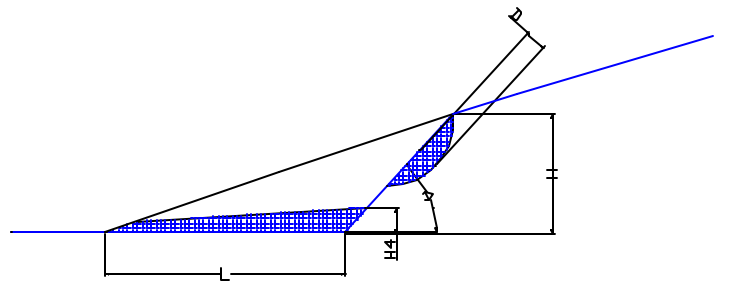
LCI and UCI are the lower and upper 95% confidence intervals, respectively

Variables

- L: Distancia de viaje
- H4: Espesor de la masa al caer
- D: Espesor del deslizamiento
- H: Altura del talud
- V: Volumen del deslizamiento
- W: Ancho en planta del deslizamiento

El análisis se desarrolló para las zonas críticas en rellenos y suelo residual en condiciones actuales. Para las condiciones con obras la masa inestable no se moviliza.

Figura 6-8 Dimensiones para el cálculo de la distancia de viaje de deslizamientos



En el ANEXO 7 se presenta el análisis de distancia de viaje. Esto se conjuga entre cada una de las diferentes análisis de amenaza o niveles y se traslapa si es el caso tal como se mencionara adelante.

La distancia de viaje promedio obtenida por este procedimiento fue de 4 m condiciones obtenidas y verificadas en campo.

6.6 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA

Los pasos para realizar la zonificación son los siguientes:

1. Ubicar la zona de aferencia del talud de estudio.
2. Identificar el área de influencia de la superficie crítica de análisis.
3. Dentro del área inestable se considera con valor de amenaza de acuerdo al valor calculado anteriormente. La distancia de viaje evalúa la distancia hasta donde se debe dibujar el valor de amenaza.
4. Hacia atrás de la corona de la superficie crítica de movimiento se determina las condiciones retrogresivas y su posible avance, para lo cual en este caso se tomo la distancia de 2,0 m, adoptado de acuerdo al potencial erosivo del material y la perdida de soporte por eventos detonantes.

Esta información fue trasladada al plano topográfico y según la ubicación de los taludes de estudio. En el Plano 5 se indican los resultados luego de llevar a cabo los pasos descritos anteriormente, determinando así las zonas de amenaza baja, media y alta por fenómenos de remoción en masa.

7 VULNERABILIDAD Y RIESGO

7.1 VULNERABILIDAD

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 generarse como social, física, económica, institucional, etc.

La vulnerabilidad física de esta forma 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 frente a la amenaza por los fenómenos de remoción en masa existentes en la zona de estudio y, conjugada con la evaluación de la amenaza traducirla 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 un elemento.

Las sociedades expuestas a diferentes eventos de origen natural pueden presentar problemas de índole social por su dificultad para recuperarse pues entre otros pierden sus lazos familiares, vecinales y de ciudad o hasta la vida; de índole institucional por la poca respuesta o la incapacidad de gobernar al generarse el problema; de carácter económico por la dificultad para volver a invertir o recuperar lo existente y de carácter físico que involucra las pérdidas tangibles y directas por la ocurrencia del evento.

Para este estudio el análisis estará enfocado a La vulnerabilidad física - VF: presentada por los elementos expuestos.

7.1.1 Tipología de edificaciones

La tipología de las viviendas puede ser clasificada teniendo en cuenta la tipología de viviendas dada por Leone (1996), descritas en la tabla siguiente:

Tabla 7-1 Tipificación de construcciones

| TIPO DE VIVIENDA | DESCRIPCIÓN |
|------------------|--|
| B1 | Tugurios (ranchos). Viviendas en material de recuperación. |
| B2 | Construcciones en mampostería o prefabricadas. De mala calidad constructiva. Sin refuerzo estructural ni fundación adecuada. |
| B3 | Construcciones de hasta dos niveles de buena calidad de construcción (con estructura). |
| B4 | Construcciones de más de dos niveles de buena calidad de construcción (con estructura). |

En total en la zona de influencia del proyecto se identifican tres viviendas, de las cuales dos se encuentran habitadas. Las viviendas tienen las siguientes condiciones:

Tabla 7-2 Descripción de viviendas

| No. | No. De pisos | Tipo de estructura | Condición | Clasificación |
|-----|--------------|--|-------------|---------------|
| 1 | 2 | Pórtico incompleto con muros en bloque y madera. Primer piso con pórtico en concreto incompleto y mampostería. | Habitada | B2 |
| 2 | 2 | En madera, con tejas de zinc, paredes en madera | Habitada | B2 |
| 3 | 1 | En ladrillo con teja en zinc con tejas de madera | No habitada | B2 |

En la Figura 7-1 se muestra la clasificación por tipología para la zona de estudio.

7.1.2 Cuantificación de daños

La cuantificación de los daños que se podrán producir en las edificaciones están condicionados por dos variables: el de exposición y el de resistencia. El primero involucra el tipo de evento (deslizamientos rotacionales, flujos etc.), la localización de las edificaciones con respecto al mismo y la sollicitación que el proceso ejerza sobre los componentes; el segundo, cubre la calidad, propiedades y atributos de las edificaciones, que, se condensan en la tipología.

La asociación de la intensidad con una descripción cualitativa de las pérdidas y con una tasa de daño, se hizo de acuerdo con la tabla propuesta por el DRM (DELEGATION AUX RISQUES MAJEURS) y presentada por LEONE, 1996, el cual divide los daños en cinco (5) intensidades a saber:

Tabla 7-3 Intensidades de daño según el DRM.

| INTENSIDAD DE DAÑO | MODOS DE DAÑO | PORCENTAJE DE DAÑO |
|--------------------|--|--------------------|
| I | Daños ligeros no estructurales. Estabilidad no afectada | 0.01 – 0.1 |
| II | Fisuración de muros. Reparaciones no urgentes | 0.2 – 0.3 |
| III | Deformaciones importantes, fisuración en elementos estructurales | 0.4 – 0.6 |
| IV | Fracturación de la estructura, evacuación inmediata | 0.7 – 0.8 |
| V | Derrumbe parcial o total de la estructura | 0.9 – 1.0 |

Figura 7-1 Tipología de viviendas

Junto a la tipificación de construcciones dada en la tabla anterior y las solicitudes dadas en la metodología propuesta por Leone (1996), se encontraron los índices de daño – ID para cada solicitud y cada tipología así:

Tabla 7-4 Matriz de daño (Leone, 1996)

| SOLICITACIÓN | | TIPOLOGIA DE VIVIENDA | | | |
|--|-----------------|-----------------------|-----|------|------|
| TIPO | RANGO | B1 | B2 | B3 | B4 |
| DESPLAZAMIENTOS VERTICALES (DV velocidad de desplazamiento) | DV1 (mm/año) | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 |
| | DV2 (cm/año) | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 |
| | DV3 (dm/año) | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.1 |
| | DV4 (m/año) | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.3 |
| | DV5 (cm/día) | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.4 |
| | DV6 (cm/día) | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| | DV7 (cm/día) | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| EMPUJES LATERALES | PL1 (SF=1/3SE) | 0.6 | 0.4 | 0.2 | 0.2 |
| | PL2 (SF=2/3SE) | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.5 |
| | PL3 (SF=SE) | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 0.8 |
| IMPACTOS | ECv1 (cm3) | 0.1 | 0.1 | 0.05 | 0.05 |
| | ECv2 (m3) | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.3 |
| | ECv3 (10 m3) | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 0.6 |
| | ECv4 (>=100 m3) | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 0.8 |

De acuerdo al modelo de falla definido en el capítulo anterior, las solicitudes de la ladera se pueden considerar desplazamiento DV2.

7.1.3 Índice de vulnerabilidad física

La calificación se determinó mediante el cálculo del Índice de Vulnerabilidad Física, con base en el Índice de Pérdidas (IP) o Índice de Daños (ID), definido anteriormente. Este IVF se ha calculado con la siguiente expresión empírica propuesta por Soler et al (1998) para involucrar otras variables diferentes al tipo de solicitud y la tipología de la vivienda:

$$IVF = \alpha \cdot ID^{\beta}$$

Donde α es la dependencia o coeficiente de importancia del ID en la valoración del IVF (0 cuando es mínima y 1 cuando es máxima).

La selección del valor de α o coeficiente de importancia se realizó con base en el grado de amenaza por FRM al que se encuentra sometida la estructura:

Tabla 7-5 Valores de alfa

| Grado de Amenaza | Valor de α |
|------------------|-------------------|
| Baja | 0.1 |
| Media | 0.4 |
| Alta | 0.6 |

La calificación de la vulnerabilidad en términos cualitativos se realizó con base en la valoración del IVF tal como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 7-6 Valor cualitativo y cuantitativo de la Vulnerabilidad

| Categoría de la Vulnerabilidad | Valor del IVF |
|--------------------------------|--------------------------|
| Alta | IVF \geq 0.65 |
| Media | $0.15 \leq$ IVF $<$ 0.65 |
| Baja | IVF $<$ 0.15 |

Los valores de probabilidad de amenaza utilizados corresponde a un valor asumido que corresponda a amenaza baja.

Los resultados para las viviendas es de vulnerabilidad media debido especialmente a sus pobres condiciones de resistencia.

Tabla 7-7 Análisis de vulnerabilidad

| TIPO | Tipología | Tipo de solicitud | ID | Probabilidad de amenaza para 50 años | Amenaza | α | $1-\alpha$ ID | IVF | VULNER |
|------|-----------|----------------------|------|--|---------|----------|---------------|--------|--------|
| 1 | B2 | DV2 | 0.20 | 0.100 | Baja | 0.1 | 0.98 | 0.2102 | Media |
| 2 | B2 | DV2 | 0.20 | 0.100 | Baja | 0.1 | 0.98 | 0.2102 | Media |
| 3 | B2 | DV2 | 0.20 | 0.100 | Baja | 0.1 | 0.98 | 0.2102 | Media |

7.2 ANÁLISIS DE RIESGO

El riesgo puede definirse como el conjunto de daños y pérdidas que pueden presentarse en caso de ocurrir un desastre o una emergencia. A continuación se presentará una valoración del riesgo desde el punto de vista de pérdidas económicas.

Para el cálculo de los valores comparables de costos y beneficios se utiliza el valor medio probable, en función de la esperanza matemática de ocurrencia de los fenómenos potencialmente destructivos que generarían más daños “**d**” y la probabilidad respectiva asociada “**p**” de modo que el valor estimado sería:

$$PE = pF \cdot IVF$$

En donde:

PE: porcentaje de pérdida esperada en la ventana de tiempo (escenario actual). En este caso el valor de pérdida está asociado al índice de riesgo.

IVF: porcentaje de daño asociado a la resistencia y exposición del elemento. En este caso es el índice de vulnerabilidad física.

pF: probabilidad asociada al FRM potencialmente destructivo. En este caso es el valor promedio para cada una de las secciones y que afecta a cada una de las viviendas.

De acuerdo a esto, se realiza los cálculos respectivos teniendo en cuenta los rangos dados de probabilidad de amenaza, así como los % de daño.

Tabla 7-8 Matriz de valoración del riesgo (perdida esperadas %)

| % de de daño IVF | | Probabilidad de falla Pf | | | | | |
|---------------------|-----|--------------------------|-----|-----|-----|------|------|
| | | 1 | 1 | 0.4 | 0.4 | 0.12 | 0.12 |
| 0 | 10 | 0 | 10 | 0 | 4 | 0 | 1.2 |
| 10 | 30 | 10 | 30 | 4 | 12 | 1.2 | 3.6 |
| 30 | 60 | 30 | 60 | 12 | 24 | 3.6 | 7.2 |
| 60 | 80 | 60 | 80 | 24 | 32 | 7.2 | 9.6 |
| 80 | 100 | 80 | 100 | 32 | 40 | 9.6 | 12 |

De acuerdo a esta matriz y manteniendo los valores con coherencia de solicitud de la vivienda existentes se asignan los siguientes valores de pérdida asociada a las viviendas de acuerdo a la valoración planteada anteriormente.

Riesgo bajo 0.00 – 0.12

Riesgo medio 0.12 – 0.30

Riesgo alto: 0.30 – 1.00

Finalmente el índice de Riesgo tenemos que:

$$IR ? pF ? IVF$$

Donde,

IR: Índice de riesgo

pF: Probabilidad de Amenaza

IVF: Índice de Vulnerabilidad

De acuerdo a lo anterior se presenta en la siguiente tabla los resultados obtenidos de riesgo.

Tabla 7-9 Resultados de análisis de riesgo

| TIPO | Tipología | Tipo de solicitud | ID | Probabilidad de amenaza para 50 años | Amenaza | α | 1- α ID | IVF | VULNER | IR | RIESGO |
|------|-----------|----------------------|------|--|---------|----------|----------------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | B2 | DV2 | 0.20 | 0.100 | Baja | 0.1 | 0.98 | 0.2102 | Media | 0.0210 | Bajo |
| 2 | B2 | DV2 | 0.20 | 0.100 | Baja | 0.1 | 0.98 | 0.2102 | Media | 0.0210 | Bajo |
| 3 | B2 | DV2 | 0.20 | 0.100 | Baja | 0.1 | 0.98 | 0.2102 | Media | 0.0210 | Bajo |

Este resultado nos permite concluir que con las condiciones severas las viviendas presentaran riesgo bajo.

8 OBRAS DE MITIGACIÓN

8.1 Selección de obras de mitigación

Las condiciones de la zona de estudio presentan dos particularidades: 1) flujos superficiales y 2) saturación de materiales por agua superficial y subsuperficial. Las obras deben estar orientadas hacia el control de los flujos superficiales de suelos por medio de estructura de contención y pérdida de aguay al control de agua superficial por medio de cunetas y subsuperficial por medio de filtros.

De esta forma teniendo en cuenta las condiciones del sitio de estudio y su obra de mitigación se evaluaron de la siguiente forma:

- ? Corresponde a flujos superficiales de suelo residual y rellenos los cuales se movilizan sobre la roca de arenisca y arcillolita. Estos flujos invaden la carrera 4 este. Es necesario perfilar los suelos existentes con una pendiente suave y dos bermas, así como construir en la parte inferior un muro de contención de estos materiales sueltos. La estructura debe ser permeable, sin condiciones rígidas, y de bajo costo siendo el más favorable un muro en gavión.
- ? Existe agua freática a 1 m de profundidad la cual se recarga por el agua lluvia y las aguas servidas de las viviendas de la parte superior y la carrera 5 este. Es necesario controlar estos niveles por medio de cunetas para el agua superficial y filtros con tubería y sin tubería para el agua interna. La cuneta en concreto por su rigidez y permanencia en el tiempo es la más adecuada.
- ? Hacia el escarpe ubicado en el costado occidental se debe controlar los procesos erosivos en la roca por medio de una malla con cespedón con taches.

8.2 AMENAZA CON OBRAS

Se realizó el análisis en el capítulo de amenaza obtenido valores de FS superiores a 1.3 en condiciones extremas, es decir con sismo y sin agua, ya que esta variable ha sido controlada y de 1.9 en condiciones normales. El perfil final tendrá dos bermas a la cota 2714 msnm y 2717.5 msnm. Abajo de la berma a la cota 2717.5 msnm se realizaran cortes a 30° de inclinación. Arriba de esta berma el corte se realizara a 40° de inclinación.

Hacia el escarpe ubicado en el costado occidental se realizará un corte a 80° de inclinación empalmando con el escarpe en roca meteorizada existente ubicado hacia la parte inferior. En cada berma se colocará filtro con tubería y cuneta interna.

8.3 diseño de obras de drenaje

8.3.1 Filtro

Se plantearon filtro con tubería y sin tubería revestidos con gravilla. Estos filtros controlaran el agua subsuperficial evitando la saturación de los materiales. Se realizó el diseño de acuerdo con la metodología de PAVCO en su Manual de diseño.

En el ANEXO 8 se presenta la memoria de cálculo. En el Plano 7A se presenta la localización de filtros en planta y detalles constructivos.

8.3.2 Cunetas

Curvas de intensidad – duración y frecuencia

En el numeral 3.2 se presentan las curvas de intensidad – duración – frecuencia.

Cálculo de caudales máximos esperados

Para el cálculo de los caudales máximos esperados, se utilizó la fórmula racional, aceptada para cuencas con superficies menores de 1 km². Este planteamiento se identifica con la ecuación:

$$Q = kiAc$$

donde Q es el caudal pico de la creciente (m³/s); k un factor de conversión que en el sistema métrico es igual a 0.00278 (m³/s/Ha mm/hr); i la intensidad máxima para la frecuencia de diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca vertiente (mm/hr); A el área de la cuenca (Ha); y c el coeficiente de escorrentía, con valor numérico entre 0 y 1, que depende de las características fisiográficas de la cuenca y de la cobertura del suelo.

Las variables de trabajo fueron las siguientes:

? Área de drenaje: 0.07 Ha.

? Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía es la relación entre la tasa pico de escorrentía directa y la intensidad promedio de la precipitación en una tormenta. Debido a la alta variabilidad de la intensidad de la precipitación, este valor es de difícil determinación (máxime si se emplea la información). Por tal motivo se optó por estimar el coeficiente de escorrentía teniendo en cuenta el uso actual del suelo: En concordancia se asignó para las franjas urbanizadas con uso de jardines un coeficiente de escorrentía de 0.60 según la cdm.

? Tiempo de concentración

El tiempo de concentración, o tiempo requerido para que el agua caída en el punto más alejado de la cuenca hidrográfica fluya a una sección específica de análisis en el drenaje, es función de las características topográficas de la cuenca. En este caso, por tratarse de microcuencas de pendiente media a alta, el tiempo de concentración puede evaluarse gracias a la fórmula de Kirpich:

$$T_c = 4.7 \frac{L^{0.77}}{\sqrt{S}}$$

En donde:

T_c = tiempo de concentración (min)

L = Longitud (km)

S = la pendiente (m/m)

Bajo el marco reseñado, el tiempo de concentración calculado fue de menos de 1 minuto aproximadamente; sin embargo, para efectos de cálculo del caudal máximo se adoptó de manera conservativa como tiempo de concentración el tiempo calculado más 8 minutos.

Los Caudales máximos. Con los valores anteriores se calculan los caudales máximos para tres diferentes periodos de retorno, 5, 10 y 25 años. Estos resultados se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 8-1 Caudales máximos

| "TC" TIEMPO DE CONCENTRACION ADOPTADO (min) | TIEMPO DE RETORNO | "I" INTENSIDAD DE LA LLUVIA (mm/hr) | "Q" CAUDAL (m ³ /s) |
|---|-------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| 8.46 | 5 | 87.788 | 0.010 |
| 8.46 | 10 | 100.383 | 0.012 |
| 8.46 | 25 | 116.836 | 0.014 |

De acuerdo con Suárez (1992) para el diseño de obras en el cauce de una corriente permanente se recomienda trabajar con periodos de retorno de veinticinco años y para cunetas y taludes y en áreas de Corrientes ocasionales se puede utilizar un periodo de retorno de diez años. De esta forma el caudal de diseño para las obras de drenaje será de 0.014 m³/s O 14 lt/s.

Diseño de cunetas en concreto

Con el fin de realizar el control del agua analizada anteriormente se debe diseñar una cuneta que logre evacuar en forma efectiva y controlada el flujo de la zona. Para ello, se plantea diseñar tres cunetas: una que atraviese longitudinalmente la zona y dos que a una altura adecuada de recolección de aguas después se conecten a la primera en forma transversal. Bajo este concepto a continuación se detalla el análisis de diseño de las obras de drenaje.

Para el diseño de la cuneta se utiliza el Método de Manning que dice:

$$Q = \frac{A * R^{\frac{2}{3}} * S^{0.5}}{n}$$

Donde:

A : Área de la sección mojada

R : Radio hidráulico

S : Pendiente (calculada con base en el levantamiento topográfico)

n : Rugosidad

Teniendo en cuenta que el flujo es uniforme, la Rugosidad de Manning (*n*) = 0.017 para la cuneta de cemento (tomado de la cdmb).

De acuerdo con lo anterior, con el caudal a movilizar y planteando el diseño de la cuneta en forma rectangular se obtiene el equilibrio con un FS= 3.75, los valores de la tabla siguiente:

Tabla 8-2 Características de la cuneta en piedra pegada

| | | |
|------------------|-------|--------------------------------------|
| altura | 0.30 | m |
| ancho | 0.40 | m |
| espesor | 0.10 | m |
| área | 0.04 | m ² |
| n | 0.02 | Rugosidad de manning |
| ángulo | 1.00 | pendiente de la cuneta en el terreno |
| pendiente | 0.02 | |
| perímetro mojado | 0.60 | |
| Radio hidráulico | 0.07 | |
| Q(litros/s) | 13.64 | Caudal de diseño |
| FD | 1.00 | Factor de distribución |
| Q(litros/s) | 13.64 | Caudal por cuneta |
| Q manning | 0.05 | m ³ s |
| Q manning | 51.11 | litros/s |
| FS | 3.75 | |

En el Plano 7-C se presentan el detalle de cunetas y sección longitudinal.

8.4 DISEÑO DE MURO DE GAVIÓN

Se realizó el chequeo de estabilidad de los muros para las siguientes condiciones teniendo en cuenta los valores mínimos de factores de seguridad dados por la NSR-98:

- ? Revisión por volteo respecto a la punta del muro.
- ? Revisión de la falla por deslizamiento a lo largo de la base.

- ? Revisión de la falla por capacidad de carga de la base.
- ? Revisión de estabilidad general por falla de talud.

En el ANEXO 9 se presentan las memorias de cálculo. Es importante tener en cuenta que el muro no tiene variabilidad de altura, que estará cimentado en la cota 2708 msnm, tendrá una altura de 3.0 m conformado por dos niveles de 2 m de gavión y un nivel de 1.0 m. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 8-3 Factores de seguridad para muros

| FACTOR DE SEGURIDAD | CONDICIÓN MÍNIMA | FS |
|---------------------------|------------------|-------------|
| F.S. Volteo | >2.0 | 2.64 |
| F.S. Deslizamiento | >1.5 | 1.85 |
| F.S. Apoyo | >3.0 | 5.14 |

Es importante tener en cuenta que es necesario la colocación de un filtro en el espaldón del muro ya que las condiciones diseñadas por estabilidad tuvieron en cuenta el abatimiento de la línea de agua en condiciones extremas hacia el filtro.

En el Plano 7-A se presenta el detalle de muro en gavión, planta y coordenadas. En el Plano 7-B se presenta secciones longitudinales del proyecto, donde se incluye las bermas, los muros de gavión y en el plano 7-C se presentan las cajas y cunetas. Las obras de drenaje.

8.5 Ítem de de trabajo y especificaciones técnicas

Se definieron los siguientes ítem de trabajo:

- 1 PRELIMINARES
- 2 EXCAVACIONES Y DEMOLICIONES
- 3 OBRAS
 - 3.1 Gaviones
 - 3.2 Empradización
 - 3.3 Geotextil
 - 3.4 Taches
 - 3.5 Malla Hexagonal de Triple Torsión
- 4 OBRAS DE DRENAJE
 - 4.1 Filtros
 - 4.2 Tubería de conducción entre cajas de inspección
 - 4.3 Cunetas
 - 4.4 Cajas de inspección
- 5 PLAN DE RESTAURACIÓN Y ABANDONO
- 6 SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL

Para cada uno de estos ítems se desarrollaron las especificaciones técnicas de construcción, las cuales se presentan en el ANEXO 10.

8.6 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO

8.6.1 Cantidades de obra

Posterior a la definición de las obras de mitigación, fueron plasmadas en la topografía detallada del proyecto. Se realizó el despiece del muro en gavión, el cálculo de los cortes en suelo, las longitudes de filtros y cunetas y la definición de cotas de cajas de inspección, pagados de acuerdo a las especificaciones del proyecto. En el ANEXO 11 se presenta el análisis.

8.6.2 Presupuesto

Tabla 8-4 Presupuesto

| Presupuesto Girardot | | | | | |
|--|---|--------|----------|-----------------|-------------------------|
| Item | Descripción | Unidad | Cantidad | Precio Unitario | Precio Total |
| 1 Generales | | | | | |
| 1.1 | Localización y Replanteo | M2 | 1175.00 | \$ 1.227,82 | \$ 1.442.684,51 |
| 1.2 | Campamento | UND | 1.00 | \$ 1.143.613,00 | \$ 1.143.613,00 |
| 1.3 | Aislamiento y Protección de la Zona Intervenido, H=2.0m en repisa y lona verde | ML | 150.00 | \$ 1.764,20 | \$ 264.629,40 |
| 1.4 | Señalización frentes de trabajo y zona exterior | UND | 1.00 | \$ 798.917,00 | \$ 798.917,00 |
| Subtotal (1) | | | | | \$ 3.649.843,91 |
| 2 Excavaciones y demoliciones | | | | | |
| 2.1 | Descapote, excavación, nivelación y perfilado del terreno suelo (incluye retiro a sitio de disposición) | M3 | 378.00 | \$ 43.574,65 | \$ 16.471.217,70 |
| 2.2 | Demoliciones de viviendas | M2 | 50.00 | \$ 19.860,50 | \$ 993.025,00 |
| Subtotal (2) | | | | | \$ 17.464.242,70 |
| 3 Obras | | | | | |
| 3.1 | Muro en gavión (incluye excavación y compactación de zonas laterales) | M3 | 132.00 | \$ 113.630,95 | \$ 14.999.285,02 |
| 3.2 | Empradización (incluye tierra negra) | M2 | 850.00 | \$ 15.042,48 | \$ 12.786.108,00 |
| 3.3 | Geotextil NT-2000 (M2) | M2 | 201.60 | \$ 3.863,18 | \$ 778.817,09 |
| 3.4 | Taches | ML | 77.00 | \$ 9.543,66 | \$ 734.861,82 |
| 3.5 | Malla Hexagonal de Triple Torsión con mortero cemento | M2 | 55.00 | \$ 47.621,28 | \$ 2.619.170,40 |
| 3.6 | Demolición de cuneta tipo IDU, transporte de escombros y reconstrucción | ML | 28.00 | \$ 36.639,50 | \$ 1.025.906,00 |
| Subtotal (3) | | | | | \$ 32.944.148,33 |
| 4 Obras de Drenaje | | | | | |
| 4.1 | Filtros con tubería (incluye excavación, material filtrante y rellenos compactados, tubo PVC ranurado de $\phi=4"$) | ML | 50.00 | \$ 35.102,36 | \$ 1.755.118,00 |
| 4.2 | Filtros sin tubería (incluye excavación, material filtrante y rellenos compactados) | ML | 68.00 | \$ 19.115,00 | \$ 1.299.820,00 |
| 4.3 | Tubería entre cajas de inspección PVC sanitaria (incluye excavación, relleno en material seleccionado y conducción al pozo de alcantarillado en $\phi=6"$) | ML | 55.00 | \$ 54.672,17 | \$ 3.006.969,15 |
| 4.4 | Cuneta en concreto | ML | 131,20 | \$ 21.401,35 | \$ 2.807.857,12 |
| 4.6 | Cajas de Inspección en mampostería (1x1) entre 1 y 2m de altura | UN | 3,00 | \$ 297.703,15 | \$ 893.109,46 |
| 4.7 | Cajas de Inspección en mampostería (1x1) entre 2 y 3m de altura | UN | 1,00 | \$ 416.193,83 | \$ 416.193,83 |
| 4.8 | Pases de drenaje | ML | 7,50 | \$ 11.551,43 | \$ 86.635,71 |
| Subtotal (4) | | | | | \$ 10.265.703,27 |
| 5 Finales | | | | | |
| 5.1 | Aseo general | M2 | 1175.00 | \$ 2.817,15 | \$ 3.310.151,25 |
| Subtotal (5) | | | | | \$ 3.310.151,25 |
| Total sin AIU (1+2+3+4+5) | | | | | \$ 67.634.089,45 |
| ADMINISTRACIÓN (8%) | | | | | \$ 5.410.727,16 |
| UTILIDADES (10%) | | | | | \$ 6.763.408,94 |
| IVA SOBRE UTILIDADES (16%) | | | | | \$ 1.082.145,43 |
| IMPREVISTOS (20%) | | | | | \$ 13.526.817,89 |
| Total incluido AIU e IVA sobre Utilidades | | | | | \$ 94.417.188,87 |

En los planos 7-A, 7-B y 7-C se presenta las obras de diseño geotécnico.

8.7 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

La ejecución de la construcción de la obra de mitigación, además de cumplir con todas las normas, especificaciones técnicas de construcción y todas las requeridas, planos, condiciones legales, condiciones presupuestales y contractuales, requerimientos exigidos y acordados con la interventoría, deben cumplir con el procedimiento mínimo requerido que a continuación se presenta.

- ? Se debe reconocer, identificar, localizar y ubicar claramente todos los chaflanes de la obra, con el fin de ajustar antes de perfilar y construir los gaviones.
- ? Seguidamente, perfilar el terreno según las indicaciones técnicas y de construcción, además, de las que la interventoría según la conveniencia del proyecto exija.
- ? Con el terreno perfilado, se debe iniciar la excavación para todos los filtros, tuberías de desagües y cajas de inspección.
- ? Las bermas deben ser pendientadas hacia adentro con bombeo de 1%.
- ? A medida que se realicen las excavaciones para los ítem mencionados anteriormente, se deben ir instalando y construyendo, de acuerdo, con las especificaciones y planos de diseño y con previa autorización de la interventoría.
- ? Toda excavación de filtros debe ser compactada con capas de 20 cm de espesor y por medio de canguro logrando como mínimo el 95% del proctor modificado.
- ? En la zona donde se construirán los muros en gavión, se procede a realizar la excavación NO PERMANENTE. La excavación debe tener un talud de no más de 70° con respecto a la horizontal para permitir la facilidad de construcción. Es importante destacar que si se requiere alguna modificación a lo anterior, se debe consultar con la interventoría y solicitar su autorización. Es posible por la saturación de los materiales que la excavación deba ser protegida con listones de madera no permanentes.
- ? Con la excavación del talud no permanente se pueden construir los filtros presentes en esta zona. Es importante tener en cuenta, que esta construcción se debe realizar en el menor tiempo posible.
- ? Con la excavación anterior, se debe construir el filtro que se encuentra localizado en el espaldón del muro.
- ? De la misma manera, se deben construir en el menor tiempo posible los filtros de la zona perfilada debajo de la terraza que tiene como cota 2714.00, los cuales son filtros sin tubería.
- ? Paralelo a esta labor requerida de los filtros que se encuentran en la zona del muro en gavión, se procede a construir el muro en gavión, según las especificaciones técnicas, planos y demás sin obstruir las excavaciones realizadas o modificándolas.
- ? Una vez finalizada y revisada la construcción del muro, se debe rellenar la zona comprendida entre el espaldón del muro y el talud no permanente compactando con canguro en capas al 95% proctor modificado.
- ? Con la finalización del ítem que comprende al muro en gavión, se debe realizar la instalación de la tubería de desagüe que recoge todas las aguas hasta el pozo de inspección, como se especifica en los planos.

- ? Se debe revisar el sistema de drenaje chequeándolo en cuando a su orientación, sellado y condición de flujo de arriba hacia abajo.
- ? Cuando se culmine el perfilado del terreno sobre el costado occidental de las obras, y sobre el límite donde se construirá la cuneta, se debe construir la malla triple torsión obre un talud de 80°, con pases, taches y mortero cemento.
- ? Cuando el terreno esté perfilado, se procederá a construir las cunetas.
- ? Se debe culminar después del perfilado la limpieza de las zonas aledañas a la zona de perfilado según como se indica en el plano de obras.
- ? Para finalizar, se debe tener totalmente cubierto el perfil con cespedón. Esta labor, se puede iniciar desde cuando el terreno se perfila y/o cuando el contratista junto con la interventoría acuerdan hacerlo en zonas que no serán modificadas en ninguna otra ocasión.

8.8 VIABILIDAD DE CONSTRUCCIÓN

Figura 8-1 Lotes aledaños a la zona de la obra *



La zona se encuentra ubicada entre la carrera 4E y carrera 5E. Estas vías se encuentran convenientemente delimitadas. En la información se identifica la vía calle 16 la cual se encuentra invadida en la parte alta. Los predios reubicados por la DPAAE previamente en el diagnóstico # 1434 del 28 de abril de 2002 fueron el 1 y el 3, y en el diagnóstico # 2698 del 11 de abril de 2006 fue el predio 2.

Las obras ocupan los predios 4 y 5 en la parte posterior o altas con ejecución de cortes y construcción de obras de drenaje, las cuales se han afectado por el movimiento. Es necesario en estos predios llegar a un acuerdo de derecho de servidumbre para obras. Si llegasen o cobrar o existe la necesidad de comprar estos predios el costo no fue incluido en el presupuesto.

* Imagen tomada de la página en Internet <http://mapas.idu.gov.co/internet/>

El valor puede ser de 20 millones por casa. Estas casas tienen el nivel cercano de la roca y se presume que la cimentación está en este material. No se reasentaron porque no se afectan por la obra y solo su zona verde posterior está involucrada.

Los números de llave_DACD de los predios mencionados son:

Tabla 8-5 Tabla 8-6 Llave DACD de predios aledaños

| No. | Bar Cod | Man Cod | Llave DACD |
|-----|---------|---------|------------|
| 1 | 003211 | 36 | 0032113606 |
| 2 | 003211 | 36 | 0032113607 |
| 3 | 003211 | 36 | 0032113608 |
| 4 | 003211 | 36 | 0032113628 |
| 5 | 003211 | 36 | 0032113629 |

En cuanto a redes de drenaje no se observarán pozos o tuberías de agua potable en la amenaza en la zona afectada. No existen postes a reubicar o trasladar.

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 CONDICIONES GENERALES

Se adelanto el estudio para el diseño de obras de mitigación en el Sitio No. 2 Barrio Girardot ubicado en la calle 1F entre carreras 5 este y 4 este. La zona se ubica sobre suelos residuales de arcillolita y con pequeños parches de deposito coluvial y rellenos antrópicos para ubicación de viviendas, suelos los cuales se han saturado generando flujos de suelo lentos que se ubican hacia la vía inferior o carrera 4 Este.

Se ejecutó exploración en la zona por medio de apiques, trincheras y perforaciones mostrando espesores de los suelos entre 2 a 4 m en promedio con roca meteorizada de menos de un metro para identificar la roca de arcillolita con lentes de arenisca de la Formación Cacho.

Se caracterizaron los materiales por medio de tres cortes directos presentando valores de cohesión entre 0.11 kg/cm^2 a 0.38 kg/cm^2 y ángulo de fricción entre 11° a 26° para los suelos residuales y roca meteorizada.

9.2 CONDICIONES DE ESTABILIDAD ACTUALES

Se realizó la sección geotécnica evaluando la amenaza actual y con obras por medio del programa slide5.0. En condición actual, con condiciones de agua cerca al terreno natural (1.0 m de la superficie) se presentan zonas inestables en la parte central de la ladera con espesores de menos de 2.0 m y superficies circulares cortas que involucran los rellenos y parte de los suelos residuales de arcillolita. Aun así algunas superficies profundas sobre el contacto de roca – suelo se presenta valores de FS menores a 1.2, mostrando condiciones críticas de estabilidad.

9.3 CONDICIONES DE ESTABILIDAD CON OBRAS

Con obras se revisó la estabilidad con sismo de 0.24 g y sin agua, teniendo en cuenta los elementos que se utilizaran y su eficiencia obteniendo resultados favorables con factores de seguridad mayores que los que exige la resolución 227 de 2006, la cual exige valores de factores de seguridad mayores de 1.3 para condiciones extremas y mayores de 1.9 para condiciones normales.

Las condiciones de la zona de estudio presentan dos particularidades: 1) flujos superficiales y 2) saturación de materiales por agua superficial y subsuperficial. Las obras deben estar orientadas hacia el control de los flujos superficiales de suelos por medio de estructura de contención y pérdida de agua y al control de agua superficial por medio de cunetas y subsuperficial por medio de filtros.

De esta forma teniendo en cuenta las condiciones del sitio de estudio y su obra de mitigación se evaluaron de la siguiente forma:

- ? Corresponde a flujos superficiales de suelo residual y rellenos los cuales se movilizan sobre la roca de arenisca y arcillolita. Estos flujos invaden la carrera 4 este. Es necesario perfilar los suelos existentes con una pendiente suave y dos bermas, así como construir en la parte inferior un muro de contención de estos materiales sueltos. La estructura debe ser permeable, sin condiciones rígidas, y de bajo costo siendo el más favorable un muro en gavión.
- ? Existe agua freática a 1 m de profundidad la cual se recarga por el agua lluvia y las aguas servidas de las viviendas de la parte superior y la carrera 5 este. Es necesario controlar estos niveles por medio de cunetas para el agua superficial y filtros con tubería y sin tubería para el agua interna. La cuneta en concreto por su rigidez y permanencia en el tiempo es la más adecuada.
- ? Hacia el escarpe ubicado en el costado occidental se debe controlar los procesos erosivos en la roca por medio de una malla con cespedón con taches.

Las obras en general consisten en muro de gavión, perfilado de taludes y obras de drenaje subsuperficial como filtros y superficial como cunetas.

9.4 CONDICIONES ECONÓMICAS

Estas obras tienen un valor de \$ 94,417,189 millones de pesos incluidos los impuestos de ley demás condiciones de AIU de (38%).

Se recomienda realizar la intervención en temporadas secas entre mayo – agosto y diciembre – febrero de cada año. Es necesario además revisar el sistema de drenaje de aguas lluvias, potable y negras de las viviendas existentes, realizando los arreglos respectivos.

Las obras deben ser ejecutadas rápidamente sin dejar excavaciones abiertas en un tiempo largo, esto debido a que los materiales existentes se alteran rápidamente con el agua, generando problemas de inestabilidad puntual.

9.5 INDICADORES

| Ítem | Cantidad | Unidad |
|--|----------|--------------|
| Área Total del proyecto | 0.13 | Ha |
| Área de uso para obras | 0.12 | Ha |
| Predios influenciados por el proyecto | 4 | No. Predios |
| Familias influenciadas por el proyecto | 4 | No. Familias |
| Predios reasentados | 0 | No. Predios |
| Predios reasentados previamente al estudio | 3 | No. Predios |

10 RECOMENDACIONESESES

El presente estudio se basó en la información obtenida en campo y los ensayos de laboratorio de muestras representativas.

Los análisis de estabilidad realizados son aproximados y la totalidad de los resultados obtenidos se han incluido en el informe. Debe entenderse que los materiales térreos son materiales inelásticos, heterogéneos y no isotrópicos, en los cuales, su comportamiento no es fácilmente predecible, ni independiente del entorno climático y antrópico en el cual se encuentran.

En consecuencia, aunque se ha realizado el mejor trabajo posible, de todas formas los modelos, especialmente los probabilísticos, son limitados tanto intrínsecamente como por el factor escala del trabajo (1:500) y es de esperar que durante la implantación de las obras o el desarrollo de la evolución del terreno, se presenten discrepancias localizadas con los modelos y los planos que los representan.

Cualquier cambio obtenido en las condiciones del terreno producto de intervención antrópica, actividad sísmica u obras de ingeniería diferentes a las planteadas aquí pueden cambiar las condiciones de riesgo y por lo tanto, deben ser reportadas a la entidad competente y por ende al consultor.

11 BIBLIOGRAFÍA

- ? INGEOMINAS - UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. (1997). Microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá. Agosto.
- ? AIS, INGEOMINAS, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES (1996), “Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia”, Comité AIS 300 – Amenaza Sísmica, Bogotá.
- ? Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998, Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistente
- ? INGEOCIM LTDA (1998), “Zonificación por inestabilidad del terreno en diferentes localidades de Santa Fe de Bogotá”.
- ? 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.
- ? 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”.
- ? Consorcio IGR (2005), “Elaboración de Diseños de Obras en Sitios Afectados por Emergencia debido a la Temporada de Lluvias - Sitio 2 Barrio Juan José Rondón”.
- ? ACHILLEOS, Eftychos. User Guide for PCSTABL 5 M. Purpue University – West Lafayette, Indiana. Diciembre de 1988.
- ? ARANGO CARLOS. Estudio de suelos. Conjunto camino del Cerro. Avenida Carrera 7 No. 151-90. Estudio de Suelos. Agosto de 2004.
- ? ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES – INGEOMINAS. Estudio general de amenaza sísmica de Colombia. Bogotá. Octubre de 1996.
- ? COLORADO ROCKFALL SIMULATION PROGRAM. Version 4 . Colorado Department of Transportation. March 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, 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.
- ? HARR. Reliability based design in civil engineering. Dover. Pp. 187 – 222. 1987.
- ? HOEK. Evert y BRAY, John. Rock slope Engineering. Institution of Mining an Metalurgy. Great Britain University Press. Cambridge. 1974.
- ? 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.
- ? INGEOMINAS – UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá. 1997.
- ? INGEOMINAS. Zonificación geotécnica de Santafé de Bogotá. Convenio 200-86 (Departamento Administrativo de Planeación Distrital), Informe 2081. 1993.
- ? ISRM. Rock characterization testing and monitoring – suggested methods. ET Brown pergamon press. 1981.
- ? JULIVERT, M. Léxico estratigráfico internacional. Vol V, fasc. 4ª Colombia. 1968.
- ? KOEFOED. Otto. Geosounding principles publicado por el servicio geológico holandés (TNO).
- ? LOBOGUERRO Alberto. Proyecto de remodelación morfológica y evaluación de amenaza por remoción en masa de la Cantera el Cedro (Localidad Usaquén). Octubre 2003.
- ? LOW, B. K. Reliability analisis of rock wedges in Journal of geotechnical and geoinvermental engineering. June 1997.
- ? PROSPECCIÓN, SONDEOS E INSTRUMENTACIÓN PSI LTDA. Estudio de Riesgo Barrio Madrid. Localidad Rafael Uribe Uribe. Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá Abril de 2004.
- ? UNION TEMPORAL RIESGOS URBANOS Germán Darío Tapia Muñoz – Edgar Rodríguez Granados. Estudio de Riesgo Barrio San Isidro. Localidad Ciudad Bolívar. Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá. Octubre de 2003

ANEXO 1 DATOS TOPOGRAFÍA

ANEXO 2 FOTOGRAFÍA AÉREA

ANEXO 3 REGISTROS DE EXPLORACION

ANEXO 4 ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO 5 NORMALIZACION DEL SPT

ANEXO 6 CORTES DIRECTOS

ANEXO 7 DISTANCIA DE VIAJE

ANEXO 8 MEMORIA DE CALCULO CUNETAS

ANEXO 9 MEMORIA DE CALCULO MURO EN GAVIÓN

ANEXO 10 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ANEXO 11 CANTIDADES DE OBRA

Plano 1 TOPOGRAFÍA

Plano 2 GEOLOGÍA

Plano 3 GEOMORFOLOGÍA

Plano 4 AMENAZA

Plano 5 VULNERABILIDAD

Plano 6 RIESGO

Plano 7 OBRAS