

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1-1
1.1	Generalidades.....	1-1
1.2	Objetivos y alcance	1-1
2	DIAGNÓSTICO CONCEPTUAL	2-1
2.1	Antecedentes.....	2-1
2.1.1	Estudio de zonificación por inestabilidad del terreno en diferentes localidades de Santa Fe de Bogotá, INGEOCIM LTDA., 1998.	2-2
2.1.2	Diagnóstico Técnico de Emergencia No. DI-2026 de junio de 2004	2-2
2.1.3	Diagnóstico técnico de emergencia No. 2184 de noviembre de 2004.....	2-3
2.1.4	Estudio de riesgos por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar los escarpes y laderas ubicados en el barrio Brisas del Volador y el extremo noroccidental del barrio La Esmeralda Sur de la localidad Ciudad Bolívar en Bogotá D.C., IGR, Mayo de 2005.	2-3
2.2	Estado actual del área de estudio.....	2-4
2.2.1	Talud norte y escarpe principal.....	2-5
2.2.2	Construcciones en la parte alta del talud.....	2-6
2.2.3	Redes y estructuras de drenaje	2-6
2.2.4	Vía de acceso al barrio Los Alpes	2-7
3	ESTUDIO GEOLÓGICO.....	3-1
3.1	Aspectos de geología regional.....	3-1
3.2	Estratigrafía.....	3-1
3.2.1	Grupo Guadalupe (Ksg).....	3-1
3.3	Geología estructural	3-2
3.4	Geología local.....	3-2
3.4.1	Unidades roca.....	3-3
3.4.2	Estructural	3-6
3.5	Geomorfología.....	3-7
3.5.1	Morfoestructural	3-7
3.5.2	Morfodinámica	3-9
3.6	Antecedentes históricos de procesos denudacionales.....	3-12
3.6.1	Año 1956 (C-773, Foto 057).....	3-12
3.6.2	Año 1963 (R-590, Foto 022).....	3-12
3.6.3	Año 1973 (C-1439, Foto 092).....	3-12
3.6.4	Año 1976 (C-1679).....	3-12
3.6.5	Año 1987 (C-2323).....	3-12
3.6.6	Año 1998 (SAV-415, Faja 4, Foto 086).....	3-12
4	EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO, PRUEBAS DE CAMPO, ENSAYOS DE LABORATORIO Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA.....	4-1

4.1	Exploración del subsuelo.....	4-1
4.1.1	Sondeos Mecánicos, Toma de Bloques y Trincheras	4-1
4.1.2	Líneas de Refracción Sísmica.....	4-3
4.1.3	Sondeos Eléctricos Verticales	4-3
4.2	Pruebas de campo.....	4-3
4.3	Ensayos de laboratorio.....	4-3
4.4	Caracterización geomecánica.....	4-4
4.4.1	Materiales	4-4
4.4.2	Discontinuidades	4-4
4.4.3	Macizo rocoso.....	4-6
4.5	Análisis cinemático	4-7
5	OBRAS DE EMERGENCIA PROPUESTAS	5-1
5.1	Remoción manual de bloques susceptibles de deslizarse	5-1
5.2	Sellado de grietas con lechada de agua-cemento	5-1
5.3	Anclajes activos	5-1
5.4	Pantalla en concreto lanzado.....	5-1
6	ANÁLISIS GEOTÉCNICO	6-1
6.1	Características generales.....	6-1
6.2	Resultados	6-3
7	AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO	7-1
7.1	AMENAZA.....	7-1
7.2	VULNERABILIDAD	7-1
7.3	RIESGO.....	7-1
8	CONCLUSIONES.....	8-1
9	LIMITACIONES.....	9-1
10	CANTIDADES ESTIMADAS DE OBRA.....	10-1
11	ESPECIFICACIONES.....	11-1
12	BIBLIOGRAFIA.....	12-1

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Localización general del área de estudio	1-3
Figura 1.2	Localización particular del área de estudio	1-3
Figura 2.1	Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa (Ingeocim Ltda., 1998).....	2-8
Figura 2.2	Obras propuestas para la mitigación de amenaza por procesos de remoción en masa (IGR, 2005).....	2-8
Figura 3.1	Marco geológico regional (Tomado de Ingeocim, 1999)	3-13
Figura 3.2	Estereógrafa de diaclasas	3-14
Figura 3.3	Polos para la totalidad de las diaclasas medidas	3-14
Figura 3.4	Discontinuidades promedias a partir de la totalidad de las diaclasas	3-15
Figura 3.5	Condición cinemática de esfuerzos para la zona de estudio.....	3-15
Figura 3.6	Ejemplo de deslizamiento traslacional de rocas (Varnes, 1978).....	3-16
Figura 3.7	Ejemplos de caídas de rocas (Modificado de García, M. 1988).....	3-16
Figura 3.8	Fotografía aérea de 1963 - Nótese los lineamientos fotogeológicos. La zona de estudio se encuentra dentro del recuadro.	3-17
Figura 3.9	Detalles de la fotografía aérea de 1963 - En rojo las canteras incipientes con extracción de la zona basal de areniscas, con cortes aproximadamente paralelos al rumbo, lo cual posibilita cinemáticamente los deslizamientos planares. De igual manera, se muestran en rojo las cárcavas de la zona arcillosa ubicada en la parte baja.....	3-17
Figura 3.10	Fotografía de 1998 - Nótese la intervención urbanística y los problemas de inestabilidad en los taludes de estudio, dejados por los procesos de extracción de materiales de construcción.	3-18
Figura 4.1	Localización de exploración del subsuelo IGR - 2006.....	4-10
Figura 6.1	Malla de elementos finitos	6-4
Figura 6.2	Desplazamientos totales prefalla. Situación anterior.	6-4
Figura 6.3	Deformaciones unitarias por cortante.	6-5
Figura 6.4	Deformaciones que se generan realizando terraceo.	6-5
Figura 6.5	Deformaciones por corte que se generan por terraceo.	6-6
Figura 6.6	Deformaciones con anclajes y terraceo parcial.	6-6
Figura 6.7	Deformaciones con pantalla anclada, terraceo y pantallas pernadas.....	6-7
Figura 6.8	Deformaciones por corte con pantalla anclada, terraceo y pernos de anclaje. 6-7	
Figura 6.9	Envolvente de fuerzas de los anclajes	6-8
Figura 6.10	Envolvente de fuerzas de los pernos, de la pantalla pernada intermedia.....	6-8
Figura 6.11	Envolvente de fuerzas de los pernos, de la pantalla pernada inferior.....	6-9
Figura 7.1	Mapa de amenaza por fenómenos de remoción en masa, situación en cualquier situación diferente a ejecución completa de obras.....	7-2
Figura 7.2	Mapa de amenaza por fenómenos de remoción en masa, situación con ejecución completa de obras	7-3

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.	Vista del talud en abril de 2005. El sendero peatonal a mitad de talud abarcaba pocos metros de ancho.....	2-9
Fotografía 2.	Vista del talud en julio de 2006. El sendero peatonal fue ampliado para la construcción de obras en el talud sur.	2-9
Fotografía 3.	Presencia de viviendas de recuperación en la parte alta del talud fallado. Su número ha aumentado en el último año.	2-9

Fotografía 4. Las viviendas de recuperación cercanas al escarpe rocoso están construidas en latas y madera.....	2-9
Fotografía 5. El aporte de aguas servidas de las viviendas de recuperación arriba del escarpe contribuyó como agente detonante.....	2-9
Fotografía 6. El agua servida se infiltra a través de las discontinuidades de la roca arenisca o por las zonas de brecha de falla.	2-9
Fotografía 7. Los pozos de alcantarillado a lo largo de la vía se encuentran obstruidos por basuras.....	2-10
Fotografía 8. Las cunetas de la vía se encuentran dispuestas en solo una de las calzadas. También se encuentran obstruidas por basuras.....	2-10
Fotografía 9. Las redes clandestinas de suministro de agua presentan en algunos casos fugas que contribuyen al aporte de agua del talud.....	2-10
Fotografía 10. El agua fluye hacia el talud, generando carcavamiento y filtrándose hacia los estratos más permeables.....	2-10
Fotografía 11. El estado de la vía que conduce hacia el Barrio Los Alpes es regular, dada la presencia de grietas en las losas de concreto hidráulico.....	2-10
Fotografía 12. Las grietas en la vía, junto con el paso de buses de considerable peso, generan vibraciones en el terreno que perjudican el escarpe rocoso cercano a la vía. .	2-10
Fotografía 13. La vía que conduce hacia el Barrio Los Alpes se encuentra a 4m del escarpe rocoso del deslizamiento actual.....	2-11
Fotografía 14. En la parte alta del escarpe se observan grietas de bloques que amenazan con desprenderse.....	2-11
Fotografía 15. Las cunetas que intercambian el flujo de un lado al otro de la vía se encuentran totalmente tapadas.....	2-11
Fotografía 16. La escorrentía genera surcos y ya se observan grietas en otros sectores del talud.....	2-11

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1	Cantidades De Obra y Presupuesto - Cronograma De Obra
ANEXO 2	Especificaciones de Construcción

LISTA DE PLANOS

PLANO 1	Topografía y localización de la exploración
PLANO 2	Geología
PLANO 3	Obras planta
PLANO 4	Detalles de obras

ELABORACIÓN DE DISEÑOS DE OBRAS NUEVAS Y DISEÑOS PARA EL MANTENIMIENTO DE OBRAS EXISTENTES , PRESUPUESTOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EN SITIOS CRÍTICOS DE RIESGO INMINENTE POR REMOCIÓN EN MASA EN LAS LOCALIDADES DE SUBA, USAQUÉN, CIUDAD BOLÍVAR Y USME DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, D.C.

SITIO 5 – BRISAS DEL VOLADOR – LOCALIDAD DE CIUDAD BOLIVAR

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

El Fondo de Prevención y Atención de Emergencias - FOPAE a través de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias del Distrito - DPAE suscribió el Contrato de Consultoría No. 648 de 2005 con el CONSORCIO IGR, conformado por EDGAR EDUARDO RODRÍGUEZ GRANADOS e INGENIERÍA Y GEORIESGOS LTDA, cuyo objeto es la “Elaboración de diseños de obras nuevas y diseños para el mantenimiento de obras existentes, presupuestos y especificaciones técnicas en sitios críticos de riesgo inminente por remoción en masa en las localidades de Suba, Usaquén, Ciudad Bolívar y Usme, de la Ciudad de Bogotá, D.C.”

El presente informe describe las actividades ejecutadas, análisis realizados, resultados obtenidos y diseños planteados para dar solución a los problemas observados en el Sitio 5 – Brisas del Volador, en el barrio del mismo nombre de la localidad Ciudad Bolívar.

El sitio se encuentra localizado aproximadamente entre las coordenadas 94650N-91250E y 94550N-91350E y limita al sur con el parque del Tanque El Volador de la Empresa de Acueducto de Bogotá. El acceso a Brisas del Volador se realiza por la Avenida Boyacá con Calle 64 sur (entrada al barrio Lucero), ascendiendo por la calle 70 D sur, hacia el occidente, hasta la carrera 22, para tomar la vía a Quiba, que sirve como límite oriental del área de estudio, mientras que el límite occidental del sitio corresponde a la carrera 23 A. En la Figura 1.1 y en la Figura 1.2 se muestra la localización general y particular del Sitio 5, respectivamente.

En junio de 2006, en el área de estudio en donde se desarrollan varios escarpes producto de antiguas explotaciones mineras, se presentó un fenómeno de remoción en masa que puso en peligro a las vías y viviendas aledañas, así como a los habitantes del sector.

El presente informe describe las actividades ejecutadas, análisis realizados, resultados obtenidos y diseños planteados para dar solución a los problemas observados en los taludes del barrio Brisas del Volador, de la localidad Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, D.C.

1.2 Objetivos y alcance

El objetivo principal de este estudio es realizar la evaluación de alternativas de mitigación de riesgo y la elaboración de diseños detallados de las medidas recomendadas para el sector afectado, orientadas a reducir el nivel de amenaza.

Para lograr este fin se realizó la recopilación y análisis de información y se utilizaron como insumos el levantamiento topográfico actual y los levantamientos geológico y geomorfológico,

la exploración del subsuelo y la caracterización geotécnica de estudios previos. En general se emplearon los siguientes productos:

- ? Levantamiento topográfico detallado de la zona de estudio a escala 1:250, con curvas de nivel cada 0.50 m. Plano 1, Ingeniería y Georriesgos, Julio de 2006.
- ? Exploración del subsuelo por medio de la ejecución de un (1) apique y dos (2) trincheras, Ingeniería y Georriesgos, Julio de 2006.
- ? Informe final del “Estudio de riesgos por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar los escarpes y laderas ubicados en el barrio Brisas del Volador y el extremo noroccidental del barrio La Esmeralda Sur de la localidad Ciudad Bolívar en Bogotá D.C”, Ingeniería y Georriesgos, Mayo de 2005.

El informe contiene la siguiente información y secuencia metodológica, de acuerdo con los alcances del estudio:

- ? Visitas de reconocimiento de campo.
- ? Recopilación de información primaria y secundaria.
- ? Levantamiento topográfico detallado de la zona de estudio, tanto del macizo rocoso y escarpes como de la infraestructura urbana, a escala 1:250 y con curvas de nivel cada 0.50m.
- ? Antecedentes del problema y diagnóstico conceptual.
- ? Exploración del subsuelo y recopilación de la exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio de estudios previos.
- ? Recopilación de la información de caracterización geotécnica de estudios previos.
- ? Recopilación del inventario y cartografía de la geología, geomorfología y procesos morfodinámicos, con el fin de conocer los mecanismos de falla y los factores condicionantes y desencadenantes de ellos.
- ? Modelación geotécnica.
- ? Diseño detallado de obras y acciones tendientes a minimizar el riesgo potencial.
- ? Presupuesto detallado y especificaciones de construcción.

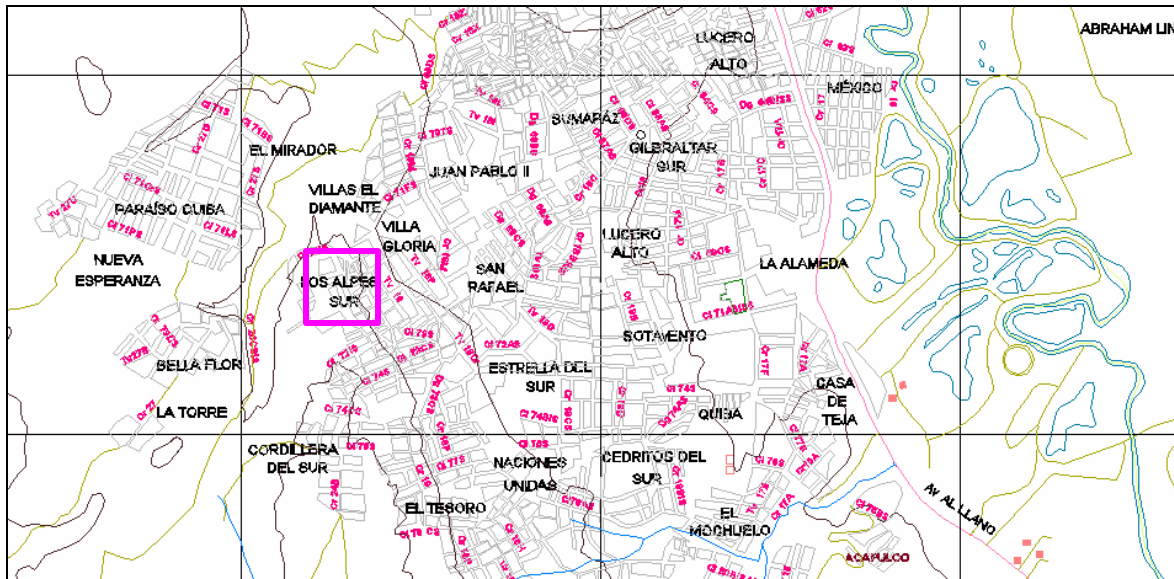


Figura 1.1 Localización general del área de estudio



Figura 1.2 Localización particular del área de estudio

2 DIAGNÓSTICO CONCEPTUAL

2.1 Antecedentes

En junio del presente año, después de una fuerte temporada de lluvias en el área de estudio en donde se encuentran varios escarpes producto de antiguas explotaciones mineras, se presentó un fenómeno de remoción en masa que puso en peligro a las vías y viviendas aledañas, así como a los habitantes del sector.

El problema consistió principalmente en el desprendimiento y caída de bloques de la parte alta del escarpe rocoso debido al reblandecimiento de una capa de lodolita, acompañado de flujo de detritos, guijarros y bloques, los cuales ocasionaron la caída de dos viviendas localizadas en la parte superior del escarpe, cercanas a la vía que conduce al barrio Los Alpes. Así mismo, el material deslizado alcanzó a cubrir parte de la vía de acceso al parque El Volador de la EAAB.

En la zona de estudio confluyen varias características importantes, tanto desde el punto de vista litológico como estructural. Son ellas:

- ? Presencia de paquetes de areniscas y lodolitas, de diferentes espesores y estados de alteración, en buzamientos altos orientados hacia la ladera, lo que origina la posibilidad cinemática de deslizamientos a través de los planos de estratificación.
- ? Presencia de amplias zonas de brechamiento que afectaron los materiales más competentes (las areniscas), de una manera desigual, convirtiendo las características estructurales del macizo rocoso en meros relictos, sin persistencia, que hacen que la zona de brecha posea un comportamiento más similar al de un medio particulado como es el de los suelos granulares, tanto desde el punto de vista geomecánico como hidromecánico.
- ? Alta susceptibilidad al reblandecimiento o pérdida de resistencia por humedecimiento, en las capas de lodolita, así como una frontera “impermeable” al agua. Esto último ocasiona la saturación de los materiales sobreyacentes de la columna litoestratigráfica -en el caso de la brecha- o aumento de las presiones de empuje que se pueden presentar en las discontinuidades de las areniscas, así como en el contacto de los materiales con una superficie propicia al deslizamiento.

Las anteriores características, conjugadas con factores como:

- ? Incremento de la escorrentía superficial en el talud durante la temporada de lluvias, por efecto de la deficiencia de la altura del sardinel de la vía que conduce a los Alpes. Esto ocasiona que las aguas que escurren por la vía, sobrepasen el sardinel y alcancen el desborde sobre el talud en estudio.
- ? Mal estado de las estructuras de drenaje de la vía y redes de conducción de aguas lluvias y aguas negras, las cuales se encuentran colmatadas por escombros y basura, impidiendo el correcto drenaje y generando un gran aporte de agua a la zona afectada.

- ? Vertimiento de aguas domésticas por viviendas de invasión que se localizan en la corona del talud.
- ? Mal estado de la vía de acceso al barrio los Alpes, lo que genera vibraciones en el terreno producto del paso de vehículos pesados de transporte público sobre las losas fracturadas.
- ? Generación de un corte casi vertical en el talud, con el fin de ampliar y adaptar un sendero peatonal para el paso de volquetas y maquinaria durante la construcción de las obras de mitigación para el talud del costado norte del parque El Volador. Este corte en el talud dejó expuesto en la parte inferior el estrato de lodolita que subyace a la arenisca friable, facilitando el inicio del proceso de remoción en masa.
- ? Deficiencia o ausencia en la construcción de las obras de mitigación de riesgo recomendadas en estudios previos.

Proporcionan los elementos suficientes para el desarrollo del fenómeno de remoción en masa ocurrido en el mes de junio de 2006.

De acuerdo con la información recopilada del área de estudio e información suministrada por estudios previos, a continuación se hace referencia a los antecedentes presentados por el FOPAE para el Sitio 5 Brisas del Volador, mediante la emisión de diferentes estudios y diagnósticos técnicos.

2.1.1 Estudio de zonificación por inestabilidad del terreno en diferentes localidades de Santa Fe de Bogotá, INGEOCIM LTDA., 1998.

Según el “Estudio de zonificación por inestabilidad del terreno en diferentes localidades de Santa Fe de Bogotá”, elaborado por la firma INGEOCIM LTDA. en 1998 para el FOPAE, el área de estudio presenta zonas de Amenaza Media en el escarpe rocoso cercano a la vía que conduce al barrio Los Alpes y Amenaza Alta en la parte baja del talud que llega a la vía de acceso al parque del Acueducto, tal y como se muestra en la Figura 2.1.

2.1.2 Diagnóstico Técnico de Emergencia No. DI-2026 de junio de 2004

El documento técnico No. DI-2026 hace principalmente referencia al sector del talud que se encuentra al costado sur del sitio 5 y por fuera del área del presente estudio; sin embargo, a continuación se mencionan los aspectos más relevantes.

El diagnóstico establece la ocurrencia de un “flujo de detritos, guijarros y algunos bloques en la parte superior del costado sur occidental del talud rocoso, localizado al occidente de la Institución Educativa Distrital (IED) Confederación Brisas del Diamante Sede C, antes Centro Educativo Distrital (CED) Brisas del Volador; ubicado en la Calle 70G Sur No. 20 – 19 del barrio Brisas del Volador de la Localidad Ciudad Bolívar”.

De acuerdo con el mencionado diagnóstico, el agente detonante del problema de inestabilidad fue “las aguas servidas provenientes de la vivienda ubicada en la carrera 22 No. 72A – 22 sur, que se encuentra en la ladera superior del talud rocoso; el agua era conducida por una cuneta en tierra hasta el punto donde se presentó el flujo. Así mismo, el diagnóstico establece que los agentes contribuyentes del fenómeno son los flujos subsuperficiales producto de la infiltración de la lluvia, el riego que se hacía a un cultivo de

maíz y las posibles fugas del sistema de alcantarillado de la vía de acceso al barrio Los Alpes”.

Por otro lado, se cita que “en vista de los aportes de agua que seguirá recibiendo el talud rocoso a raíz de los agentes detonantes y contribuyentes antes citados, del alto fracturamiento que el talud rocoso presenta y de la grieta de tracción que se observa en la corona del flujo de detritos; se considera que el flujo se tornará retrogresivo y por tanto que las viviendas de la parte inferior, incluyendo la IED, se ven expuestas al FRM y podrán verse afectas”; por tanto, se recomendó el “aislamiento de la pata del talud, evacuar temporalmente dos salones de la IED mientras se construía por parte del CADEL una barrera, mantener seguimiento al avance del fenómeno y adelantar un estudio detallado del sector a fin de establecer las condiciones de estabilidad del talud y las medidas de mitigación pertinentes”.

2.1.3 Diagnóstico técnico de emergencia No. 2184 de noviembre de 2004

El documento establece la retrogresión e incremento del flujo de detritos del talud rocoso sur occidental, ocurrido en abril de 2004 (DI-2026), a causa de aportes de agua provenientes de la lluvia, de flujos subsuperficiales, aguas servidas de las viviendas de la parte superior y drenaje de la vía. Así mismo identifica un nuevo evento, desprendimiento y caída de bloques hacia el tercio medio del talud rocoso a raíz de la descarga que se hace a través de una cuneta en mortero de las aguas residuales de las viviendas de la parte superior.

A raíz de la recurrencia del evento, se ratifica la condición de riesgo que presentan las viviendas y la IED Confederación Brisas del Diamante ante la caída de bloques y guijarros; por tanto, se insistió en la “necesidad de implementar la barrera recomendada en abril de 2004, el retiro del material deslizado y la necesidad prioritaria de adelantar un estudio detallado de riesgo del sector”.

2.1.4 Estudio de riesgos por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar los escarpes y laderas ubicados en el barrio Brisas del Volador y el extremo noroccidental del barrio La Esmeralda Sur de la localidad Ciudad Bolívar en Bogotá D.C., IGR, Mayo de 2005.

Este estudio surgió como resultado de los diagnósticos descritos en los numerales anteriores, dada la necesidad de conocer de manera detallada el riesgo por fenómenos de remoción en masa del sector. El estudio incluye la totalidad del área en donde se desarrolla el problema de inestabilidad actual, junto con los escarpes y taludes al sur del sector que define el área del Sitio 5.

Entre las características geotécnicas y procesos morfodinámicos típicos del área, el estudio resalta la existencia de macizos rocosos correspondientes a la Formación Labor y Tierna del Grupo Guadalupe, donde predominan areniscas de regular a buena cementación, con intensidad de fracturamiento variable e intercalaciones de lodolitas grises. Estas lodolitas usualmente conforman los planos a lo largo de los cuales se presentan deslizamientos planares de grandes magnitudes, principalmente en las zonas de extracción de materiales en donde se retira el soporte basal a flancos monoclinales con cortes aproximadamente paralelos al rumbo de las estructuras y donde además las

intercalaciones lodosas quedan expuestas, humedeciéndose con facilidad y perdiendo sus propiedades normales de resistencia.

Dentro del inventario de procesos de remoción en masa efectuado para el estudio, se evidenció la presencia de un deslizamiento de tipo traslacional en la parte norte (actual Sitio 5), en un talud afectado por actividad extractiva. Este proceso se desarrolla sobre areniscas muy alteradas y suelos residuales arenosos, con flujos de detritos asociados e involucrando las intercalaciones de lodolitas. El agente detonante definido corresponde a las fugas de aguas servidas de viviendas ubicadas en la parte alta del talud.

Como resultado del estudio, se concluyó que el nivel de amenaza a futuro sería Alto en el talud norte que se encuentra actualmente fallado.

Para las obras de mitigación del riesgo se propusieron las siguientes actividades principales, las cuales se ilustran en la Figura 2.2:

- ? Reubicación de predios en la parte alta del talud.
- ? Perfilado de los frentes de explotación en taludes 1H:2V.
- ? Perfilado de parte del área en taludes 2H:1V.
- ? Empradización con cespedón de parte del talud.
- ? Manejo de aguas lluvia y de infiltración mediante canales en concreto, estructuras disipadoras y subdrenes horizontales.

De las obras relacionadas, se presentan las siguientes particularidades con respecto al manejo del agua en el área de estudio:

- ? Los canales se propusieron con sección rectangular, en concreto reforzado y con escalonamiento longitudinal.
- ? Las estructuras disipadoras fueron propuestas para captar el agua de escorrentía de la vía y los vertimientos de aguas servidas de las viviendas en la parte alta del talud.
- ? Los subdrenes horizontales fueron propuestos con el fin de captar el agua de infiltración en los estratos más permeables y zonas de brecha de falla.

Todas las medidas de manejo del agua fueron propuestas con el fin de evitar el humedecimiento y posterior pérdida de resistencia de los estratos de lodolitas.

2.2 Estado actual del área de estudio

Con el fin de definir las posibles causas, mecanismos de falla y naturaleza del problema, se efectuaron varias visitas al sitio de estudio. Teniendo en cuenta las obras recomendadas en el estudio de IGR 2005 y basados en los antecedentes de diagnósticos y estudios técnicos previos, a continuación se describen las principales observaciones tomadas de campo. Los conceptos son ilustrados de la Fotografía 1 a la Fotografía 16.

2.2.1 Talud norte y escarpe principal

En abril de 2005, el talud se encontraba en condición de estabilidad aparente, como se muestra en la Fotografía 1. Actualmente, el talud se encuentra afectado por un proceso de remoción en masa consistente en un flujo de detritos, guijarros y bloques, acompañado de caída de bloques de arenisca de considerable tamaño, tal y como se observa en la Fotografía 2.

El factor detonante del movimiento fue el gran aporte de agua al talud durante la temporada de lluvias. El agua proveniente principalmente de la escorrentía de la vía y el terreno, así como de conexiones no autorizadas de redes de acueducto y alcantarillado de las viviendas aledañas, se infiltra a través de las diaclasas o discontinuidades de la arenisca superior que se encuentra bastante fracturada o a través de las zonas de brecha de falla presentes en el talud que son bastante permeables, hasta llegar a los estratos de lodolita (zona de debilidad), para luego generar una reducción en la resistencia por humedecimiento de los estratos lodosos y causar la posterior falla.

La secuencia conceptual de la ocurrencia del proceso de remoción en masa se resume a continuación:

- ? Ocurrencia de una fuerte temporada de lluvias entre marzo y mayo de 2006, con periodo de retorno alto.
- ? El agua proveniente principalmente de la escorrentía de la vía y el terreno, así como de conexiones no autorizadas de redes de acueducto y alcantarillado de las viviendas en la parte alta del talud, se infiltra a través de las diaclasas o discontinuidades de la arenisca superior que se encuentra bastante fracturada o a través de las zonas de brecha de falla presentes en el talud, las cuales son bastante permeables.
- ? Pérdida de la cabeza de succión -y en consecuencia de la cohesión aparente- en los materiales brechados, lo que origina que solo intervenga la fricción de los mismos. Al perder dicho aporte de resistencia, el talud de corte de la vía de acceso de construcción se vuelve inestable. El movimiento de los materiales del talud de la vía inestabiliza aquellos que se encuentran en la parte posterior de la misma, y como consecuencia de ello, el fenómeno de remoción se propaga de manera ascendente, desplazando los materiales brechados, en un movimiento de carácter traslacional como flujo de detritos.
- ? Los aportes del agua de infiltración alcanzan los estratos de lodolita que subyacen la arenisca (zona de debilidad), para luego generar una reducción en la resistencia por humedecimiento de los estratos lodosos y causar la posterior falla. Las fallas son de tipo traslacional y se desarrollan a lo largo de un plano de estratificación entre la arenisca y la lodolita.
- ? Como consecuencia de todo lo anterior, las areniscas de la parte superior de la columna litoestratigráfica pierden soporte y se inestabilizan los bloques susceptibles – muy definidos por las discontinuidades-, originando la caída de los mismos hacia la superficie del movimiento anterior.

Por otro lado, las obras de mitigación del riesgo recomendadas en el estudio de IGR 2005, consistentes en el perfilado del talud para remover bloques potencialmente

inestables y liberar esfuerzos, construcción de subdrenes horizontales en las zonas de brecha de falla y estratos de arenisca más permeables y construcción de canales para colectar el agua de escorrentía superficial, subsuperficial y el agua proveniente de los subdrenes, no fueron construidas. Este hecho ocasionó que las condiciones de pendiente y drenaje del escarpe rocoso y el talud en general no fueran las adecuadas, principalmente en la zona de brecha de falla.

Adicionalmente, de acuerdo con lo observado y lo conversado con habitantes del sector, en diciembre de 2005 durante la construcción de las obras de mitigación para el talud del costado sur del Sitio 5, se generó un corte casi vertical en el talud norte, con el fin de ampliar y adaptar un sendero peatonal para el paso de volquetas y maquinaria (Ver fotografías 1 y 2). Este corte en el talud dejó expuesto en la parte inferior el estrato de lodolita que subyace a la arenisca friable, facilitando el inicio del proceso de remoción en masa.

2.2.2 Construcciones en la parte alta del talud

En la parte alta del talud y cercano al escarpe principal del deslizamiento, hubo un desarrollo reciente en la construcción de viviendas (comparando las fotografías del estudio de mayo de 2005 con las tomadas en el mes de julio de 2006, ver Fotografías 1 a 3). Las construcciones típicas en la parte alta del talud son de 1 piso, conformadas por latas y madera (recuperación) o muros de mampostería no confinada, con deficientes condiciones de construcción, tal y como se muestra en la Fotografía 4. Estas viviendas contribuyeron en gran parte como factor detonante del deslizamiento, por realizar un aporte de aguas servidas al macizo rocoso de areniscas altamente fracturadas, tal y como se evidencia en las Fotografías 5 y 6.

2.2.3 Redes y estructuras de drenaje

De acuerdo con las observaciones de campo, el sistema de canales propuesto como obra de mitigación en el estudio de IGR 2005 no fue construido. Este sistema de drenaje superficial tenía como objetivo el recolectar el aporte de agua de escorrentía proveniente de la parte alta del talud y de la vía, así como interceptar aguas servidas de las viviendas arriba del escarpe rocoso. Su ausencia facilitó la entrada de un gran aporte de agua dentro de las discontinuidades superiores del macizo rocoso de arenisca, lo cual generó una sobrecarga importante en los bloques de roca y condujo a su posterior caída.

Adicionalmente, las intercalaciones de lodolitas que subyacen los estratos de areniscas, muy probablemente se vieron afectadas por la infiltración del agua en el terreno, la cual genera una disminución en la resistencia por humedecimiento de estos estratos, formando planos de debilidad y potencial inestabilidad.

Por el área de estudio cruzan redes de alcantarillado pluvial y sanitario, concentradas principalmente a lo largo de la vía de acceso al barrio Los Alpes. Las redes se encuentran en su mayoría en mal estado, con pozos colmatados con basuras, tal y como se muestra en la Fotografías 7 y 8. Así mismo, se encuentran cunetas a lo largo de la vía que en su mayoría están llenas de basura y se manejan en solo una de las dos calzadas, lo cual dificulta el drenaje, tal y como se muestra en la Fotografías 8 y 15.

Esta situación impide el adecuado manejo de las aguas lluvias, las cuales en épocas de invierno rebosan los niveles de la vía y pozos y se dirigen hacia los taludes cercanos,

generando un gran aporte de agua a la zona de estudio, evidenciado en erosión superficial y surcos como los observados en la Fotografía 16.

Por otro lado, existen redes clandestinas de acueducto, las cuales se encuentran en algunos casos con fugas de agua de considerable caudal, que aportan a la infiltración en el terreno, tal y como se muestra en las Fotografías 9 y 10.

2.2.4 Vía de acceso al barrio Los Alpes

La vía de acceso al barrio Los Alpes se encuentra aproximadamente a 4m del escarpe principal del talud norte. Está construida en pavimento rígido y su estado actual es regular. Particularmente, se observa que en la zona cercana al escarpe existen losas agrietadas por el paso de buses de servicio público, preferencialmente en el sector donde se encuentra un pozo de alcantarillado. Esta situación genera vibraciones en el terreno producto del paso de buses de gran peso, lo cual contribuye muy probablemente con el debilitamiento del macizo rocoso y la ampliación de la abertura entre diaclasas, facilitando aún más la entrada de agua. El anterior hecho se puede apreciar de la Fotografía 11 a la Fotografía 14.

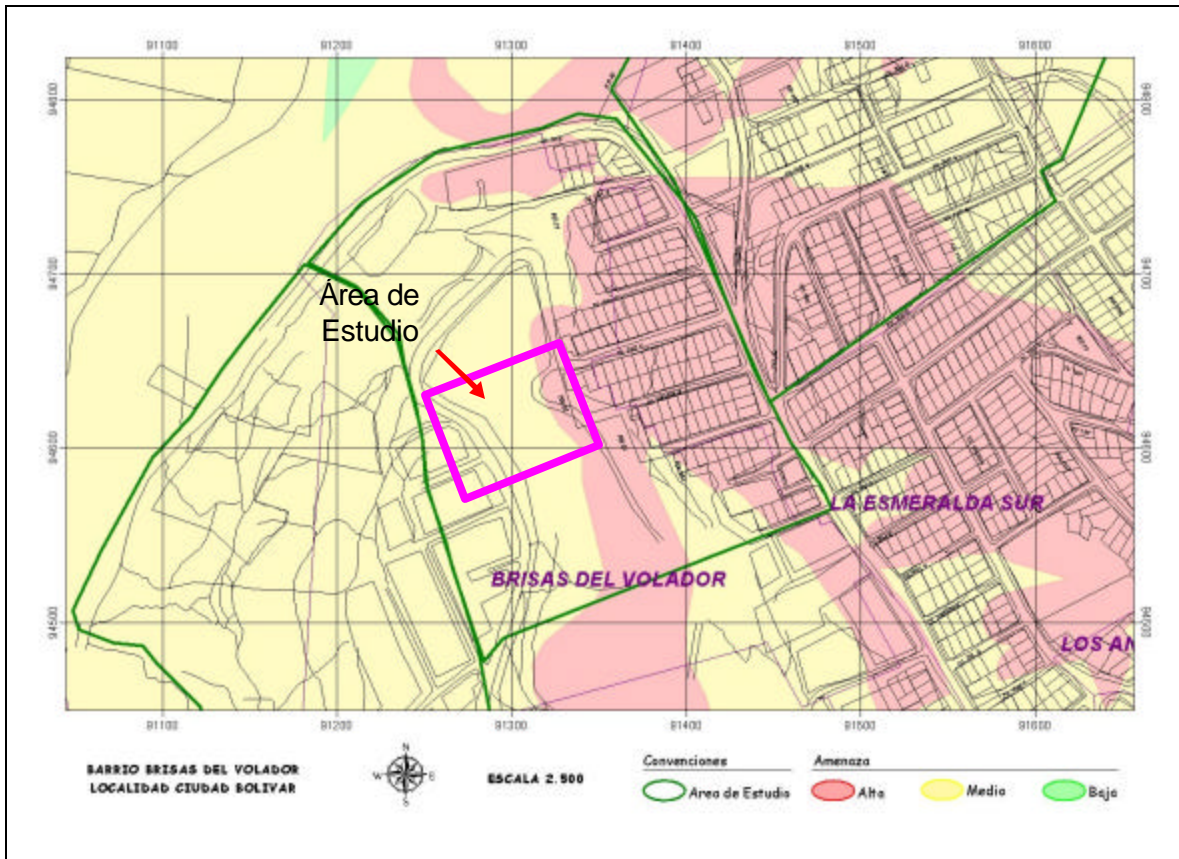


Figura 2.1 Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa (Ingeocim Ltda., 1998).

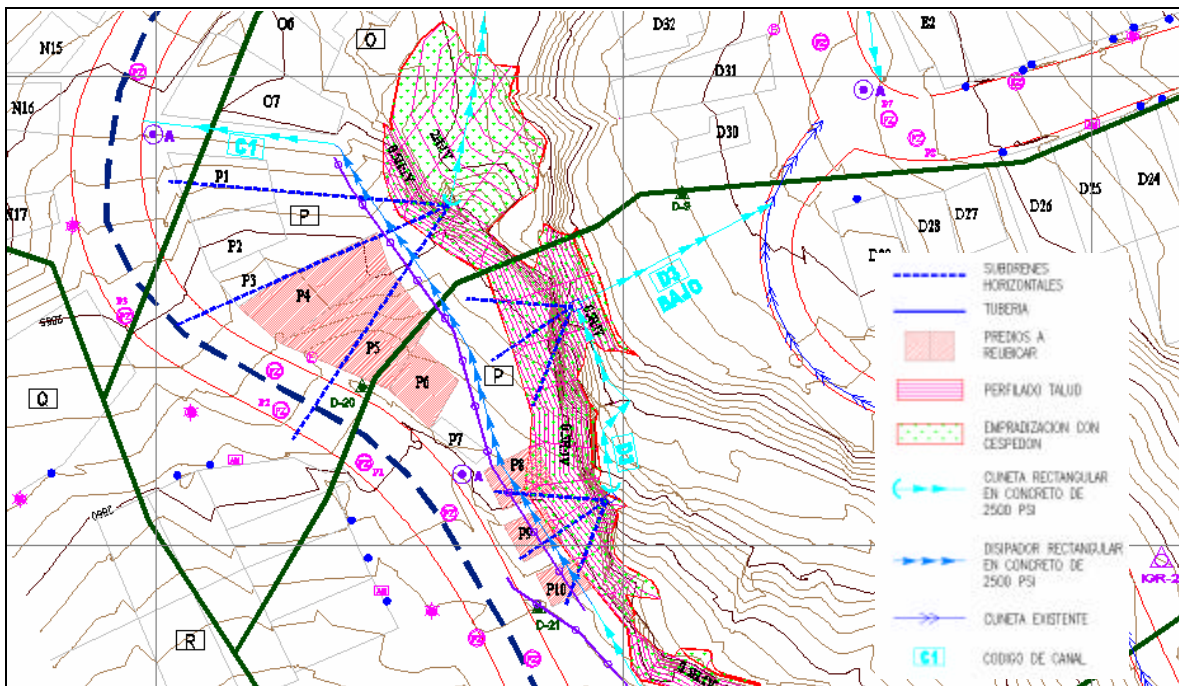


Figura 2.2 Obras propuestas para la mitigación de amenaza por procesos de remoción en masa (IGR, 2005).



Fotografía 1. Vista del talud en abril de 2005. El sendero peatonal a mitad de talud abarcaba pocos metros de ancho.



Fotografía 2. Vista del talud en julio de 2006. El sendero peatonal fue ampliado para la construcción de obras en el talud sur.



Fotografía 3. Presencia de viviendas de recuperación en la parte alta del talud fallado. Su número ha aumentado en el último año.



Fotografía 4. Las viviendas de recuperación cercanas al escarpe rocoso están construidas en latas y madera.



Fotografía 5. El aporte de aguas servidas de las viviendas de recuperación arriba del escarpe contribuyó como agente detonante.



Fotografía 6. El agua servida se infiltra a través de las discontinuidades de la roca arenisca o por las zonas de brecha de falla.



Fotografía 7. Los pozos de alcantarillado a lo largo de la vía se encuentran obstruidos por basuras.



Fotografía 8. Las cunetas de la vía se encuentran dispuestas en solo una de las calzadas. También se encuentran obstruidas por basuras.



Fotografía 9. Las redes clandestinas de suministro de agua presentan en algunos casos fugas que contribuyen al aporte de agua del talud.



Fotografía 10. El agua fluye hacia el talud, generando cárcavamiento y filtrándose hacia los estratos más permeables.



Fotografía 11. El estado de la vía que conduce hacia el Barrio Los Alpes es regular, dada la presencia de grietas en las losas de concreto hidráulico.



Fotografía 12. Las grietas en la vía, junto con el paso de buses de considerable peso, generan vibraciones en el terreno que perjudican el escarpe rocoso cercano a la vía.



Fotografía 13. La vía que conduce hacia el Barrio Los Alpes se encuentra a 4m del escarpe rocoso del deslizamiento actual.



Fotografía 14. En la parte alta del escarpe se observan grietas de bloques que amenazan con desprenderse.



Fotografía 15. Las cunetas que intercambian el flujo de un lado al otro de la vía se encuentran totalmente tapadas.



Fotografía 16. La escorrentía genera surcos y ya se observan grietas en otros sectores del talud.

3 ESTUDIO GEOLÓGICO

Con base en la información recopilada del “Estudio de riesgos por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar los escarpes y laderas ubicados en el barrio Brisas del Volador y el extremo noroccidental del barrio La Esmeralda Sur de la localidad Ciudad Bolívar en Bogotá D.C.”, (Ingeniería y Georriesgos, Mayo de 2005), se realizó una visita de inspección geológica para validar los modelos planteados en dicho estudio y establecer su aplicabilidad para el presente estudio.

A continuación se describen los aspectos más relevantes tomados de la información geológica suministrada en el estudio previo realizado en mayo de 2005, junto con el complemento a la geología, producto de las visitas del geólogo a la zona actualmente fallada.

3.1 Aspectos de geología regional

La zona trabajada hace parte de las laderas cercanas al Piedemonte sur de la Sabana de Bogotá y presenta una morfología de ladera con pendientes que varían entre 25 y 45°. Se encuentra sobre una secuencia sedimentaria que hace parte del flanco occidental del Sinclinal de Usme y en la que predominan areniscas cuarzosas dispuestas en capas gruesas (más de 3 metros de espesor) intercaladas con lodolitas grises de fisibilidad baja que conforman la Formación Arenisca Tierna del Grupo Guadalupe. La ladera se encuentra cubierta parcialmente por paquetes coluviales productos de deslizamientos relativamente recientes, ligados a la explotación inadecuada de materiales de construcción y materiales antrópicos.

Los macizos rocosos se encuentran intensamente fracturados, llegando a presentar brechamiento y zonas con harina de falla. Estos procesos tectónicos se relacionan con fallas que poseen una importante componente de rumbo tipo dextral. (Ver la geología regional formulada por Ingeocim, 1999 en la Figura 3.1).

3.2 Estratigrafía

En este numeral se tiene como referencia la información del Léxico Estratigráfico Internacional (Julivert, 1968).

3.2.1 Grupo Guadalupe (Ksg)

Nombre: Propuesto por Hettner (1892) y redefinido por Hubach (1957) y Renzoni (1968) quienes lo subdividieron en Arenisca Dura (Ksgd), Plaeners (Ksgp) y Labor y Tierna (Ksglt). El nombre de esta unidad procede del Cerro de Guadalupe, que conforma la Sierra de Bogotá.

Edad: Cretácico Tardío (Campaniano - Maastrichtiano Superior).

3.2.1.1 Características físicas de la roca en el área tipo

Formación Labor y Tierna (Ksglt): Areniscas blancas a grises claras, de grano fino a grueso, con estratificación gruesa a muy gruesa. La parte superior del conjunto la conforman areniscas cuarzosas y feldespáticas, de grano medio a conglomerático, ligeramente duras a friables, con estratificación inclinada, intercaladas con capas delgadas de arcillolitas grises claras.

3.2.1.2 Características físicas de la roca en el área de estudio

Formación Labor y Tierna (Ksglt): Areniscas cuarzosas de grano fino, color gris claro a blanco amarillento, bien seleccionadas, competentes, con cementación moderada a buena, en capas generalmente gruesas (más de 2 metros), presencia de estratificación interna inclinada e ichnofosiles en las capas de techo. Se presentan intercalaciones de lodolitas poco fisibles de color gris, dispuestas en capas delgadas con estratificación ondulosa paralela y laminación plano paralela.

3.2.1.3 Características geotécnicas y procesos morfodinámicos típicos

Los macizos rocosos correspondientes al Grupo Guadalupe se caracterizan por su variabilidad. Se puede generalizar un comportamiento de macizo rocoso la Formación Labor y Tierna, donde predominan areniscas de regular a buena cementación, con intensidad de fracturamiento variable. Sin embargo, los macizos rocosos explotados en la zona del Volador (bancos de areniscas) tienen intercalaciones de lodolitas grises, que han conformado los planos a lo largo de los cuales se han presentado o se están presentado deslizamientos planares de grandes magnitudes en las zonas de extracción de materiales cercanas (antigua cantera El Volador, adyacente a la zona de estudio y canteras Santa Helena e Industrial y Minera La Quebrada, ubicadas al occidente).

Los deslizamientos planares de macizo rocoso se dan en zonas en las cuales se quitó el soporte basal a flancos monoclinales con cortes aproximadamente paralelos al rumbo de las estructuras y donde además afloraban intercalaciones lodosas que al humedecerse pierden sus propiedades normales de resistencia.

3.3 Geología estructural

La zona de estudio se ubica en el flanco occidental del Sinclinal de Usme, pero dicho flanco presenta replegamientos menores y fuerte afectación tectónica. El Mapa Geológico de Ingeocim-DPAE (1999) mostrado en la Figura 3.1 muestra una falla regional de rumbo, con componente dextral dentro de la zona de estudio.

En cuanto a plegamientos, no se observa este tipo de estructuras en la zona de estudio.

3.4 Geología local

En el estudio de IGR en mayo de 2005, se llevó a cabo el levantamiento cartográfico de la geología detallada en la zona actualmente fallada, caracterizando cada una de las unidades de roca aflorantes en la zona de estudio. Las areniscas dispuestas en bancos o capas muy gruesas y que mostraban buena calidad de afloramientos (generalmente

relacionados con escarpes de antiguos frentes de extracción) fueron sub-divididas de acuerdo con su fracturamiento (Número de Cecil). Es importante destacar que en la totalidad de la zona de estudio aflora la Arenisca Tierna (Kgst), con lo que se aporta en el ajuste del mapa Ingeocim - Upes (1999), en donde se cartografía la parte inferior del sector estudiado como parte de la Formación Guaduas.

A continuación se describen las unidades, de la más antigua a más reciente:

3.4.1 Unidades roca

3.4.1.1 Unidad de arenisca alterada (Kgst - Are 0)

Esta unidad aflora al occidente de la zona de estudio. Su afloramiento consiste en un escarpe de suelos residuales arenosos, con parches de macizo rocoso brechado. Consiste de areniscas de grano medio, friables debido a la acción de agentes de meteorización. Esta unidad no se encuentra expuesta en el talud del sitio 5, por lo tanto no será tomada en cuenta dentro del modelo de análisis para el presente estudio.

3.4.1.2 Unidad de Lodolita basal (Kgst - Lod1)

Solamente aflora ladera abajo en dirección norte, fuera de la zona de estudio. Consiste de lodolitas grises poco fisibles, en capas onduladas plano-paralelas. Presenta delgadas intercalaciones de arenisca lodosa de grano fino, bien cementadas. Altera a suelos residuales arcillosos de colores pardos. Esta unidad no será tomada en cuenta dentro del modelo de análisis para el presente estudio.

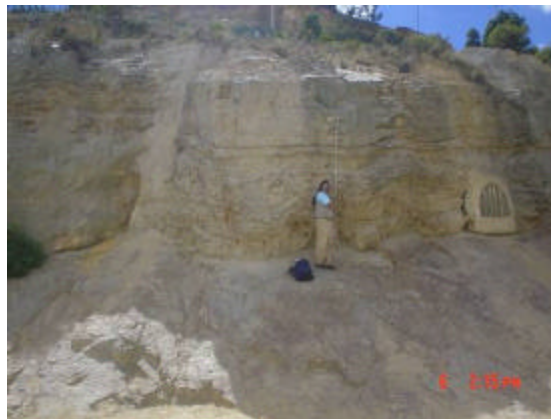
3.4.1.3 Unidad de Arenisca basal (Kgst - Are1)

Esta unidad no se encuentra expuesta en el talud del sitio 5, por lo tanto no será tomada en cuenta dentro del modelo de análisis para el presente estudio; sin embargo, a continuación se realizará una breve descripción.

Cuarzoarenisca maciza, dispuesta en bancos (espesor cercano a 15 metros), de colores pardos claros. Esta unidad se encuentra intensamente fracturada. En el tope muestra rugosidad a nivel meso por la presencia de ichnofosiles (lo que permite afirmar sin dudas que en la zona baja continua aflorando la Formación Arenisca Tierna).

3.4.1.4 Unidad de Intercalaciones lodosas onduladas (Kgst - Lod2)

Intercalaciones de lodolitas grises poco fisibles con capas de areniscas bien cementadas con espesores menores de 5 cm. La geometría de las capas es muy ondulosa y su respuesta ante la deformación es dúctil, observándose de manera frecuente cambios fuertes de espesor, especialmente en las zonas de falla. En la mitad superior de esta unidad predominan casi totalmente las lodolitas. La ondulidad de esta unidad se debe a la acción de esfuerzos tectónicos (Fotografía 3.1). Esta unidad de lodolitas se vio involucrada en el fenómeno de remoción en masa actual, dada su exposición en parte del talud norte y su humedecimiento, producto de la infiltración de agua a través de las discontinuidades y zonas de brecha de falla de la arenisca superior.



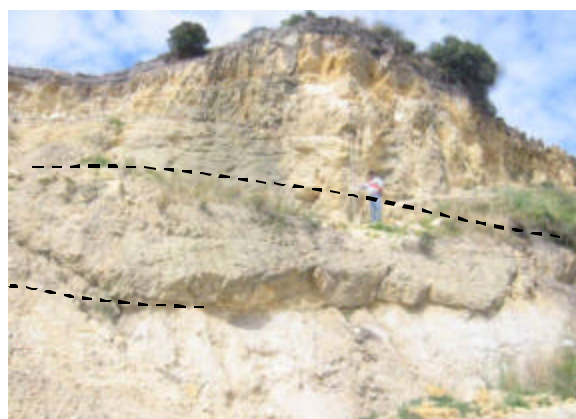
Fotografía 3.1. Intercalaciones lodosas onduladas (Kgst - Lod2).

3.4.1.5 Unidad de Arenisca maciza en capa gruesa (Kgst - Are 2)

Cuarzoarenita de color amarillo, con delgadas intercalaciones de lodolitas (menores de 2 cm). Se dispone en capas plano - paralelas con espesor menor de 3 metros. Los afloramientos de esta unidad son escasos.

3.4.1.6 Unidad de Areniscas friables onduladas (Kgst - Are3)

Estas areniscas son más lodosas que las areniscas macizas y muestran algunas intercalaciones de capas de lodolitas grises. Siempre se observan con mayor contenido de humedad natural que el banco de arenisca maciza que la suprayace. Las capas de areniscas tienen espesores entre 20 y 30cm y las capas de lodolitas intercaladas no superan los 5 cm. (Fotografía 3.2).



Fotografía 3.2. Areniscas friables onduladas (Kgst - Are3) en la parte media de la imagen, las cuales suprayacen a la parte superior (con predominio de arcillolitas) de la unidad de Lodolitas 2 e infrayace la unidad de areniscas macizas superiores (Kgst - Are4)

3.4.1.7 Unidad de Areniscas macizas superiores (Kgst - Are4)

Cuarzoarenitas de grano medio a grueso (se observan algunos niveles escasos con tamaño de grano muy grueso, cercano a 2 mm), subredondeados a subangulares, de color amarillo fuerte a blancuzco (Fotografía 3.3), en general más meteorizadas que el paquete de arenisca suprayacente. Muestran ichnofosiles en el tope y foraminíferos en ciertos niveles. Esta unidad fue el principal objetivo de extracción de la actividad minera que se desarrolló en la zona. (Fotografía 3.3). El proceso de caída de bloques en el talud norte se presentó principalmente sobre esta unidad, en donde se desarrolla el escarpe principal del área de estudio.

3.4.1.8 Unidad de coluviones recientes (Qcol)

Se presenta en las zonas objeto de intervención extractiva y en ellas predominan los materiales arenosos, tanto en la matriz como en los bloques pétreos. También se incluyen en esta unidad el producto de los deslizamientos activos que se observan en la parte central y sur del área de estudio.

3.4.1.9 Unidad de suelos oscuros (Qcen)

La cobertura original de suelos oscuros producto de la acción orgánica sobre horizontes de cenizas provenientes de la Cordillera Central se conserva especialmente en la parte alta (occidente) de la zona de estudio. Consiste de suelos limosos de color gris claro, que suprayacen un horizonte de turba (suelo negro endurecido) con espesor menor de 10 cm.



Fotografía 3.3. Areniscas macizas superiores (Kgst - Are4).

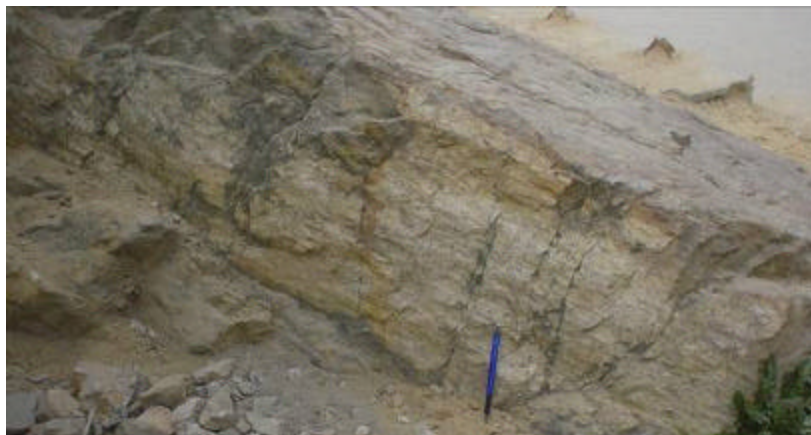
3.4.2 Estructural

3.4.2.1 Mediciones

De la Tabla 3.1 a la Tabla 3.3 se presenta el inventario de las diaclasas y discontinuidades medidas en campo para el estudio de 2005. Es importante anotar que las discontinuidades incluyeron la estratificación (en negrilla) y las fallas menores (en bastardilla), evidenciadas por estrías de fricción; en estos planos se midió, además de su acimut de buzamiento y su inclinación de buzamiento, la dirección (rumbo e inclinación) y el sentido de las estrías de fricción, con el fin de ligar estos datos con las estructuras regionales de fallamiento. En total se midieron 446 datos, que constituyen una muestra representativa de las discontinuidades del sector (los nombres de los taludes son informales). La red estereográfica de los datos medidos se muestra en la Figura 3.2; los polos, en la Figura 3.3; las familias promedio, en la Figura 3.4 y, la condición cinemática de esfuerzos para la zona, en la Figura 3.5.

3.4.2.2 Análisis tectónico cinemático

En el sector de Brisas del Volador, los taludes medidos fueron clasificados de manera preliminar de acuerdo con su orientación. Se recolectaron datos estructurales correspondientes a estratificaciones, fracturas y fallas con sus respectivos indicadores cinemáticos de desplazamiento (Fotografía 3.4).



Fotografía 3.4. Estrías de fricción.

En el macizo rocoso se presentan cuatro familias principales de discontinuidades y algunas dispersas: (ver Figura 3.3 y Figura 3.4).

- ? D1 = Fracturas 215 / 72 con una frecuencia del 6,6%. Esta familia se encuentra asociada con fallas de rumbo, de carácter sinestral.
- ? D2 = Fracturas 321 / 84 con una frecuencia del 3,3%.
- ? D3 = Fracturas 147 / 67 con una frecuencia del 3,1%.
- ? D4 = Estratificación 68 / 27 con una frecuencia del 2,4%.
- ? Fracturas dispersas asociadas.

Estas familias se mantienen a lo largo y ancho de todo el sector. A las fallas registradas (12 en total), se les realizaron los cálculos de condición cinemática de esfuerzos, cuyos resultados fueron: (ver Figura 3.5).

- ? Plano principal de falla de rumbo sinestral, el cual origina la mayor cantidad de fracturas (203 / 72)
- ? Plano principal de falla conjugada = 298 / 77
- ? Dirección de esfuerzo principal S1 = 71 / 22 (Posible dirección de cizalla regional)
- ? Dirección de esfuerzo principal S2 = 240 / 68
- ? Dirección de esfuerzo principal S3 = 340 / 4

3.5 Geomorfología

3.5.1 Morfoestructural

La zona de interés se encuentra en la parte alta de una ladera de tipo estructural que conforma un monoclinal fallado con inclinación hacia el oriente, en cuya configuración morfológica es claro el control estructural de rocas de resistencia alta ante la erosión.

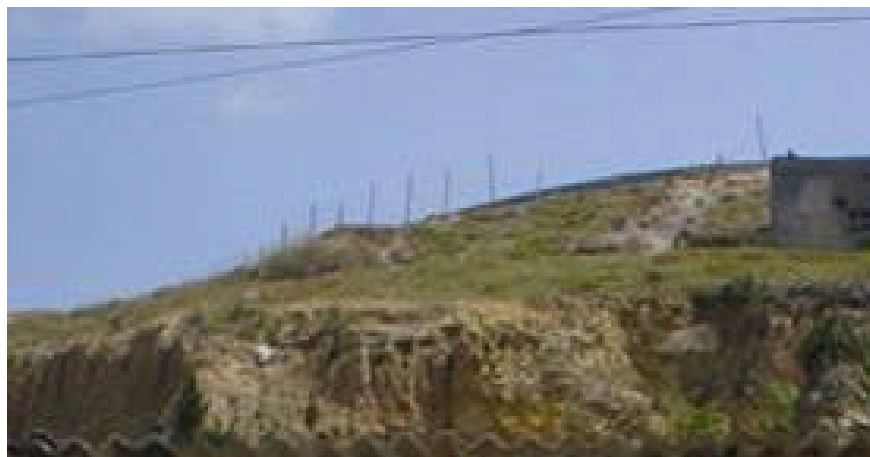
La ladera tenía una inclinación promedio de 30°, pero fue intervenida por labores extractivas (como fuente de materiales de construcción), mediante cortes aproximadamente paralelos al rumbo de las capas en la parte más baja de la ladera.

Como consecuencia de estas actividades, se crearon condiciones cinemáticas para la desestabilización de grandes porciones de macizo rocoso y las zonas de menor intervención fueron abandonadas con una reconfiguración morfológica inestable, tanto por los mencionados deslizamientos planares de macizo rocoso como por la creación de escarpes antrópicos sub-verticales sobre rocas sometidas a esfuerzos (voladuras) que disminuyeron sus características de resistencia.

3.5.1.1 Laderas estructurales denudacionales (Led)

Se ubican lateralmente en las partes altas adyacentes a la zona de estudio, en las áreas que no fueron intervenidas por la actividad extractiva (Fotografía 3.5). Se desarrollan sobre areniscas y lodolitas cubiertas por suelos coluviales delgados y suelos oscuros que enmascaran la litología. También se observan parches de rellenos antrópicos que no superan 1 metro de espesor.

Sobre este tipo de formas no se observan procesos de remoción en masa antiguos ni recientes. Los rangos típicos de pendiente para estas zonas no intervenidas varían entre 15 y 20°.



Fotografía 3.5. Panorámica de las laderas estructurales denudacionales, en la parte alta, al sur de la zona de estudio.

3.5.1.2 Laderas intervenidas por la actividad extractiva (Lea)

La extracción de las areniscas destapó horizontes infrayacentes, que fueron dejados sin intervenir en muchos sectores, probablemente por la dificultad para su laboreo. Estas laderas se observaban con ocurrencia de deslizamientos y flujos de tierra en el Sitio 5 (Fotografía 3.6). Los gradientes de pendiente se encuentran en general en el rango entre 20 y 30°, aunque algunos sectores alcanzan pendientes de 40° (generalmente coincidente con los afloramientos de areniscas).

3.5.1.3 Escarpes mecanizados

Son los escarpes producidos por la actividad extractiva o por el retroceso de ellos mediante procesos de remoción en masa. Sus pendientes son sub-verticales, con segmentos en voladizo (Fotografía 3.6). Están sujetos a la caída de bloques, dado su fracturamiento y la disminución de sus características de resistencia por los esfuerzos a los que fueron sometidos durante su laboreo como yacimiento minero. Sus pendientes varían entre 60 y 90°, con algunos taludes o porciones de talud en voladizo.

3.5.1.4 Explanaciones antrópicas

Formas suaves producidas por las actividades extractivas y posteriormente por adecuaciones para vías o viviendas. Suelen ubicarse adyacentes a los taludes de la antigua explotación minera sobre suelos residuales arenosos. En general, estas formas han sido urbanizadas.



Fotografía 3.6. Laderas intervenidas por actividades extractivas y taludes mecanizados producidos por la intervención antrópica, relacionada con la extracción de materiales de construcción .

3.5.2 Morfodinámica

3.5.2.1 Meteorización

La meteorización es el conjunto de procesos externos (físico-químicos) que causan la alteración y desintegración de los componentes de las rocas y los suelos.

Para el área estudiada, el factor principal de meteorización es de tipo hídrico, en la que el lavado de ciertos minerales, y la concentración de otros, lleva al cambio de los suelos originales en suelos tipo residual.

Los procesos de meteorización se muestran en estadios avanzados en los remanentes de escarpes naturales no intervenidos, donde se observan suelos residuales arenosos de colores rojizos. Estos colores, concordantes con altos contenidos de óxidos e hidróxidos de hierro se relacionan con ambientes tropicales húmedos, no con los ambientes secos semidesérticos como el que actualmente se encuentra en la zona de estudio. Todo lo anterior permite inferir que el área tuvo una larga estabilidad en el tiempo, pero que dicha situación fue modificada por la intervención antrópica (extracción de materiales).

3.5.2.2 Erosión hídrica concentrada

Se definen como el grupo de eventos por medio de los cuales el material rocoso o los suelos son desprendidos o disueltos y transportados por el agua a lo largo de un eje lineal. Esto incluye, en el caso de los suelos, el movimiento de partículas arrancadas por el impacto de las gotas de lluvia que son transportadas en un flujo superficial.

Para la zona de estudio se encuentran surcos poco desarrollados sobre las caras desnudas de los escarpes naturales en los que afloran suelos residuales arenosos y areniscas intensamente fracturadas.

3.5.2.3 Procesos de remoción en masa

En la zona de estudio confluyen varias características importantes, tanto desde el punto de vista litológico como estructural. Son ellas:

- ? Presencia de paquetes de areniscas y lodolitas, de diferentes espesores y estados de alteración, en buzamientos altos, orientados hacia la ladera, lo que origina la posibilidad cinemática de deslizamientos a través de los planos de estratificación.
- ? Presencia de amplias zonas de brechamiento que afectaron los materiales más competentes (las areniscas), de una manera desigual, convirtiendo las características estructurales del macizo rocoso en meros relictos, sin persistencia, que hacen que la zona de brecha posea un comportamiento más similar al de un medio particulado como es el de los suelos granulares, tanto desde el punto de vista geomecánico como hidromecánico.
- ? Alta susceptibilidad al reblandecimiento o pérdida de resistencia por humedecimiento, en las capas de lodolita, así como una frontera “impermeable” al agua. Esto último ocasiona la saturación de los materiales sobreyacentes de la columna litoestratigráfica -en el caso de la brecha- o aumento de las presiones de empuje que se pueden presentar en las discontinuidades de las areniscas, así como en el contacto de los materiales con una superficie propicia al deslizamiento.

Las anteriores características, conjugadas con factores como:

- ? Incremento de la escorrentía superficial en el talud en la temporada de lluvias, por efecto de la deficiencia de la altura del sardinel, lo que ocasiona que las aguas que discurren por la vía, la sobrepasen y alcancen el desborde sobre el talud en estudio.
- ? Mal estado de las estructuras de drenaje de la vía y redes de conducción de aguas lluvias y aguas negras, las cuales se encuentran colmatadas por escombros y basura, impidiendo el correcto drenaje y generando un gran aporte de agua a la zona afectada.
- ? Vertimiento de aguas domésticas por viviendas de invasión que se localizan en la corona del talud.
- ? Mal estado de la vía de acceso al barrio los Alpes, lo que genera vibraciones en el terreno producto del paso de vehículos pesados de transporte público sobre las losas fracturadas.
- ? Generación de un corte casi vertical en el talud, con el fin de ampliar y adaptar un sendero peatonal para el paso de volquetas y maquinaria durante la construcción de las obras de mitigación para el talud del costado norte del parque El Volador. Este corte en el talud dejó expuesto en la parte inferior el estrato de lodolita que subyace a la arenisca friable, facilitando el inicio del proceso de remoción en masa.

- ? Deficiencia o ausencia en la construcción de las obras de mitigación de riesgo recomendadas en estudios previos.

Proporcionan los elementos suficientes para el desarrollo del fenómeno de remoción en masa ocurrido en el mes de junio. La secuencia conceptual de la ocurrencia del proceso de remoción en masa se resume a continuación:

- ? Ocurrencia de una fuerte temporada de lluvias entre marzo y mayo de 2006, con periodo de retorno alto.
- ? El agua proveniente principalmente de la escorrentía de la vía y el terreno, así como de conexiones no autorizadas de redes de acueducto y alcantarillado de las viviendas en la parte alta del talud, se infiltra a través de las diaclasas o discontinuidades de la arenisca superior que se encuentra bastante fracturada o a través de las zonas de brecha de falla presentes en el talud, las cuales son bastante permeables.
- ? Perdida de la cabeza de succión -y en consecuencia de la cohesión aparente- en los materiales brechados, lo que origina que solo intervenga la fricción de los mismos. Al perder dicho aporte de resistencia, el talud de corte de la vía de acceso de construcción se vuelve inestable. El movimiento de los materiales del talud de la vía inestabiliza aquellos que se encuentran en la parte posterior de la misma, y como consecuencia de ello, el fenómeno de remoción se propaga de manera ascendente, desplazando los materiales brechados, en un movimiento de carácter traslacional como flujo de detritos.
- ? Los aportes del agua de infiltración alcanzan los estratos de lodolita que subyacen la arenisca (zona de debilidad), para luego generar una reducción en la resistencia por humedecimiento de los estratos lodosos y causar la posterior falla. Las fallas son de tipo traslacional y se desarrollan a lo largo de un plano de estratificación entre la arenisca y la lodolita.
- ? Como consecuencia de todo lo anterior, las areniscas de la parte superior de la columna litoestratigráfica pierden soporte y se inestabilizan los bloques susceptibles – muy definidos por las discontinuidades-, originando la caída de los mismos hacia la superficie del movimiento anterior.
- ? En los desprendimientos se produce una disgregación de masa litológica ya sea de suelo o roca fracturada y existe un descenso súbito con fragmentación del material a lo largo de una ladera de fuerte pendiente.
- ? En los desplomes hay una disgregación de una masa litológica generalmente rocosa y de volumen considerable y forma en la base o pie un depósito caótico de material grueso.

En el caso de la zona de estudio en el proceso intervienen areniscas dispuestas en bancos con desprendimiento y caída de material en fragmentos mayores de 30 cm. En cuanto a volumen, el fragmento más grande observado tiene aproximadamente 1m³; es importante anotar que la masa del fragmento se relaciona directamente con la energía

cinética que alcance el bloque en su caída y por lo tanto en el potencial de daño que pueda causar.

3.6 Antecedentes históricos de procesos denudacionales.

En el estudio de IGR 2005, se efectuó un análisis multi-temporal de fotografías aéreas en la zona de estudio, cuyos aspectos más relevantes se describen a continuación.

3.6.1 Año 1956 (C-773, Foto 057)

Se observa carcavamiento en la parte baja de la zona de estudio, pero no existen evidencias de movimientos en masa en esta imagen. La cobertura del suelo es de pasturas y para esta época aún no se da la intervención por industrias extractivas. Es importante anotar que ya existe el acceso principal de la zona.

3.6.2 Año 1963 (R-590, Foto 022)

Esta fotografía (ver Figura 3.8 y Figura 3.9) fue analizada para determinar lineamientos fotogeológicos regionales que puedan ayudar a dilucidar los resultados obtenidos de la medición de diaclasas.

En cuanto a la situación morfodinámica de la zona de estudio, aun no se encuentra intervenida por la actividad extractiva y su situación es similar a la descrita para la fotografía aérea de 1956, aunque con el avance de los carretables ladera arriba.

3.6.3 Año 1973 (C-1439, Foto 092)

Evidencias de un deslizamiento planar de macizo rocoso, no controlado, provocado por la pérdida de soporte basal debido a la actividad extractiva (cantera El Volador). Se observa la evolución del carcavamiento en la parte baja de la zona de estudio.

3.6.4 Año 1976 (C-1679)

El área afectada por la extracción de materiales de construcción ha aumentado, especialmente en la zona de estudio. Aún no se aprecia la urbanización de la zona.

3.6.5 Año 1987 (C-2323)

La zona ubicada abajo del acceso principal se encuentra urbanizada, con lo que se ha cubierto el área previamente afectada por carcavamiento. La actividad extractiva ha avanzado en el talud que buza hacia la quebrada Limas, al occidente de la zona de estudio.

3.6.6 Año 1998 (SAV-415, Faja 4, Foto 086)

La zona de estudio fue totalmente intervenida por actividades extractivas. Al occidente se encontraba la cantera El Volador, la cual mostró grandes deslizamientos planares de macizo rocoso inducidos por la actividad extractiva. La zona de estudio presenta una intervención de menor área. Por otra parte, ya se encuentra urbanizada la zona baja. (Figura 3.10).

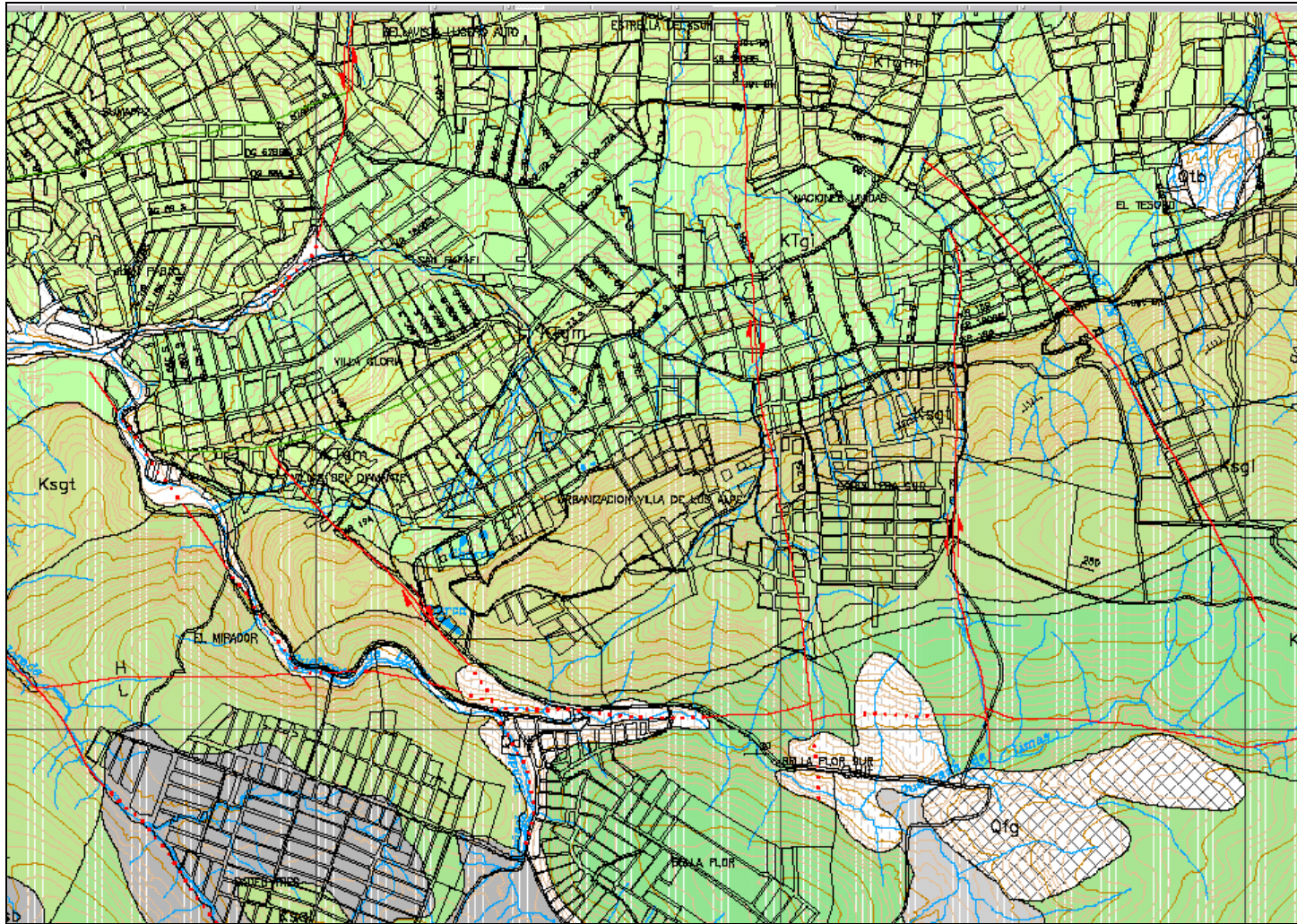


Figura 3.1 Marco geológico regional (Tomado de Ingeocim , 1999)

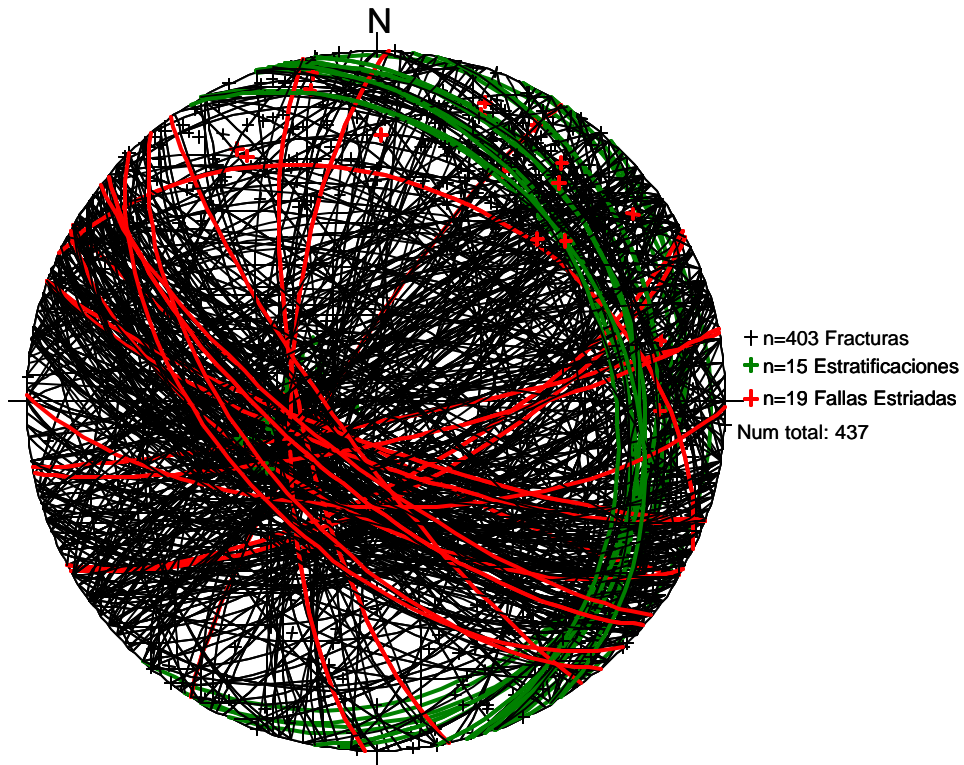


Figura 3.2 Estereógrafa de diaclasas

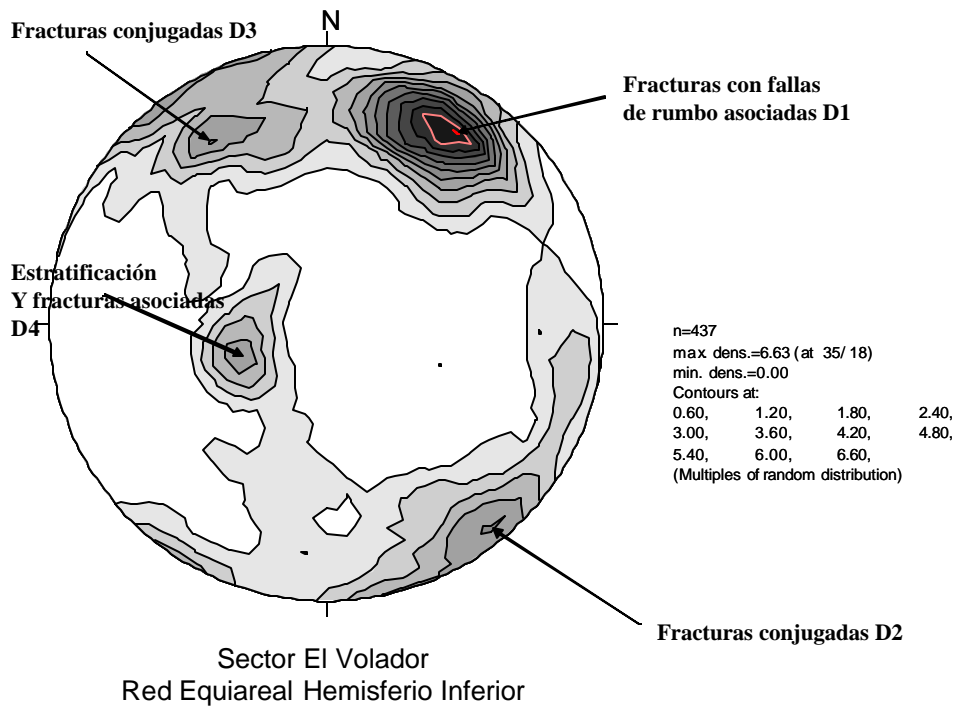


Figura 3.3 Polos para la totalidad de las diaclasas medidas

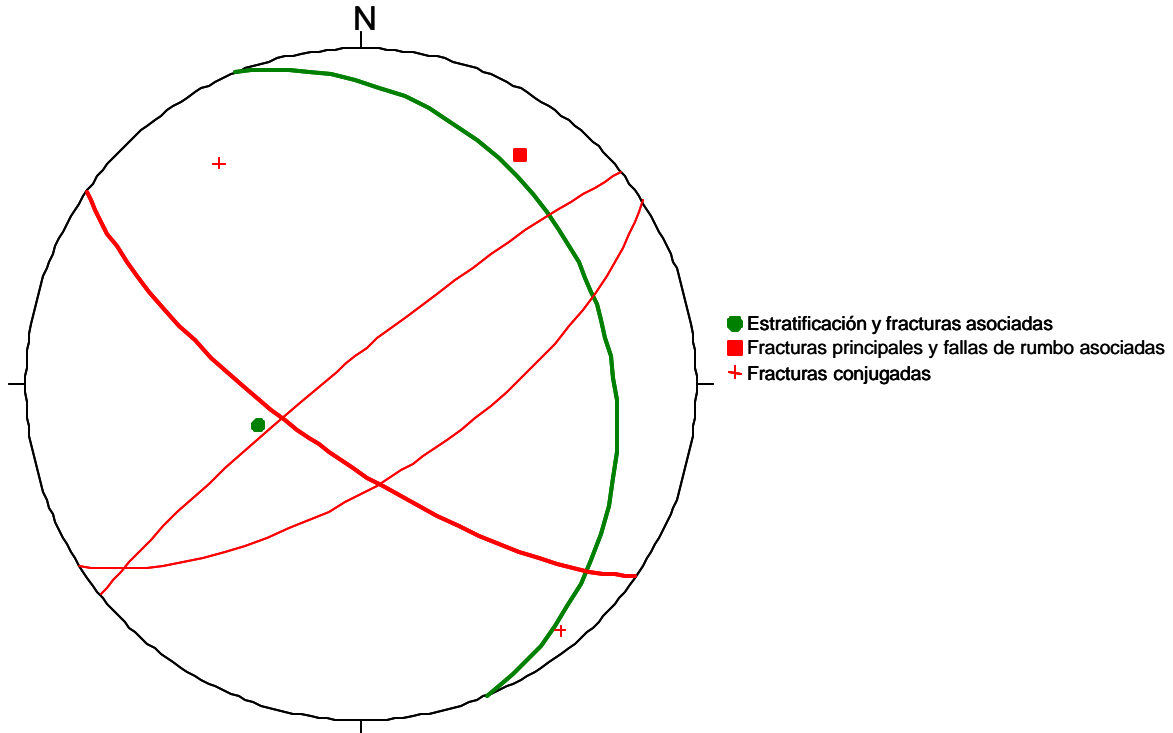
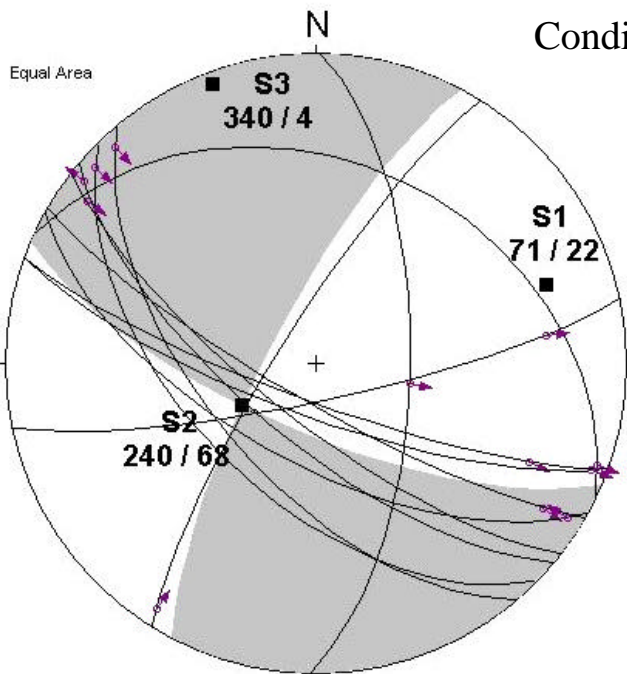


Figura 3.4 Discontinuidades promedias a partir de la totalidad de las diaclasas



Condición cinemática de esfuerzos

Plano nodal 1 = 203 / 72

Plano nodal 1 = 298 / 77

Figura 3.5 Condición cinemática de esfuerzos para la zona de estudio

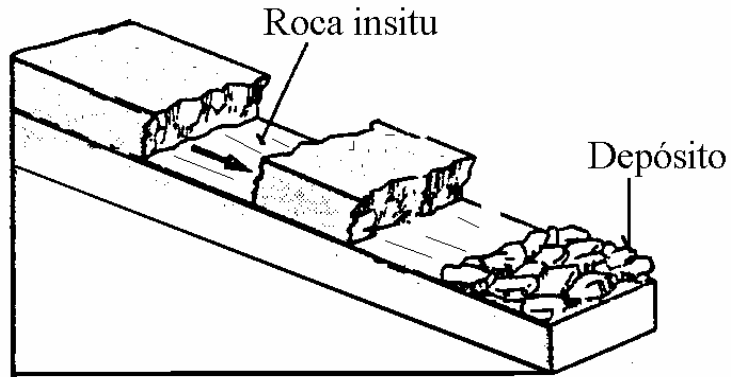


Figura 3.6 Ejemplo de deslizamiento traslacional de rocas (Varnes, 1978).

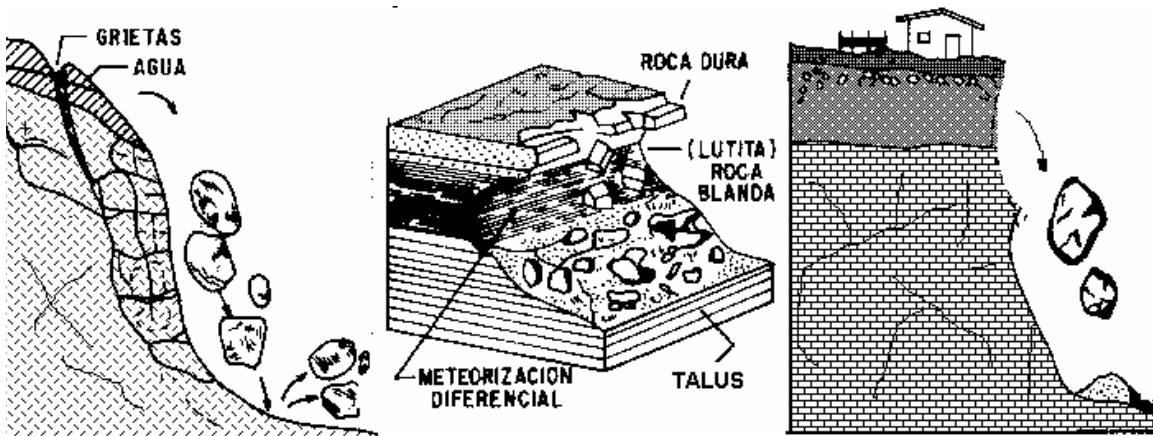


Figura 3.7 Ejemplos de caídas de rocas (Modificado de García, M. 1988)

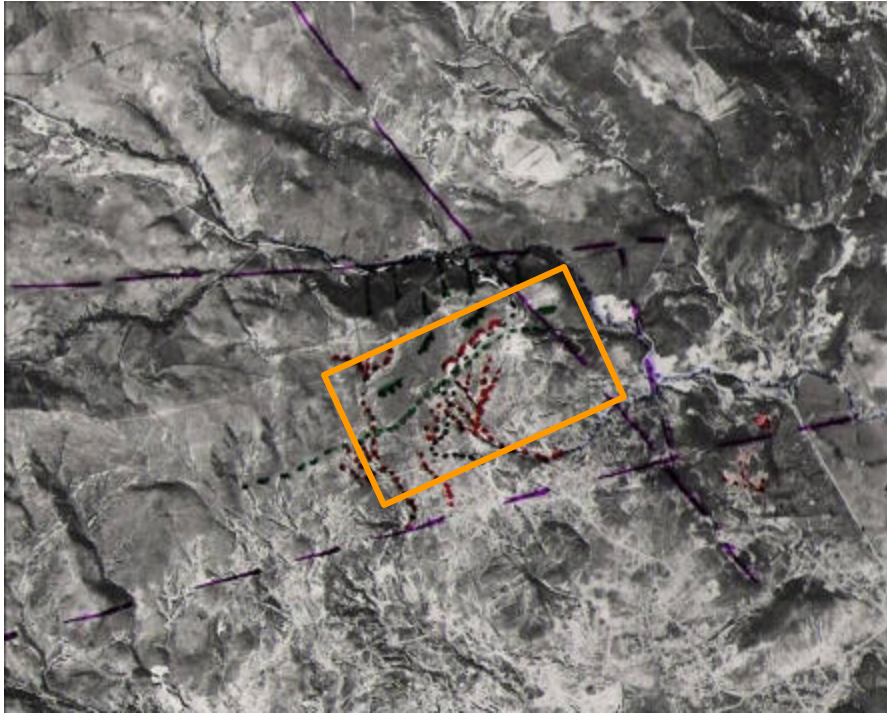


Figura 3.8 Fotografía aérea de 1963 - Nótese los lineamientos fotogeológicos. La zona de estudio se encuentra dentro del recuadro.

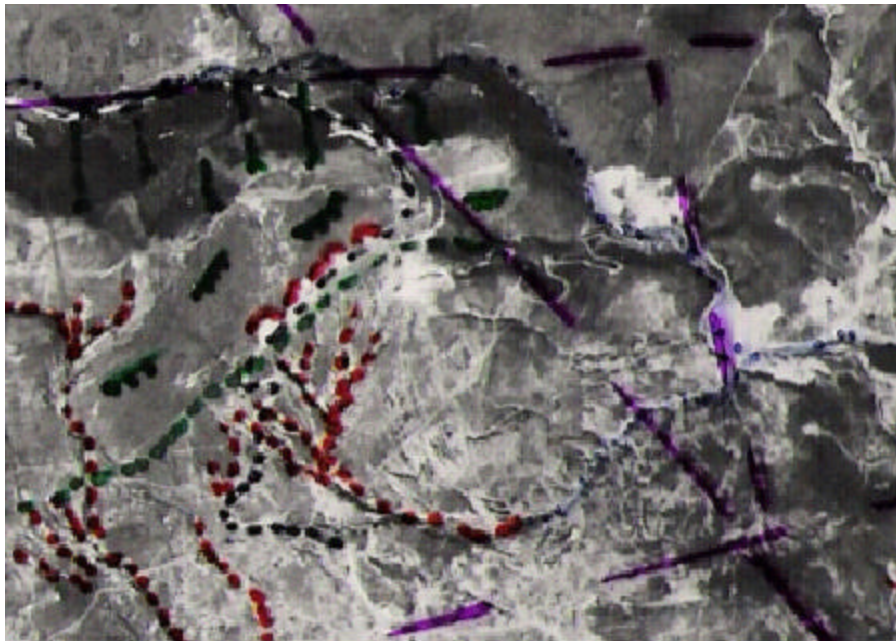


Figura 3.9 Detalles de la fotografía aérea de 1963 - En rojo las canteras incipientes con extracción de la zona basal de areniscas, con cortes aproximadamente paralelos al rumbo, lo cual posibilita cinemáticamente los deslizamientos planares. De igual manera, se muestran en rojo las cárcavas de la zona arcillosa ubicada en la parte baja.

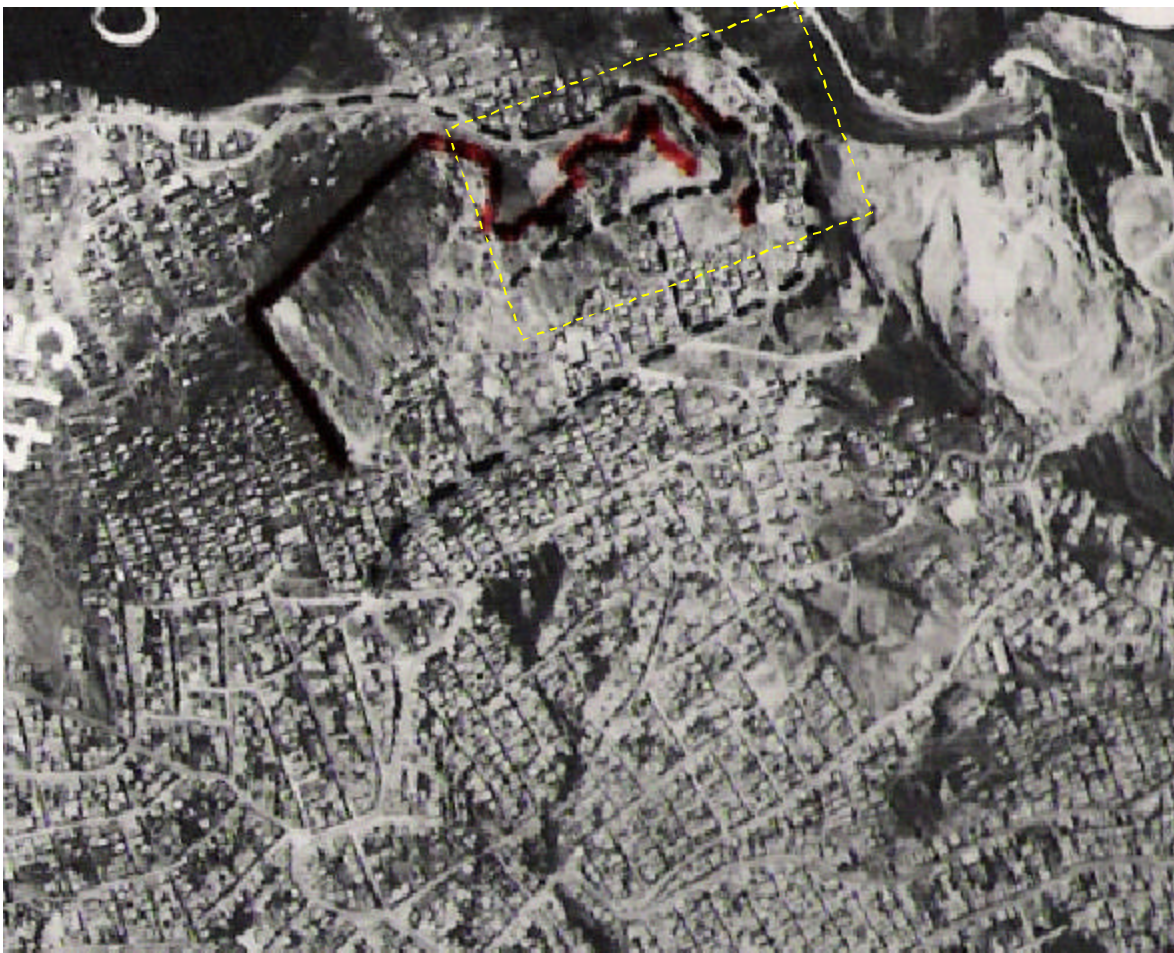


Figura 3.10 Fotografía de 1998 - Nótese la intervención urbanística y los problemas de inestabilidad en los taludes de estudio, dejados por los procesos de extracción de materiales de construcción.

Tabla 3.1 Datos estructurales levantados en campo - Talud 1

Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento
150	65	170	50	200	75
10	60	210	85	114	40
10	66	190	76	126	50
216	85	290	85	188	70
210	80	348	62	190	72
318	85	180	80	122	35
215	70	198	65	10	34
344	89	6	75	198	75
212	85	10	68	276	76
354	86	192	52	192	80
268	80	310	74	148	22
30	88	7	69	102	42
170	89	2	70	140	88
170	70	94	66	210	71
10	60	354	90	314	30
42	50	304	81	201	80
212	78	174	59	200	72
8	52	325	80	288	77
354	85	60	27	60	50
163	70	308	63	170	75
155	76	278	64	210	80
38	50	206	61	150	65
10	56	60	78	345	38
140	70	350	90	162	50
20	83	192	67	167	56
70	20	200	60	23	52
70	5	204	74	40	54
96	20	70	40	163	50
70	30	344	51	300	72
132	20	136	61	298	75
123	15	36	90	25	61
120	20	90	25	164	51
115	15	20	90	20	60
10	75	220	85	160	56
15	80	145	66	266	71
3	90	90	27	0	50
0	90	270	63	210	70
284	88	203	80	16	40
0	45	278	79	215	80
286	77	208	79	158	35
4	48	160	50	210	69
196	76	140	62	205	62
260	79	302	80	42	75
164	84	110	65	135	78
40	90	120	48	134	90
330	62	215	70	60	22
280	81	178	65	56	30
345	76	74	36	30	70
112	60	315	90	206	64
210	85	192	80		
Acimut buzamiento plano	Inclinación buzamiento plano	Acimut buzamiento estría	Inclinación buzamiento estría	Sentido	
302	80	190	6	<i>Dextral</i>	
210	80	128	14	<i>Sinestral</i>	

Tabla 3.2 Datos estructurales levantados en campo - Talud 2

Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento
142	88	60	60	42	75
217	65	325	70	232	65
214	70	204	71	76	62
126	75	8	25	78	58
318	72	170	63	194	70
144	65	310	85	132	35
288	28	204	70	192	75
212	55	211	67	116	75
215	76	42	25	204	80
160	60	116	75	206	72
130	76	297	88	198	55
166	60	138	88	190	65
83	84	160	62	322	55
217	67	28	80	106	80
241	76	320	80	200	65
165	70	282	85	260	70
146	70	215	78	125	55
210	65	138	82	222	75
220	76	322	80	180	53
342	72	152	65	154	65
158	75	58	83	214	60
146	66	155	85	158	60
217	67	212	62	176	70
287	80	150	45	16	45
218	77	214	75	228	70
208	25	326	80	138	70
222	75	324	75	250	80
220	65	150	56	220	35
155	76	278	80	132	65
182	69	342	65	176	57
240	75	225	75	330	80
32	15	152	85	284	76
233	70	202	82	194	65
145	83	212	72	166	85
241	70	146	72	130	55
158	50	180	80	0	76
328	82	120	85	114	40
146	72	272	80	154	62
205	64	220	72	162	62
202	65	222	55	200	50
220	65	140	70	146	80

Tabla 3.3 Datos estructurales levantados en campo - Talud 3

Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento	Acimut de buzamiento	Inclinación buzamiento
72	30	151	71	22	35
191	63	152	68	169	85
324	65	220	55		

4 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO, PRUEBAS DE CAMPO, ENSAYOS DE LABORATORIO Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

A partir de la información recopilada se establecieron las características de las diferentes litologías presentes en el área de estudio.

Para determinar las características y propiedades mecánicas del subsuelo, en estudios previos se adelantaron una serie de actividades de exploración del subsuelo consistentes en perforaciones mecánicas, trincheras, exploración geofísica y ensayos de laboratorio. En este numeral se describen los resultados de la información recopilada para el presente informe, junto con las actividades de exploración del subsuelo efectuada en julio de 2006, consistente en un apique y dos trincheras.

4.1 Exploración del subsuelo

De acuerdo con las condiciones de la zona de estudio, se realizó una recopilación de información de las actividades de exploración, con el objeto de establecer las principales condiciones del subsuelo en relación con la distribución de los materiales y su comportamiento mecánico. En general, se tomó la información de exploración del subsuelo del estudio efectuado por IGR para el sector.

Por otro lado, para el presente estudio se realizaron dos (2) trincheras y un (1) apique en julio de 2006, con el fin de determinar los materiales involucrados en el proceso de remoción en masa actual.

A continuación se muestra la información básica recopilada de estudios previos, con el fin de obtener la caracterización geotécnica para los análisis posteriores.

4.1.1 Sondeos Mecánicos, Toma de Bloques y Trincheras

Se tomaron como referencia tres (3) sondeos (S-1, S-2 y S-3, IGR-2005) con profundidades de 8, 14 y 8.1m, respectivamente, en cuyo avance se recuperaron muestras de los materiales encontrados, para su identificación y la caracterización detallada en el laboratorio.

Por otra parte, se tomó la información de dos (2) trincheras con longitudes de 16 y 80 m con el objeto de establecer la estratigrafía y permitir la caracterización de las discontinuidades.

Como fuente básica de información se tomaron los resúmenes gráficos de los registros de cada una de las perforaciones y trincheras realizadas en el estudio de IGR 2005, en los cuales se señalan: la estratigrafía, las unidades geológicas a las que pertenecen, los resultados de recobro y RQD, la longitud o profundidad, y las propiedades físicas y mecánicas de las muestras.

En resumen, se encontró la siguiente estratigrafía para las labores de exploración del subsuelo del estudio de IGR, 2005:

? El Sondeo 1, localizado en la parte baja del talud principal, en las vecindades del colegio, se desarrolló a lo largo de la Are1 en toda su longitud.

- ? El sondeo 2, localizado en la parte alta del escarpe y contiguo a la vía de acceso a los Alpes, atraviesa, en su orden, la Lod2 hasta 1.6m; la Are2 hasta 9.0m; la Lod1, hasta 10m, material del cual no se tuvo recobro y la Are1 hasta alcanzar los 14m, longitud total de la perforación.
- ? En el sondeo 3, ejecutado en la explanación de la zona norte, se encontraron rellenos en la parte superficial, la Are2 hasta 6.2; la Lod1, hasta 7m y de allí hasta 8.1m, la Are1.
- ? Las trincheras, por su parte, mostraron los siguientes materiales: La trinchera 1, que se extiende 80m a lo largo del escarpe principal y de occidente a oriente, exhibió 14m de Are3; posteriormente, 28m de Lod2, 12m de Are3 y 26m de Lod2. La trinchera 2, en el extremo norte, mostró 10m de Are2 y 6 de Lod1.

Para el apique efectuado en julio de 2006, se encontró el material arenoso del cuerpo del deslizamiento hasta una profundidad de 2.70m, hecho que evidencia el gran volumen deslizado y las características predominantemente arenosas de la roca en la zona de brecha. La descripción del material encontrado es la siguiente y su localización se indica en la Figura 4.1:

- ? 0.00-2.70m Material deslizado compuesto por bloques y bolos de arenisca embebidos en matriz arenosa de color amarillo carmelita, humedad baja a media y compacidad suelta. Presencia esporádica de pasto, escombros y basura.

En la trinchera realizadas en julio de 2006 –ver localización en la Figura 4.1-, se encontró el contacto entre arenisca y lodolita que se constituyó como la zona de debilidad que ocasionó el proceso de remoción en masa actual. La descripción obtenida a partir de la identificación visual del material es la siguiente:

- ? 0.00-0.30m Cobertura vegetal compuesta por limo arenoso algo orgánico, de color negro, humedad baja y consistencia media. Presencia de raíces.
- ? 0.30-1.50m Arenisca maciza (Are 4) amarilla con tonalidades grises, de grano medio. (ver foto IMG_0120)
- ? 1.50-1.55m Lente de Lodolita de color gris, humedad baja y consistencia dura. El lente no tiene continuidad a lo largo del talud.
- ? 1.55-3.00m Arenisca maciza (Are 4) amarilla con tonalidades grises, de grano medio. La roca se encuentra algo más fracturada que el banco superior.
- ? 3.00-3.05m Lente de Lodolita de color gris clara a blanca, humedad baja y consistencia dura. El lente aparentemente tiene continuidad a lo largo del talud. (ver foto IMG_0119, donde el muchacho señala con la mano derecha).
- ? 3.05-4.60m Arenisca (Are 3) amarilla carmelita con tonalidades grises y rojizas (óxidos), de grano medio. La roca se encuentra con mayor humedad y más meteorizada que la Are 3.

4.1.2 Líneas de Refracción Sísmica

Con el fin de complementar y extrapolar la información geotécnica del subsuelo obtenida por métodos de exploración directos, se tomó para este estudio la información de cuatro (4) líneas de exploración geosísmica de refracción (LR1 a LR4), de longitudes variables entre 57 y 95m.

Las líneas reportaron, en términos generales, velocidades de onda V_p inferiores a 300 m/s para el estrato más superficial ($z < 0.80\text{m}$); alrededor de 800 m/s hasta una profundidad promedio de 15m (roca fracturada) y de ahí en adelante, correspondiente a roca sana, se encuentran velocidades superiores a 1000 m/s, tal y como se muestra en la Tabla 4.1.

4.1.3 Sondeos Eléctricos Verticales

Para evaluar las condiciones del agua del subsuelo y determinar la resistividad de los materiales presentes se tomó la información de tres (3) sondeos eléctricos verticales, cuyos resultados se describen a continuación:

- ? La profundidad explorada en los SEV fue entre 12 y 18m, restricción que fue causada por las barreras físicas en terreno.
- ? La resistividad de la capa 1 ($z < 1.6\text{m}$) reportada para los SEVs 1 y 3 es entre 140 y 500 Ohm correspondiente a los materiales superficiales sueltos, para la capa 2, de roca fracturada, (SEVs 1 y 2) está entre 500 y 900 aprox. y la resistividad de la capa 3 (SEVs 1 y 2) supera los 1000 Ohms que evidencia el hallazgo de la roca sana. En el SEV 3 posiblemente, por la presencia del agua, que le da mayor conductividad y menor resistividad; se identificó una segunda capa con resistividad inferior a 100 Ohms.

Los resultados de los sondeos eléctricos verticales se muestran resumidos en la Tabla 4.2.

4.2 Pruebas de campo

Los resultados de las pruebas de campo basadas en el RQD (Rock Quality Designation) para la exploración realizada en el estudio del año 2005, muestran lo siguiente:

Para el sondeo 1 el recobro varía entre 20 y 50 y el RQD es nulo. Para el sondeo 2, el recobro está entre 10 y 80% pero con RQD nulo, excepto hacia los 12m de profundidad donde alcanza el 63%. Para el sondeo 3, hay un comportamiento del recobro cercano al 50% y RQD de 20% hasta 3m, de ahí en adelante, recobro y RQD tienen valores cercanos a 100%.

4.3 Ensayos de laboratorio

Se recopilaron los resultados de ensayos de laboratorio de estudios previos como peso unitario, peso específico de sólidos, determinación de porcentaje pasa No. 40, límites de consistencia, humedad natural, compresión confinada, carga puntual, tracción brasilera

(sobre material rocoso), bloque deslizante y corte directo, sobre discontinuidades; todo el conjunto, con el fin de obtener una caracterización global del macizo rocoso.

Los resultados de las correlaciones entre carga puntual y resistencia a la compresión inconfinada en roca, así como los valores utilizados de esta variable para la modelación se muestran en la Tabla 4.3.

4.4 Caracterización geomecánica

Para la caracterización geomecánica de los materiales encontrados en el sitio se tomaron como base los trabajos de reconocimiento de campo, junto con varias secciones geológicas de estudios previos. En cada punto de exploración se asignó la unidad geológica respectiva por profundidad y de esa manera se agruparon las propiedades físicas y mecánicas de cada conjunto.

Adicionalmente, se recopiló información de algunos proyectos en los que se hubiesen determinado propiedades mecánicas de materiales similares (arenisca y lodolita). A continuación se presentan los resultados más relevantes de la caracterización.

4.4.1 Materiales

En esta parte, se hace referencia a los pesos unitarios y las resistencias a tracción y compresión de las rocas:

Los pesos unitarios son, en promedio, los siguientes: Are1, 2.3 Ton/m³; Are2, 2.2 Ton/m³; Are4, 2.2 Ton/m³; Lod1, 1.8 Ton/m³; Lod2, 2.11 Ton/m³.

Con respecto a la resistencia a la compresión, σ_c , se tiene que es de 6; 34 y 39 MPa para Are 1, Are2 y Are4, respectivamente (ver Tabla 4.3). La resistencia a la tensión, σ_t , oscila entre 1.5 y 6.7 MPa para Are1 y alcanza 1.7MPa para Are2).

4.4.2 Discontinuidades

4.4.2.1 Caracterización geométrica

Las discontinuidades fueron descritas a partir de la información obtenida de los afloramientos, tomando como base los procedimientos sugeridos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas, ISRM - 1981. Gracias a la gran extensión del afloramiento rocoso se tomaron como referencia los datos estructurales (azimut de buzamiento y buzamiento) y propiedades de las discontinuidades en diez sitios en y alrededor del área de estudio del Sitio 5.

El inventario de los datos obtenidos y las características de las discontinuidades asociadas a ellos permitieron establecer lo siguiente, de acuerdo con la información suministrada por el estudio IGR, 2005:

4.4.2.1.1 Familia E (Estratificación): 68/27

? Unidad geológica: Miembro Arenisca Tierna de la Formación Guadalupe

- ? Tipo de roca: Arenisca cuarzosa bien cementada
- ? Persistencia: Continua (>10m)
- ? Espaciamiento: Bastante próximas (30 cm – 1m) a Separadas (1- 3 m).
- ? Abertura: Ligeramente abierta (<0,5cm) a Abierta (0,5 a 20 cm)
- ? Relleno: No existe
- ? Rugosidad micro: Ondulada suave. En ocasiones rugosa (capas con ichnofósiles)
- ? Rugosidad macro: Ondulada a planar
- ? Agua: Seca
- ? Número de Cecil: 7 (tres familias de discontinuidades y discontinuidades dispersas) y 8 (roca triturada, material parecido al suelo)

4.4.2.1.2 Familia D1 (Diaclasa 1): 215/72

- ? Asociada a fallas de rumbo de carácter sinestral.
- ? Unidad geológica: Miembro Arenisca Tierna de la Formación Guadalupe
- ? Tipo de roca: Arenisca cuarzosa bien cementada
- ? Persistencia: Continuidad media (5 – 10 m) a Continua (>10m)
- ? Espaciamiento: Bastante próximas (30 cm – 1m) a Separadas (1- 3 m).
- ? Abertura: Ligeramente abierta (<0,5cm) a Abierta (0,5 a 20 cm)
- ? Relleno: No existe o en ocasiones roca triturada.
- ? Rugosidad micro: Ondulada suave. En ocasiones estrías de fricción (mejor este término que espejo de falla)
- ? Rugosidad macro: Ondulada a planar
- ? Agua: Seca
- ? Número de Cecil: 7 (tres familias de discontinuidades y discontinuidades dispersas) y 8 (roca triturada, material parecido al suelo)

4.4.2.1.3 Familia D2 (Diaclasa 2): 321/84

- ? Asociada con lineamientos de rumbo N60E
- ? Unidad geológica: Miembro Arenisca Tierna de la Formación Guadalupe
- ? Tipo de roca: Arenisca cuarzosa bien cementada
- ? Persistencia: Continuidad media (5 – 10 m) a Continua (>10m)
- ? Espaciamiento: Bastante próximas (30 cm – 1m) a Separadas (1- 3 m).
- ? Abertura: Ligeramente abierta (<0,5cm) a Abierta (0,5 a 20 cm)
- ? Relleno: No existe o en ocasiones roca triturada.
- ? Rugosidad micro: Ondulada suave. En ocasiones estrías de fricción (mejor este término que espejo de falla)
- ? Rugosidad macro: Ondulada a planar
- ? Agua: Seca
- ? Número de Cecil: 7 (tres familias de discontinuidades y discontinuidades dispersas) y 8 (roca triturada, material parecido al suelo)

4.4.2.1.4 Familia D3 (Diaclasa 3): 147/67

- ? Asociada con lineamientos de rumbo N60E
- ? Unidad geológica: Miembro Arenisca Tierna de la Formación Guadalupe

- ? Tipo de roca: Arenisca cuarzosa bien cementada
- ? Persistencia: Continuidad media (5 – 10 m) a Continua (>10m)
- ? Espaciamiento: Bastante próximas (30 cm – 1m) a Separadas (1- 3 m).
- ? Abertura: Ligeramente abierta (<0,5cm) a Abierta (0,5 a 20 cm)
- ? Relleno: No existe o en ocasiones roca triturada.
- ? Rugosidad micro: Ondulada suave. En ocasiones estrías de fricción (mejor este término que espejo de falla)
- ? Rugosidad macro: Ondulada a planar
- ? Agua: Seca
- ? Número de Cecil: 7 (tres familias de discontinuidades y discontinuidades dispersas) y 8 (roca triturada, material parecido al suelo).

Como puede verse, las diaclasas 2 y 3 son la misma familia que, por ser cercanas a la vertical, son tomadas como dos sistemas: las D2 buzando al noreste y las D3 buzando al suroeste.

Para la determinación de la resistencia al deslizamiento entre discontinuidades, se tomó como referencia la información de pruebas de corte directo en condición saturada y seca y de bloque deslizante en condición seca, para los materiales rocosos presentes en el área de estudio

4.4.2.2 Caracterización geomecánica

De la descripción anterior, se puede inferir que las características geométricas de las discontinuidades guardan similitud y de manera conservadora, para los análisis, se consideran preponderantes las del plano preferencial de movilización correspondiente a la estratificación. Además, dado que la secuencia estratigráfica encierra dos grandes unidades litológicas, areniscas y lodolitas, se intenta una aproximación a dos envolventes de resistencia, según el tipo de material.

La información secundaria fue seleccionada por similitudes litológica y geomorfológica y adoptada de los estudios de: GIA Consultores Ltda (2004), IGR-GIA (2003), Rocas y Minerales (1999), Civiles (2002) y MGL (2002). Ésta correspondió a los ensayos de corte y bloque deslizante en las areniscas y arcillolitas de la formación Labor y Tierna.

4.4.3 Macizo rocoso

Una vez caracterizados material rocoso y discontinuidades, se procedió a la clasificación y posterior caracterización del macizo. Para la clasificación se utilizó el método del RMR (Bieniawski, 1976) para los límites inferior y superior de propiedades, de donde se concluye que el macizo es entre pobre y regular según esta clasificación y el RMR oscila entre 36 y 42. Los mismos límites según la clasificación visual del GSI se encuentran, de manera consistente, entre 30 y 40.

Así, resulta más lógico asumir que la respuesta del macizo está gobernada por las discontinuidades y adoptar sus parámetros de resistencia.

4.5 Análisis cinemático

Se tomó el análisis efectuado en el estudio de IGR, 2005, para determinar los modos probables de falla (planar, volteo y en cuña) para el conjunto de taludes en los que se expresa el macizo rocoso, contrastándolos con los posibles planos de movilización detectados en el levantamiento estructural.

En los análisis tomados del estudio del año 2005, se evidencia que bajo las condiciones geométricas mencionadas para los taludes y con las disposiciones de las diaclasas, los mecanismos de falla predominantes son planares y su geometría coincide con la estratificación. Por otro lado, se manifiesta la posibilidad de falla por volteo para unos pocos taludes.

Tabla 4.1 Velocidades y espesores de las capas obtenidos en la exploración geofísica

Línea de refracción		Velocidad, v_p [m/s]	Material	Espesor [m]
1	Capa 1	268	Rellenos	1 - 2
	Capa 2	637	Roca meteorizada	2-18
	Capa 3	1290	Arenisca meteorizada	--
2	Capa 1	294	Rellenos	0-2
	Capa 2	700	Roca meteorizada	15
	Capa 3	3253	Arenisca sana	--
3	Capa 1	222	Rellenos	0.8
	Capa 2	877	Roca meteorizada	15
	Capa 3	3111	Arenisca sana	
4	Capa 1	300	Rellenos	0.8
	Capa 2	841	Roca meteorizada	15
	Capa 3	2872	Arenisca sana	

Tabla 4.2 Resultados obtenidos en los Sondeos Eléctricos Verticales

SEV	CAPA 1		CAPA 2		CAPA 3		Prof . del N.F. [m]
	Resistividad [Ohm-m]	Profundidad [m]	Resistividad [Ohm-m]	Profundidad [m]	Resistividad [Ohm-m]	Profundidad [m]	
SEV-01	207.71 (relleno)	0.00-0.75	1000 (arenisca)	0.75 \approx			-
SEV-02	541 (s)	0.00-1.00	600-1000 (arenisca)	1.00 \approx			-
SEV-03	391	0.00-0.81	70 (areniscas y arcillolitas)	0.81-11.92	20 (arcillolitas)	12-50	-

**Tabla 4.3 Obtención de σ_c a partir de los ensayos de carga puntual y compresión
inconfínada**

Sondeo-Muestra	Unidad	Ensayo	Especimen No.	L (cm)	D (cm)	W (cm)	De (cm)	De ² (cm ²)	P (Kgf)	Is (Kgf/cm ²)	F _{corrección}	Is ₀ (Kgf/cm ²)	Is ₅₀ (Kgf/cm ²)	S _u (Kgf/cm ²)
S1-M8	Are1	Carga puntual	1	4.75	2.50	4.00	3.57	12.73	340	26.70	0.86	22.94	15.55	373.25
			2	4.75	3.00	3.90	3.86	14.90	290	19.47	0.89	17.33		
			3	4.75	3.05	4.10	3.99	15.92	360	22.61	0.90	20.43		
			4	4.70	2.50	4.47	3.77	14.23	190	13.35	0.88	11.76		
			5	4.73	2.80	4.51	4.01	16.08	310	19.28	0.91	17.46		
			6	4.74	2.92	3.80	3.76	14.13	190	13.45	0.88	11.83		
			7	4.70	2.88	3.05	3.34	11.18	220	19.67	0.83	16.41		
S3-M5	Are2	Carga puntual	1	4.80	3.70	4.00	4.34	18.84	214	11.36	0.94	10.66	15.71	377.15
			2	4.90	4.00	4.70	4.89	23.94	300	12.53	0.99	12.41		
			3	4.80	4.50	4.00	4.79	22.92	330	14.40	0.98	14.12		
			4	4.82	3.85	4.10	4.48	20.10	294	14.63	0.95	13.93		
			5	4.80	4.42	4.70	5.14	26.45	760	28.73	1.01	29.10		
			6	4.75	3.66	4.08	4.36	19.01	422	22.20	0.94	20.87		
			7	4.80	3.30	4.53	4.36	19.03	349	18.34	0.94	17.24		
S3-M8	Are1	Carga puntual	1	6.10	4.75	4.80	5.39	29.03	590	20.32	1.03	21.02	23.16	555.83
			2	6.50	4.80	4.10	5.01	25.06	380	15.17	1.00	15.17		
			3	6.68	4.80	4.97	5.51	30.37	470	15.47	1.04	16.17		
			4	6.10	4.80	4.80	5.42	29.34	870	29.66	1.04	30.74		
			5	5.71	4.80	4.84	5.44	29.58	520	17.58	1.04	18.26		
			6	4.75	4.30	4.75	5.10	26.01	670	25.76	1.01	25.99		
			7	4.85	3.70	4.80	4.76	22.61	700	30.96	0.98	30.26		
			8	4.75	3.50	4.75	4.60	21.17	890	42.05	0.96	40.50		
			9	4.75	3.20	4.70	4.38	19.15	400	20.89	0.94	19.67		
TL-1	Are4	Carga puntual	1	5.00	3.10	4.90	4.40	19.34	210	10.86	0.94	10.25	4.97	119.35
			2	6.30	4.05	5.58	5.36	28.77	165	5.73	1.03	5.92		
			3	6.10	5.05	5.90	6.16	37.94	180	4.74	1.10	5.21		
			4	6.43	4.56	5.35	5.57	31.06	158	5.09	1.05	5.34		
			5	6.70	4.84	5.90	6.03	36.36	150	4.13	1.09	4.49		
			6	5.04	3.89	4.93	4.94	24.42	124	5.08	0.99	5.05		
			7	5.80	4.20	5.20	5.27	27.81	83	2.98	1.02	3.06		
			8	7.00	4.75	5.30	5.66	32.05	116	3.62	1.06	3.83		
TL-6	Are4	Carga puntual	1	7.50	5.40	7.01	6.94	48.20	53	1.10	1.16	1.27	1.40	33.70
			2	4.85	4.22	4.51	4.92	24.23	31	1.28	0.99	1.27		
			3	6.30	5.80	6.00	6.66	44.31	54	1.22	1.14	1.39		
			4	5.64	4.80	5.00	5.53	30.56	29	0.95	1.05	0.99		
			5	5.00	4.37	5.60	5.58	31.16	28	0.90	1.05	0.94		
			6	4.80	3.50	4.70	4.58	20.94	26	1.24	0.96	1.19		
			7	5.25	3.50	4.93	4.69	21.97	63	2.87	0.97	2.79		
			8	4.89	3.40	4.07	4.20	17.62	44	2.50	0.92	2.31		
S2-M11	Are1	Compresión inconfínada	1											401
S3-M6	Are2	Compresión inconfínada	1											302

Unidad	S _u (Kgf/cm ²)	S _u (MPa)
Are1	60	6
Are2	335	34
Are4	385	39

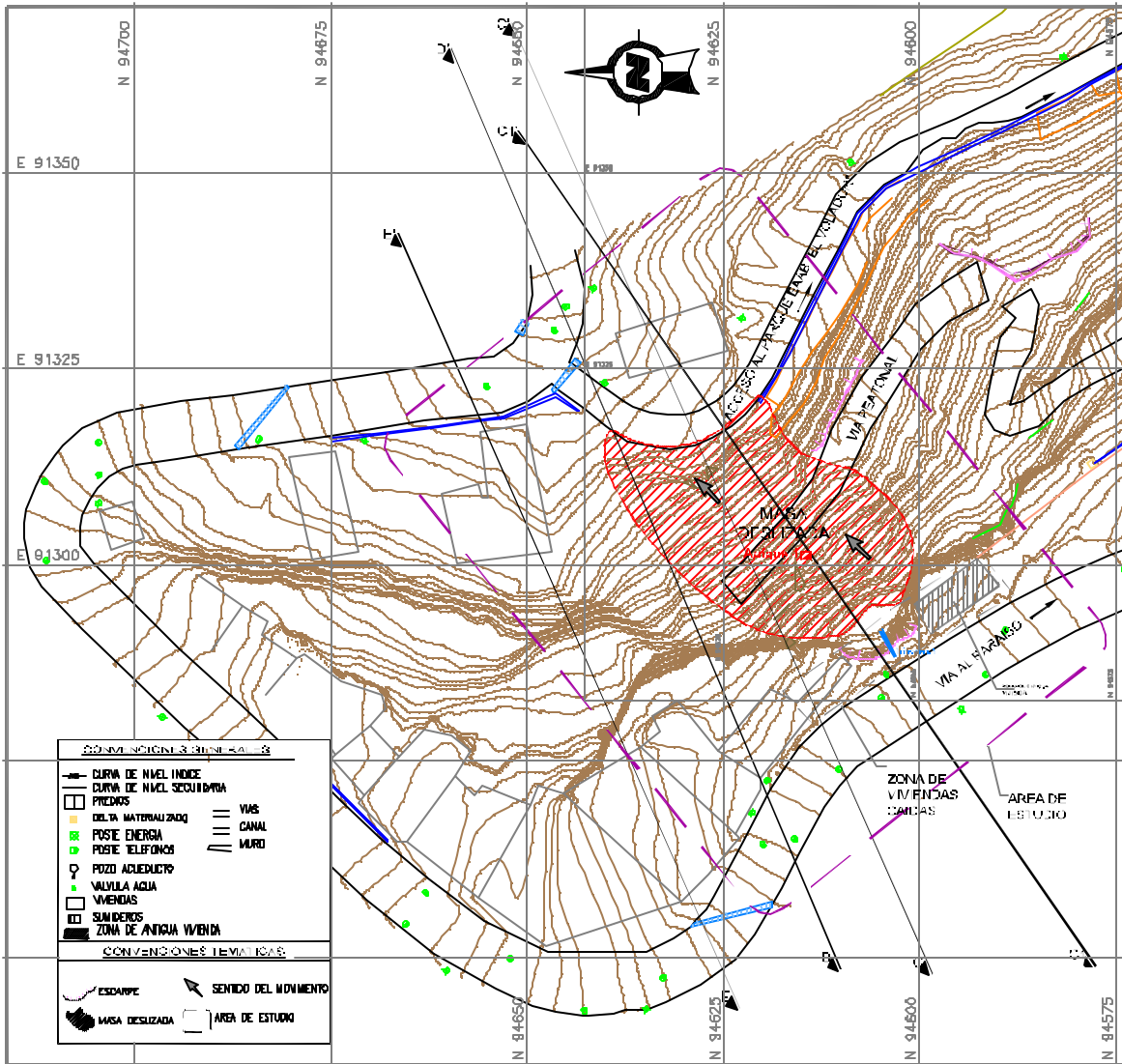


Figura 4.1 Localización de exploración del subsuelo IGR - 2006

5 OBRAS DE EMERGENCIA PROPUESTAS

Teniendo en cuenta la alta variabilidad espacial de los materiales que conforman el subsuelo de los taludes, así como sus características de deformabilidad y permeabilidad, el diseño de las obras siguió como directrices los siguientes aspectos:

- ? Distribución adecuada de las obras a lo largo de la ladera, proporcionando soporte a la parte alta con el fin de prevenir el desarrollo de desplazamientos que puedan afectar la estabilidad de la vía de acceso al barrio Los Alpes.
- ? Prevención de fenómenos de infiltración hacia las capas de lodolita, evitando que puedan actuar como superficies preferenciales de deslizamiento, por reblandecimiento de la zona de contacto.

De esta forma las obras previstas para el manejo de la zona del fenómeno de remoción en masa son las siguientes:

5.1 Remoción manual de bloques susceptibles de deslizarse

Se deben remover todos aquellos bloques de la unidad identificada como Kgst-Are4, los cuales estén a punto de caer. Así mismo, se debe hacer un perfilado del escarpe rocoso con el fin de facilitar la construcción de las obras propuestas.

5.2 Sellado de grietas con lechada de agua-cemento

Luego de la remoción de bloques, se debe realizar un sellado de grietas del macizo rocoso de arenisca, mediante la aplicación de una lechada de agua-cemento, en los sectores en donde sea necesario.

5.3 Anclajes activos

En la parte alta de la ladera, constituida por bloques de arenisca de la unidad Kgst Are4, se deben instalar anclajes a manera de soporte activo. El sistema estará constituido por tres (3) filas de anclaje, con espaciamiento horizontal y vertical indicado en el plano de obras. Para lograr un adecuado factor de seguridad, la carga de tensionamiento de cada anclaje será de 21 toneladas y su longitud total variará entre 27 y 31m, con longitudes de bulbo entre 11 y 13.5m. La gran extensión de estos anclajes se debe a la necesidad de cruzar totalmente la unidad de lodolita, para llegar a una de arenisca. El diámetro de perforación de los anclajes será de 0.10m y estarán conformados por torones de 1”.

5.4 Pantalla en concreto lanzado

Para evitar el punzonamiento del material rocoso de los bloques una vez instalados los anclajes, es necesaria la construcción de una pantalla en concreto lanzado, de espesor 0.10m, reforzada con malla electrosoldada. La pantalla estará soportada en su base por una viga cuadrada en concreto reforzado, con 0.40m de lado.

6 ANÁLISIS GEOTÉCNICO

6.1 Características generales

Una vez identificado el problema y con el objeto de proponer y revisar la viabilidad geotécnica de las obras de mitigación, se llevó a cabo una simulación numérica con el software PLAXIS V8.4

Para ello, se utilizó la información topográfica y de caracterización geomecánica de materiales de estudios previos, que aunada a la nueva interpretación geológica del subsuelo elaborada en este estudio, permitió la implementación de un modelo de elementos finitos.

Las características geométricas de la malla empleada son las siguientes:

- ? Número de elementos: 532
- ? Numero de nodos: 5125
- ? Número de puntos de integración de esfuerzos: 6384.

La malla representa una longitud de 90.0m, y una altura de 40.0m, en la sección de análisis C1-C1 que se muestra en planos. Con relación a las condiciones de borde se establecieron condiciones de desplazamiento nulo, en el límite inferior, y de desplazamiento horizontal nulo en las fronteras laterales. Una vista de la malla de elementos finitos se muestra en la Figura 6.1.

Además de las características geométricas mencionadas, en la malla de elementos finitos se incorporaron elementos interfase, con el objeto de simular reducciones de resistencia en la interfaz entre materiales, y particularmente en los contactos entre areniscas y lodolitas.

Las características geomecánicas asignadas a cada material partieron de los ensayos de corte directo efectuados en el “Estudio de riesgos por remoción en masa, evaluación de alternativas para la mitigación y diseño detallados de las obras recomendadas para estabilizar los escarpes y laderas ubicadas en el barrio Brisas del Volador y el extremo noroccidental del barrio La Esmeralda Sur de la localidad Ciudad Bolívar en Bogotá”, elaborado por IGR en mayo de 2005, pero se diferencian de aquellos, en la metodología necesaria para ajustar los parámetros de resistencia y deformación al modelo de endurecimiento por deformación implementado en el software Plaxis.

Adicional a lo anterior, se hizo necesario para simular modos de grandes deformaciones, el utilizar modelos de tipo lineal elástico, con módulos secantes de deformación ajustados al nivel de deformación esperado.

De esta manera, los parámetros geomecánicos implementados para el modelo numérico de análisis fueron los siguientes:

? Modo prefalla:

ID	Name	g_unsat [kN/m ³]	g_sat [kN/m ³]	k_x [m/s]	k_y [m/s]	E50ref [kN/m ²]	Coedref [kN/m ²]	Euref [kN/m ²]	c_ref [kN/m ²]	phi [°]	p_ref [kN/m ²]	Power [-]	R_f [-]	R_inter [-]
2	Kgst_Are3	22	23	1.00E-06	1.00E-06	1200	1200	3600	0.1	18	25	0.55	0.85	0.5
3	Kgst_Lod	21	21.2	1.00E-07	1.00E-07	450	638.45823	1350	0.1	9	50	0.85	0.85	0.5

ID	Name	g_unsat [kN/m ³]	g_sat [kN/m ³]	k_x [m/s]	k_y [m/s]	v [-]	E_ref [kN/m ²]	c_ref [kN/m ²]	phi [°]	R_inter [-]
4	Brecha	19	20	1.00E-06	1.00E-06	0.45	10000	10	26	0.5

? Modo postfalla:

ID	Name	g_unsat [kN/m ³]	g_sat [kN/m ³]	k_x [m/s]	k_y [m/s]	v [-]	E_ref [kN/m ²]	R_inter [-]
5	Brecha_elas	19	20	1.00E-06	1.00E-06	0.45	1800	0.5
7	Kgst_Lod_ela	21	21.2	1.00E-07	1.00E-07	0.2	1350	0.5
8	Kgst_Are3_el	22	23	1.00E-06	1.00E-06	0.2	3600	0.67

Con relación a las características de los anclajes se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- ? Diámetro del anclaje: 0.15m
- ? Número de anclajes por fila: 4
- ? Módulo de deformación del grout: 2e7kPa
- ? Separación horizontal entre anclajes: 2.5m
- ? Número de cables por anclaje: 4
- ? Diámetro de los cables: ½"
- ? Peso aproximado de cada cable: 6.1N/m
- ? Área efectiva: 76.7mm²
- ? Resistencia a la ruptura: 102kN

Respecto a las características de la pantalla anclada, se asignaron las siguientes propiedades:

- ? Espesor: 0.20m
- ? Módulo de deformación de la pantalla: 2e7kPa

Con relación a las características de los pernos de anclaje, consideró lo siguiente:

- ? Inclinación: 15°
- ? Longitud: 6.0m
- ? Espaciamiento: 1.50m
- ? Diámetro de la perforación: 2"
- ? Diámetro del perno: 1"

Adicionalmente, se implementaron elementos dren en el modelo para simular la presencia de drenes subhorizontales en el talud.

6.2 Resultados

La calibración y ajuste del modelo se efectuó teniendo como guía el modo de deformación del talud existente. También se consideró la excavación realizada para la construcción de la vía de acceso de la maquinaria, que se llevó a cabo durante la etapa de construcción de obras de estabilización localizadas al sur del área del presente estudio.

Solamente, se ajustó el porcentaje de reducción de resistencia en los elementos interfaz del modelo. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 6.2, que muestran desplazamientos totales previos a la falla, del orden de 16cm en la base del talud, en presencia de agua debido a la saturación del talud por infiltración a través de discontinuidades en el caso de las unidades rocosas.

Previo al análisis de medidas correctivas, se hizo necesaria la calibración de deformaciones del modelo -ver Figura 6.2 en que se indican los desplazamientos totales prefalla, y la Figura 6.3 que muestra deformaciones unitarias por corte del orden del 15% en la base del talud de la vía de acceso de construcción-, con el fin de ajustar el modo de falla numérico a las condiciones existentes en el sitio.

Después de la calibración se efectuó la revisión de deformaciones del talud con todas las medidas de contención indicadas en el numeral anterior, para la sección C1-C1, dado que la implementación parcial de medidas arroja resultados desfavorables para la estabilidad. Con relación a este último aspecto, se analizaron situaciones en que no se implementaba la totalidad de las medidas propuestas, por ejemplo: i) alternativa 1 con solo terraceo –ver Figura 6.4 y Figura 6.5, en que las deformaciones pretalla son del orden 16cm y comprometen la estabilidad de la parte superior del talud-, ii) alternativa 2 únicamente construyendo una pantalla anclada –ver Figura 6.6, se presentan deformaciones pretalla en la parte inferior del talud-, y iii) alternativa 3: pantalla anclada, terraceo y desarrollo parcial de las pantallas pernadas –ver Figura 6.7-. Como se aprecia, en la figura, en esta última alternativa, las deformaciones pretalla son similares a las que se presentarían con la alternativa ii. En este caso las medidas de contención tienen un desempeño bajo, pues se consideran parámetros prefalla.

Con el objeto de evaluar el desempeño de las medidas de contención implementadas, en una condición crítica, se cambiaron los parámetros al modo posfalla, en una situación de colapso. No se consideraron las deformaciones totales obtenidas, sino que en su lugar se revisaron las deformaciones unitarias por corte, las cuáles se indican en la Figura 6.8, que en general son inferiores al 2% en la zona de refuerzo. A mayor profundidad si se pueden alcanzar deformaciones unitarias por corte del orden del 10%, pero a esta profundidad ya no se considera que sea viable la implementación de obras de estabilización. Para esta situación la máxima fuerza que deben resistir los anclajes es del orden de 190KN (producto de 76.19KNm y 2.5m de separación, ver Figura 6.9). Con respecto a los cables, la fuerza que deberán soportar se estima en 54KN. En relación con los pernos, la máxima fuerza que deben soportar es de 216KN (producto de 144KN/m y 1.5m de separación, ver Figura 6.10), en la fila de pernos de la cota 2853.5msnm. Teniendo en cuenta esto, se modifica la separación de los pernos de anclaje comprendida entre las cotas 2854msnm a 2850msnm a 1.0m. En la pantalla pernada inferior, la fuerza máxima se encuentra cerca de 401KN en la base de la pantalla (ver Figura 6.11), por lo cual se incrementa el número de pernos verticalmente y horizontalmente, a una separación de 1.50m, con distribución a 3 bolillo.

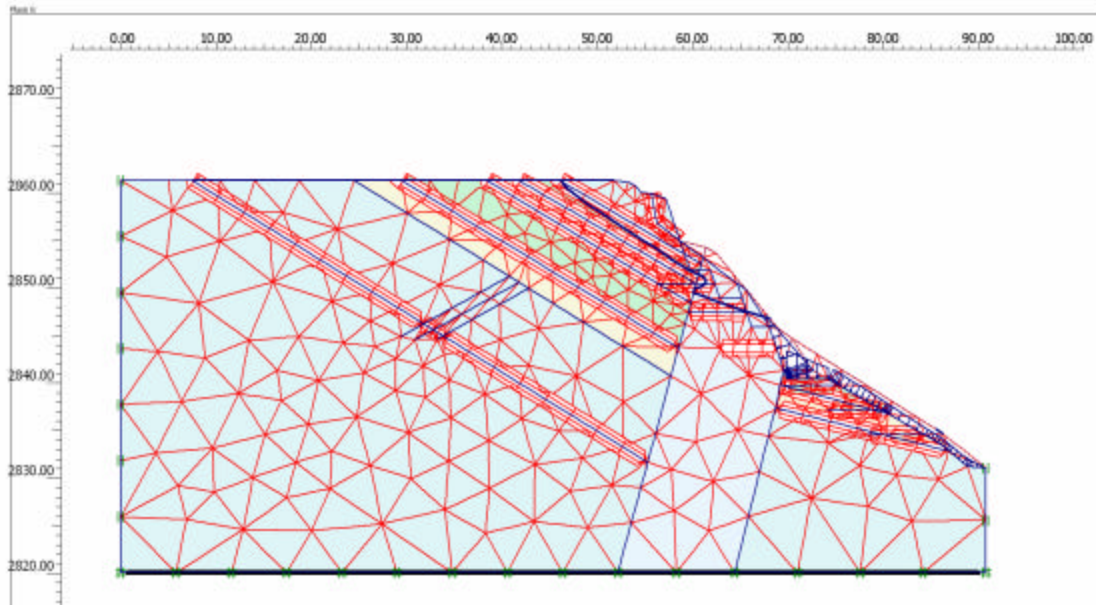


Figura 6.1 Malla de elementos finitos

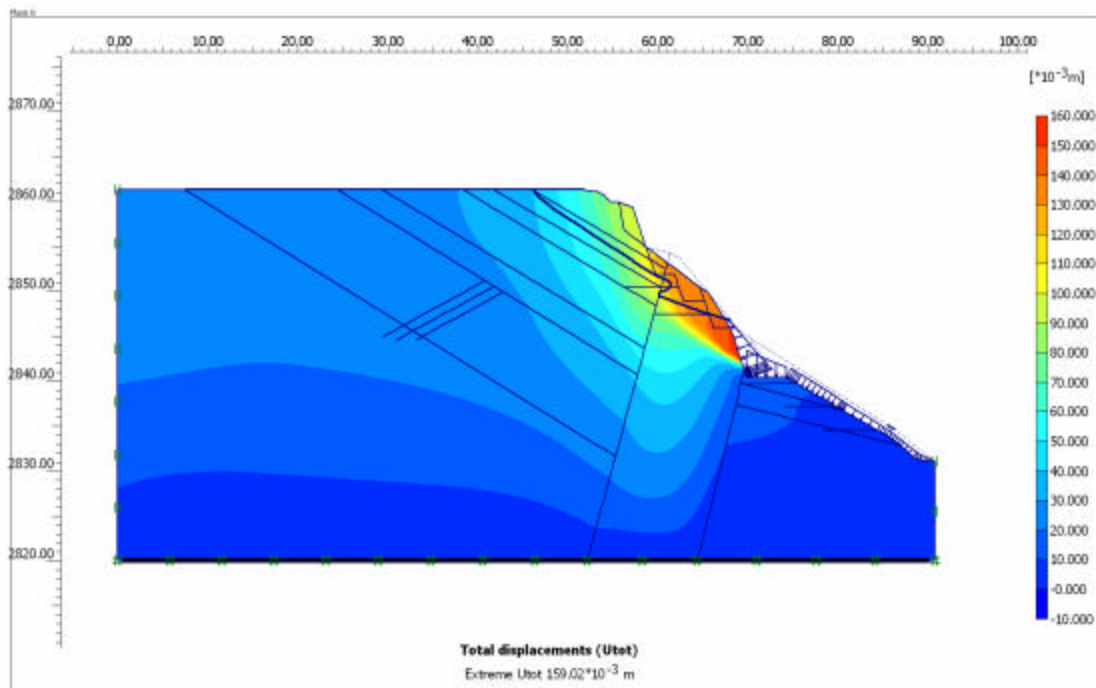


Figura 6.2 Desplazamientos totales prefalla. Situación anterior.

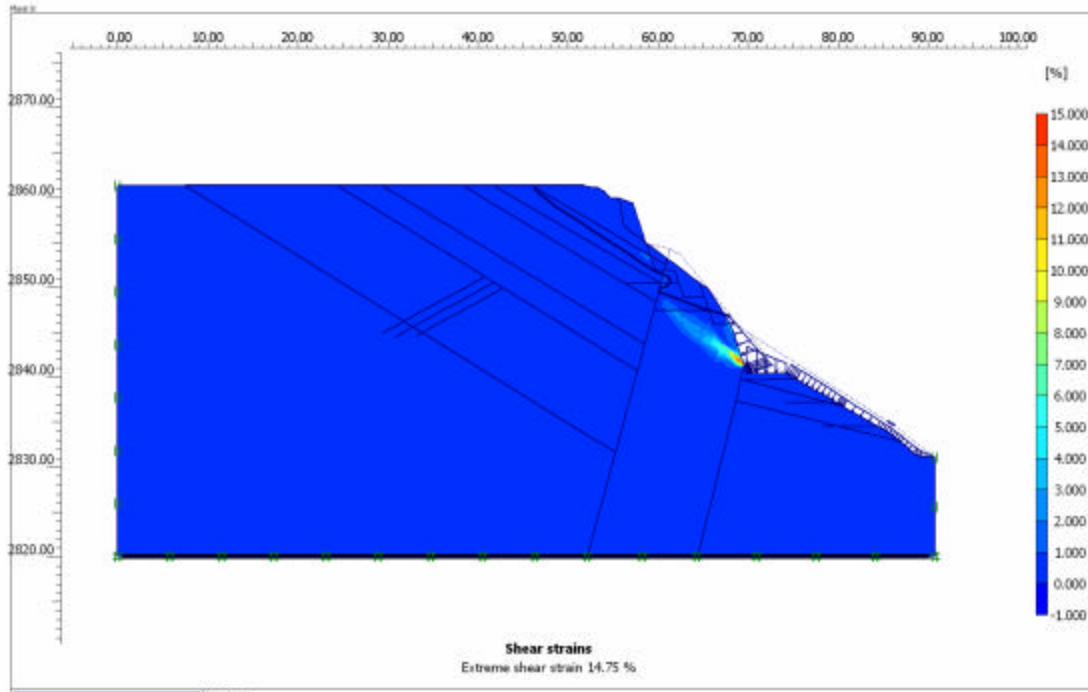


Figura 6.3 Deformaciones unitarias por cortante.

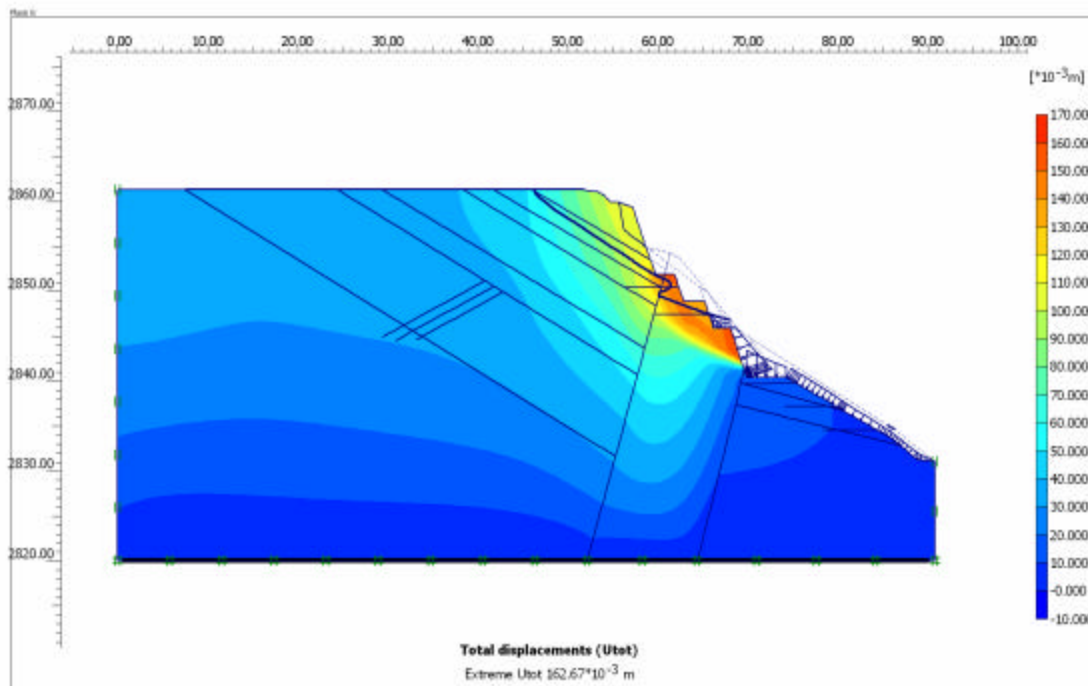


Figura 6.4 Deformaciones que se generan realizando terraceo.

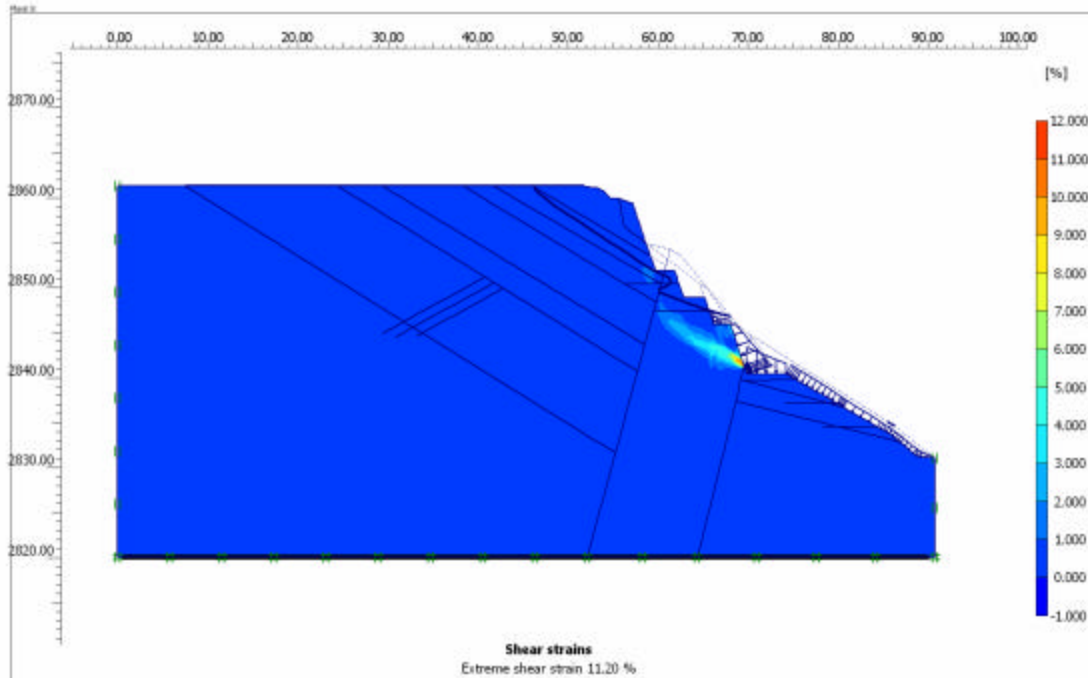


Figura 6.5 Deformaciones por corte que se generan por terraceo.

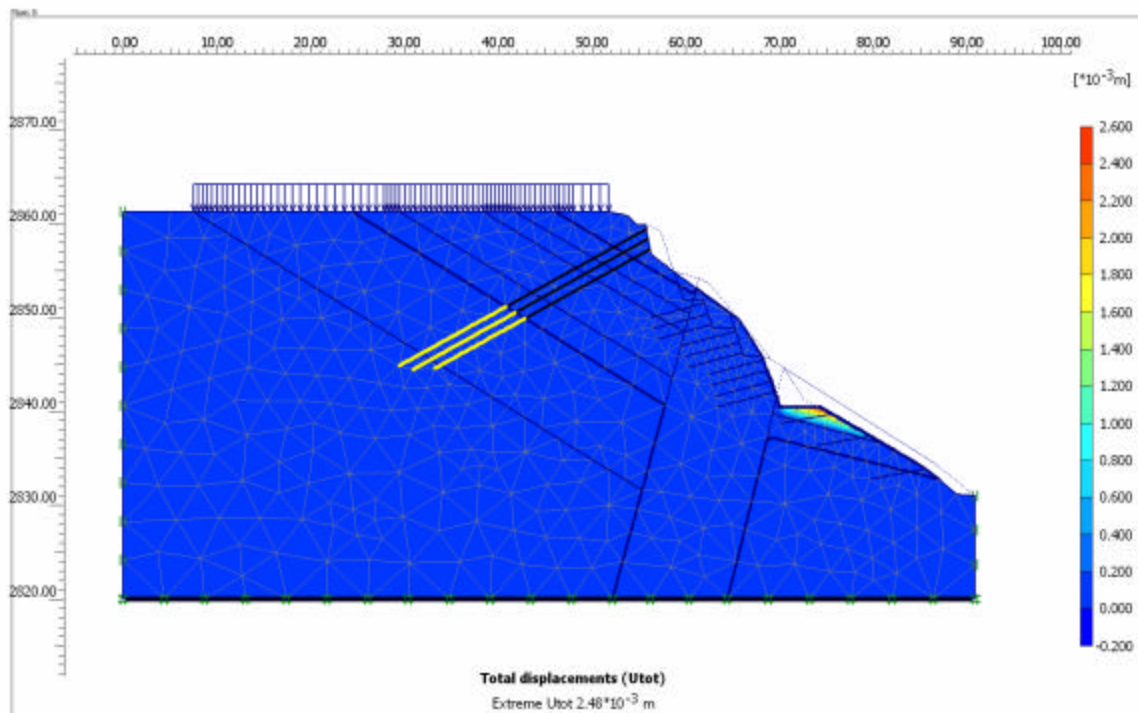


Figura 6.6 Deformaciones con anclajes y terraceo parcial.

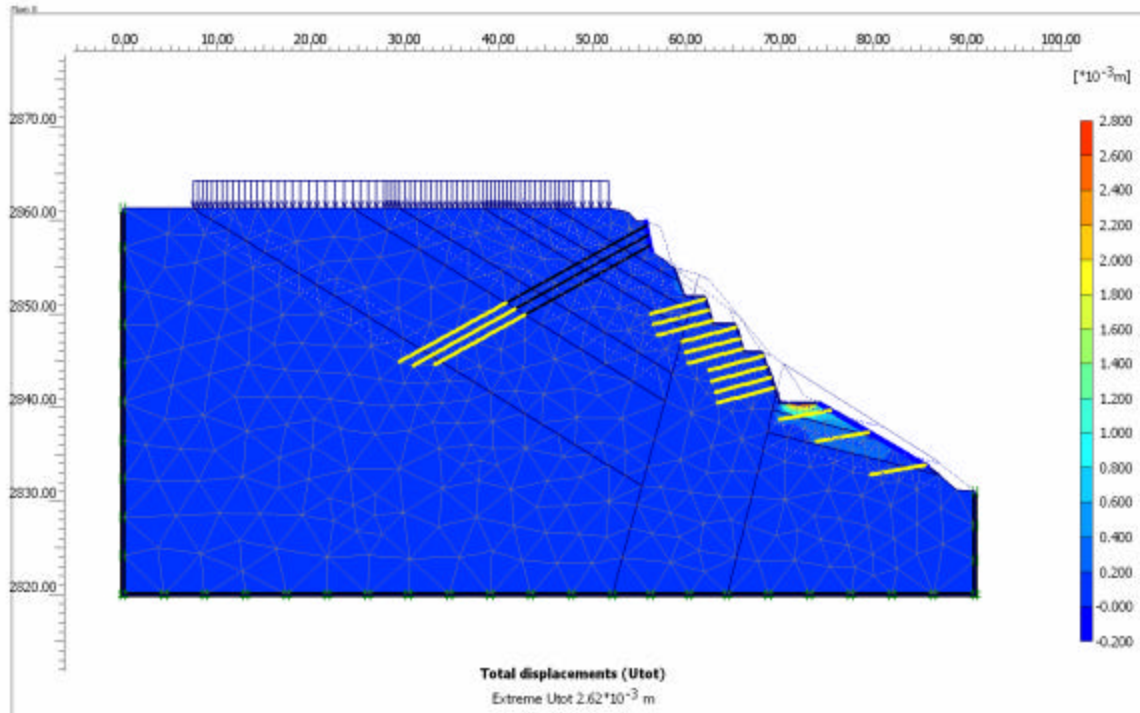


Figura 6.7 Deformaciones con pantalla anclada, terraceo y pantallas pernadas.

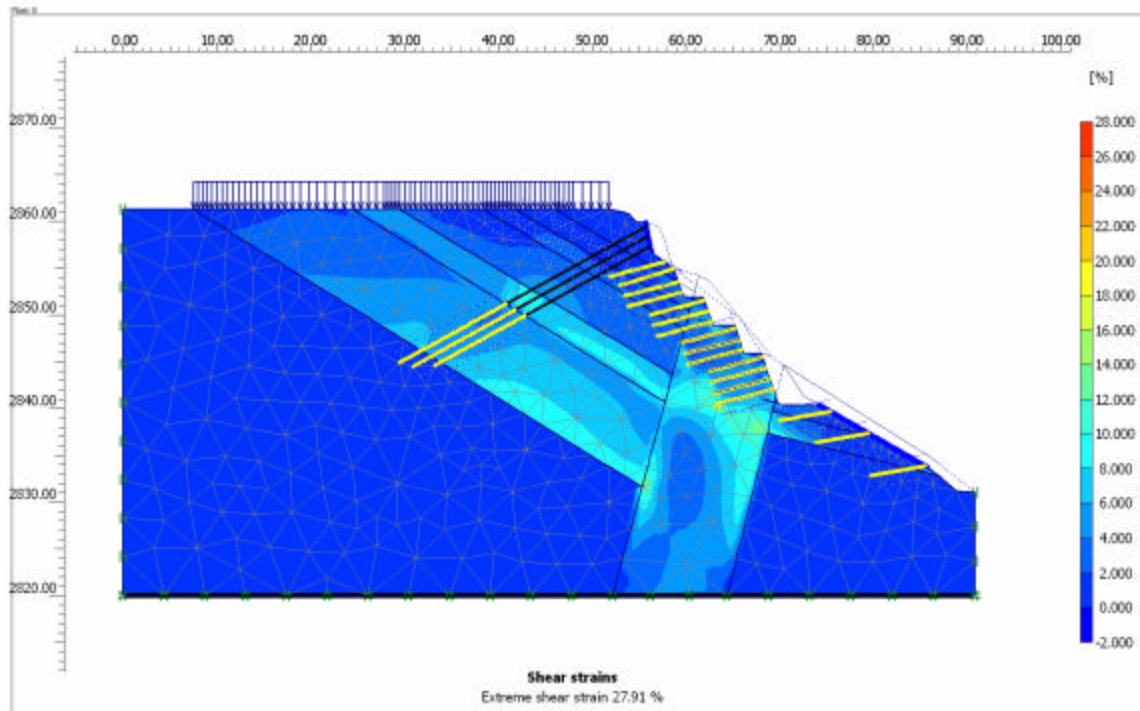


Figura 6.8 Deformaciones por corte con pantalla anclada , terraceo y pernos de anclaje.

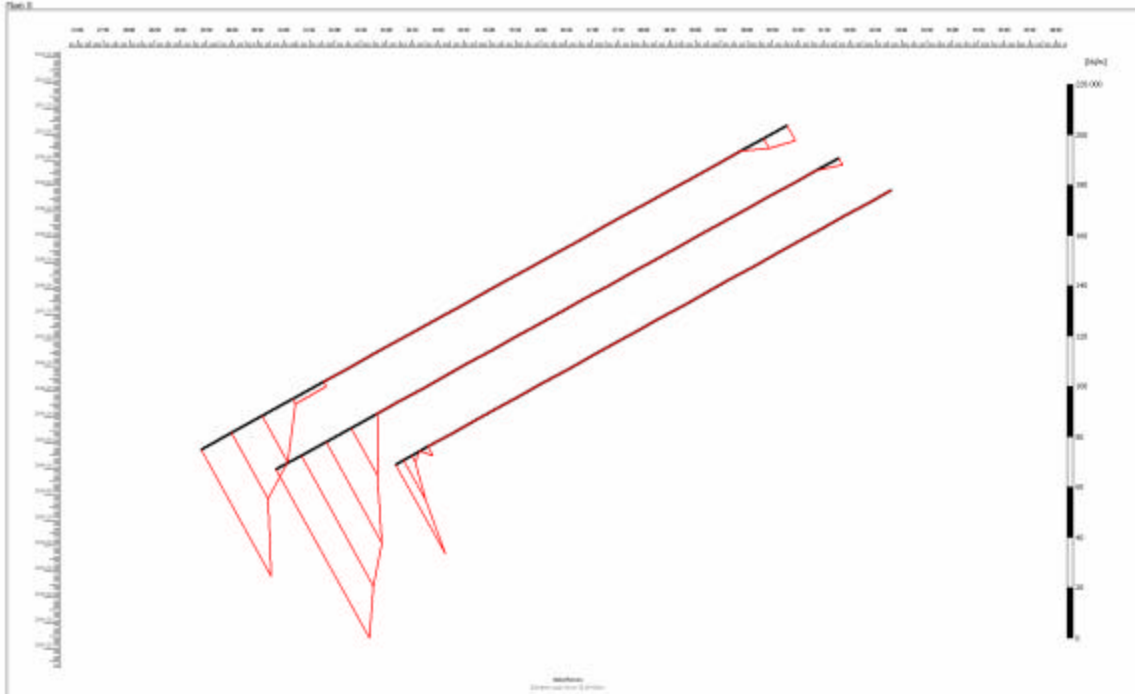


Figura 6.9 Envolvente de fuerzas de los anclajes

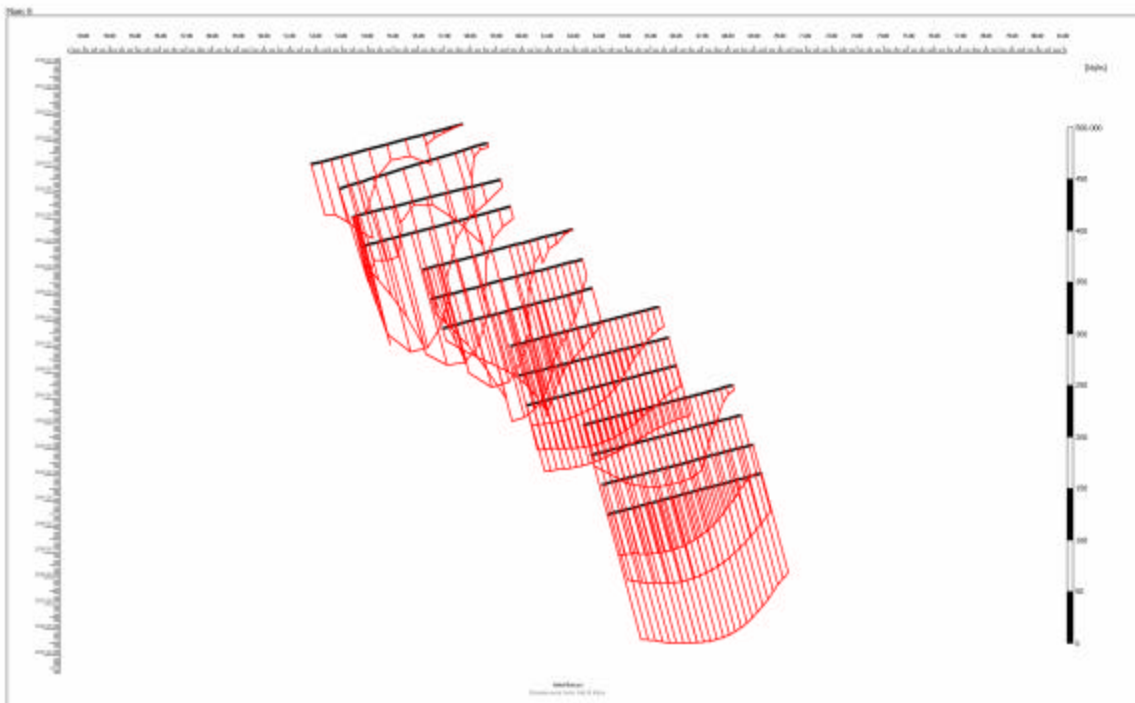


Figura 6.10 Envolvente de fuerzas de los pernos, de la pantalla pernada intermedia

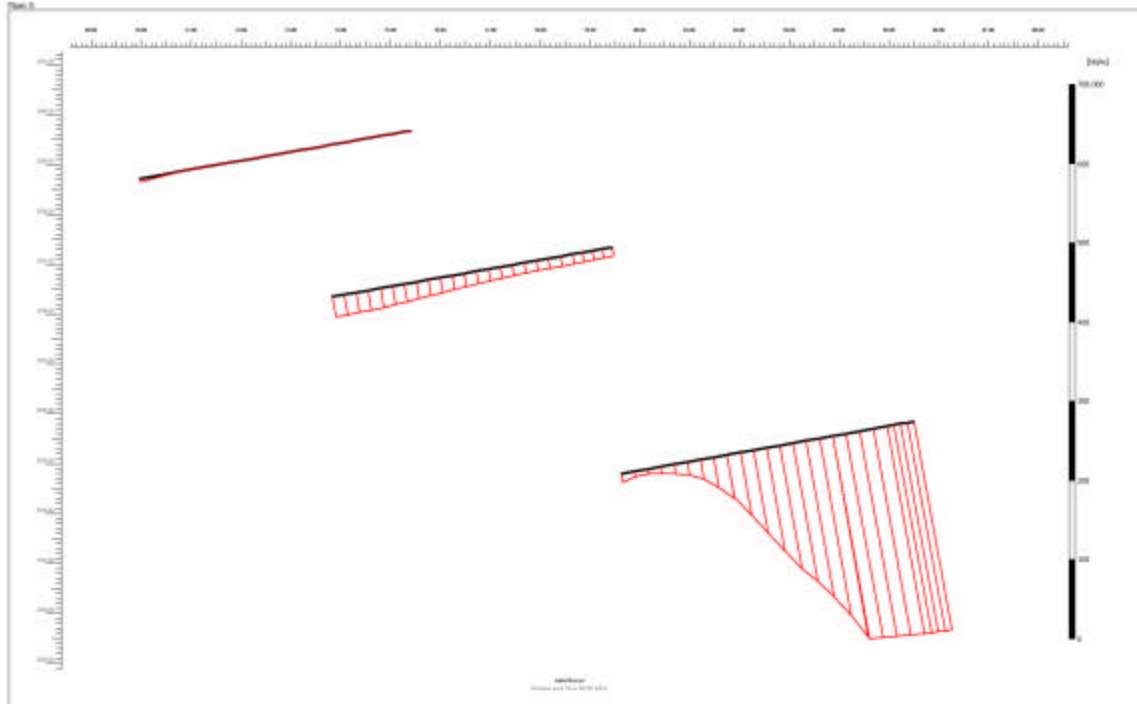


Figura 6.11 Envolvente de fuerzas de los pernos, de la pantalla pernada inferior

7 AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO

7.1 AMENAZA

A partir de la información existente en el estudio de IGR (2004) se determinó la amenaza para el área de estudio, ajustándola a los eventos ocurridos en el sitio. El estado de amenaza para la situación previa a la ocurrencia del fenómeno de remoción en masa se indica en la Figura 7.2. Esta figura también es válida para la situación en que no se construyen obras, para el periodo de construcción o su ejecución no es simultánea. Para la situación en que se realiza la construcción completa de las obras de estabilización recomendadas, el mapa de amenaza cambia al presentado en la Figura 7.2.

7.2 VULNERABILIDAD

Los elementos expuestos a la acción de fenómenos de remoción en masa son de dos tipos: i) infraestructura vial, constituida por la vía de acceso al barrio Los Alpes y ii) viviendas, localizadas en la parte alta del talud –de invasión -, y viviendas de la parte baja. Los habitantes de estas viviendas ya fueron reubicados.

Adicional a lo anterior, se debe considerar la vulnerabilidad de maquinaria y seres humanos, durante el periodo de construcción. Dada la baja exposición de estos elementos, se considera la vulnerabilidad para ese periodo baja.

7.3 RIESGO

Teniendo en cuenta los dos elementos expuestos, se establecieron los siguientes escenarios, teniendo en cuenta la simultaneidad de la ejecución de las obras recomendadas en el capítulo anterior.:

ESCENARIO 1. No ejecución de obras

Vía: riesgo alto

Viviendas: riesgo nulo

ESCENARIO 2: Durante la ejecución de las obras

Vía: riesgo alto

Viviendas: riesgo nulo

Maquinaria: riesgo medio

Seres humanos: riesgo medio

ESCENARIO 2: Ejecución parcial de obras recomendadas

Vía: riesgo alto

Viviendas: riesgo nulo

ESCENARIO 3: Ejecución completa de obras recomendadas

Vía: riesgo medio

Viviendas: riesgo nulo

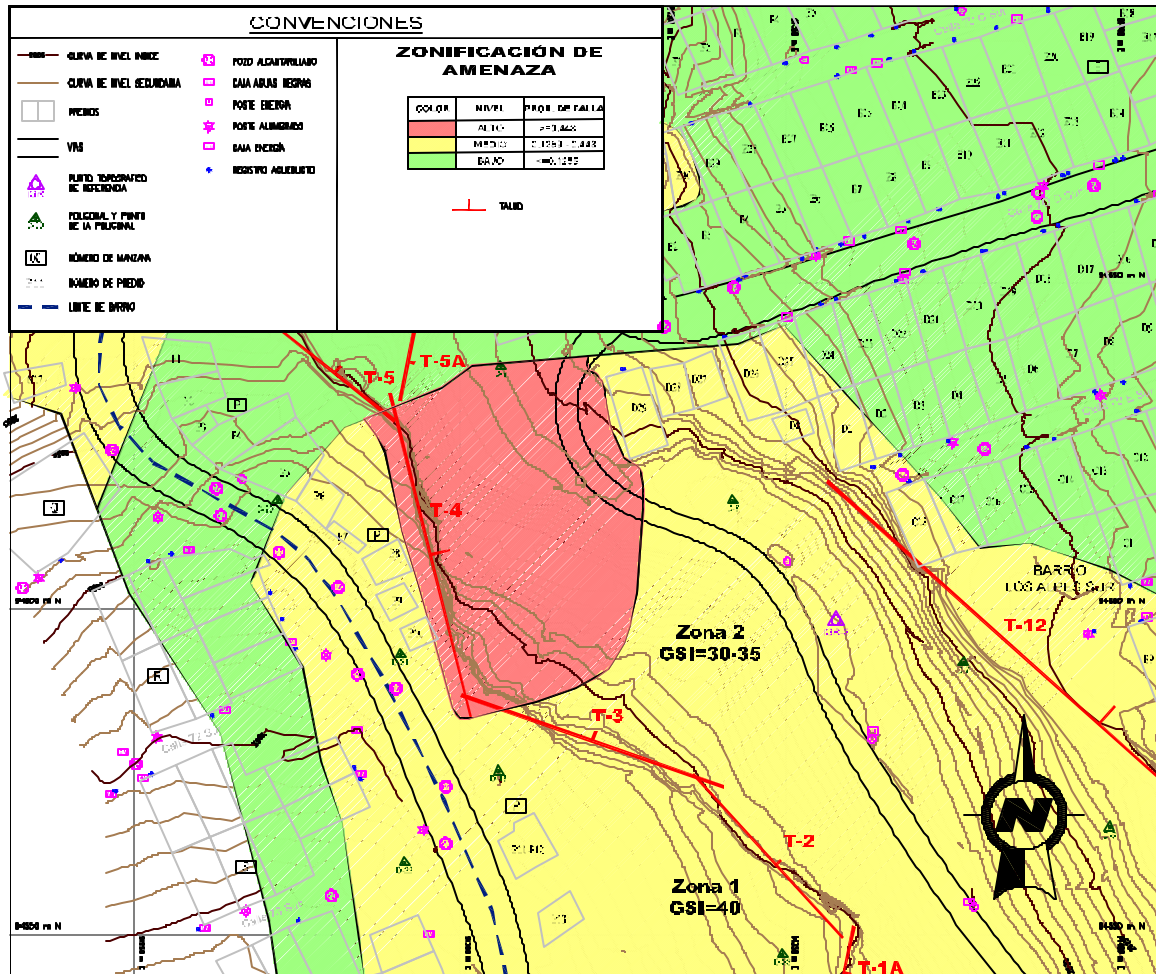


Figura 7.1 Mapa de amenaza por fenómenos de remoción en masa, situación en cualquier situación diferente a ejecución completa de obras

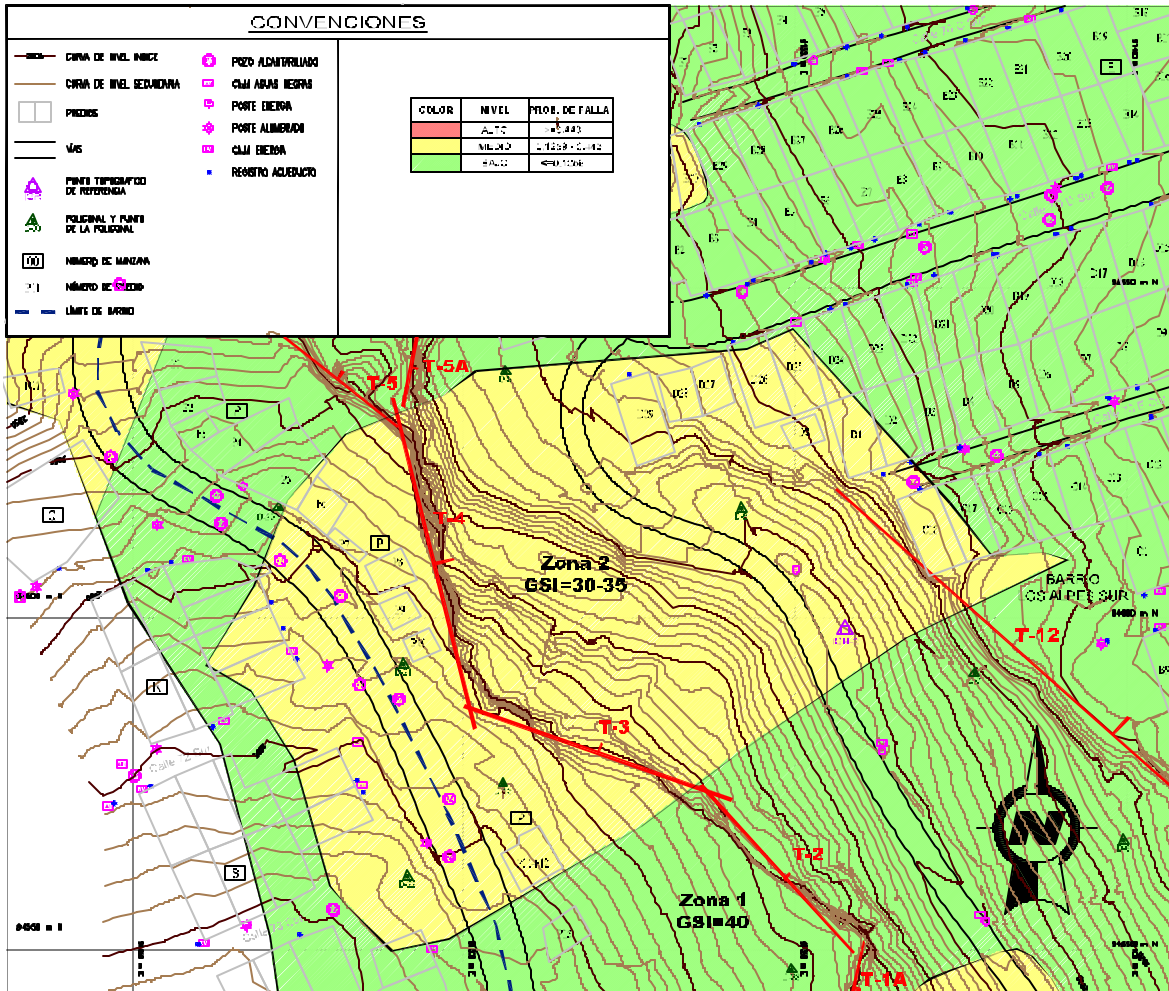


Figura 7.2 Mapa de amenaza por fenómenos de remoción en masa, situación con ejecución completa de obras

8 CONCLUSIONES

La zona de estudio se encuentra aproximadamente entre las coordenadas 94650N-91250E y 94550N-91350E. Al sitio se accede por la vía a Quiba, que se encuentra en la Carrera 22 con Calle 64sur. Se empleo como información recopilada el “Estudio de riesgos por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar los escarpes y laderas ubicados en el barrio Brisas del Volador y el extremo noroccidental del barrio La Esmeralda Sur de la localidad de Ciudad bolívar en Bogotá D.C.”

Del mencionado documento fue necesaria la revalidación de la interpretación geológica del sector afectado por el fenómeno de remoción en masa teniendo en cuenta la exposición de la columna estratigráfica en el sitio, para lo cual se estableció la sección de análisis C1-C1.

Se estableció que en la zona de estudio se presentan características particulares que favorecen el desarrollo de fenómenos de remoción en masa. Son ellas:

- ? Presencia de paquetes de areniscas y lodolitas orientados hacia la ladera.
- ? Existencia de amplias zonas de brechamiento, que constituyen zonas de debilidad y posibilitan el desarrollo de altos gradientes de flujo.
- ? Alta susceptibilidad al reblandecimiento o pérdida de resistencia por humedecimiento de las capas de lodolita.

Adicional a lo anterior se encuentran factores que favorecen también el desarrollo de deslizamientos como son:

- ? Incremento de escorrentía superficial en el talud, por deficiente manejo de aguas de escorrentía de las vías vehiculares cercanas y mal estado de sus estructuras de drenaje.
- ? Vertimiento de aguas domésticas al talud.
- ? Deficiencia o ausencia de obras de mitigación de riesgo recomendadas en estudios previos.

La secuencia que originó el fenómeno de remoción en masa está relacionada con la pérdida de cabeza de succión de los materiales brechados y reblandecimiento de la parte superior de la capa de lodolita. Dada la configuración de la columna estratigráfica, la capa de lodolita actuó como superficie de deslizamiento de la masa sobreyacente, que continuó en movimiento talud abajo, una vez careció de soporte en la base generando el rompimiento del material movido en fragmentos tamaño bloque.

Para lograr niveles de deformación limitados se propone la implementación simultánea de las siguientes medidas:

- ? Construcción de una cuneta en la parte superior del talud. La longitud de la cuneta es de 93m. Su sección es rectangular, con espesor de pared de 0.10m y dimensiones efectivas de 0.50m y 0.30m.
- ? Remoción manual de bloques, susceptibles de desestabilizarse en la parte alta del talud.
- ? Construcción de drenes subhorizontales.
- ? Construcción de una pantalla anclada entre las cotas 2857 y 2860msnm. El espesor de pared de la pantalla es de 0.30m, construida en concreto de resistencia a la compresión medida a los 21 días de 24MPa. Se deben construir tres filas de anclajes localizadas en las proximidades de las cotas 2859.5msnm, 2858.4msnm y 2857.3msnm, con una inclinación con el plano horizontal de 29°. La longitud libre de los mismos es en el orden indicado de 17.14m, 16.19m y 15.26m, mientras que la longitud de los bulbos es de 13m, 12.5m, y 11.0m. El diámetro previsto de los cables es de ½”.
- ? Construcción de una pantalla pernada por medio de pernos de longitud 6.0m espaciados cada 1.0m. El espesor de la pantalla debe ser 0.30m. El diámetro de perforación debe ser 2” y el de la varilla corrugada de 1”.
- ? Construcción de una pantalla pernada entre las cotas 2840.5 y 2833.5msnm. El espesor de pared de la pantalla pernada es de 0.30m. La distribución de los pernos se debe efectuar en celosía, con una distancia entre ellos de 1.5m. De esta manera se deben distribuir en la sección C1-C1 seis filas de pernos, en las siguientes cotas: 2839.75msnm, 2838.5msnm, 2837.4msnm, 2836.2msnm, 2835msnm y 2833.8msnm. La longitud de los pernos debe ser de 6.0m, y se debe efectuar en una perforación de 2” de diámetro y utilizar varilla corrugada de acero de diámetro 1”.

9 LIMITACIONES

Los resultados, conclusiones y recomendaciones fueron obtenidos a partir de la información recopilada principalmente y de los resultados de los apiques ejecutados para la elaboración de este informe.

Debido al carácter puntual de la exploración, y a la variabilidad del subsuelo, en caso de encontrarse condiciones del subsuelo diferentes a las descritas en este informe durante el proceso de construcción del muro, se deberá avisar al Consorcio IGR para realizar las modificaciones que sean necesarias.

10 CANTIDADES ESTIMADAS DE OBRA

A continuación se presenta en la Tabla 10-1 el presupuesto detallado para la construcción de las obras de mitigación, las cantidades de obra y los precios unitarios se presentan en el Anexo 1.

Tabla 10-1 Presupuesto detallado

I - Construcción de obras

Item	Descripción	UNIDAD	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
1.0	GENERALES				
1.1	Localización y replanteo	m ²	\$ 1,251	1822	\$ 2,279,322
	Subtota				\$ 2,279,322
2.0	RECONFORMACION DEL TERRENO				
2.1	Excavación a maquina material común (incluye cargue)	m ³	\$ 18,047	15	\$ 268,542
2.2	Excavación mecánica en roca (incluye cargue)	m ³	\$ 30,387	633	\$ 19,221,738
2.3	Transporte y disposición de sobrantes de excavación - distancia menor a 20 Km	m ³	\$ 18,480	2005	\$ 37,058,543
2.4	Remoción manual de bloques	m ²	\$ 20,458	104	\$ 2,126,557
	Subtota				\$ 58,675,380
3.0	OBRAS DE CONTENCIÓN				
3.1	Pantalla anclada				
3.1.1	Fila superior Longitud anclaje L=31 m Longitud bulbo Lb=14 m	ml	\$ 179,685	124	\$ 22,280,940
3.1.2	Fila Intermedia Longitud anclaje L=30 m Longitud bulbo Lb=12 m	ml	\$ 179,685	150	\$ 26,952,750
3.1.3	Fila Inferior Longitud anclaje L=27 m Longitud bulbo L=11 m	ml	\$ 179,685	108	\$ 19,405,980
3.1.4	Muro en concreto lanzado e=0.30 m f'c = 240 Kg/cm ²	m ²	\$ 132,375	24.54	\$ 3,248,483
3.1.5	Viga de cimentación en concreto f'c=240 kg/cm ² para pantalla Sección cuadrada b= 0.40 m	m ³	\$ 450,300	1.92	\$ 864,576
3.1.6	Cuneta en concreto f'c= 210 kg/cm ² Sección b=0.70 m h= 0.40 m	ml	\$ 28,427	93	\$ 2,643,699
3.1.7	Pases para drenaje longitud 1.0 m (tubería PVC diam = 1")	ml	\$ 11,930	2.55	\$ 30,422
3.2	Pantalla pernada intermedia				
3.2.1	Pernos de anclaje Longitud L= 6 m Diámetro Diam=0.1 m	m	\$ 67,850	1212.0	\$ 82,234,200
3.2.2	Muro en concreto lanzado e=0.30 m f'c = 240 Kg/cm ²	m ²	\$ 132,375	278.4	\$ 36,853,200
3.3	Pantalla pernada inferior				
3.3.1	Pernos de anclaje	m	\$ 67,850	1884.0	\$ 127,829,400
3.3.2	Muro en concreto lanzado e=0.30 m f'c = 240 Kg/cm ²	m ³	\$ 132,375	596.2	\$ 78,921,975
3.4	Drenes subhorizontales				
	Subtota				\$ 437,728,600
4.0	LOSAS A CORREGIR				
4.1	Losas de concreto f'c=210 kg/cm ² , e=0.20 m	m ²	\$ 373,240	12.5	\$ 4,665,503
	Subtota				\$ 4,665,503
5.0	DEMOLICION DE VIVIENDAS				
5.1	Demolición de viviendas	m ²	\$ 19,671	84.7	\$ 1,666,170
	Subtota				\$ 1,666,170

ELABORACIÓN DE DISEÑOS DE OBRAS NUEVAS Y DISEÑOS PARA EL MANTENIMIENTO DE OBRAS EXISTENTES ,
 PRESUPUESTOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EN SITIOS CRÍTICOS DE RIESGO INMINENTE POR REMOCIÓN EN MASA EN
 LAS LOCALIDADES DE SUBA, USAQUÉN, CIUDAD BOLÍVAR Y USME DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, D.C.

6.0	ASEO				
6.1	Aseo de la Obra	m ²	\$ 2,750	1	\$ 2,750
	Subtotal				\$ 2,750
7.0	BARANDA METALICA				
7.1	Baranda metálica	ml	\$ 280,000	20.00	\$ 5,600,000
	Subtotal				\$ 5,600,000
8.0	SUMIDERO				
8.1	Sumidero	ml	\$ 634,769	1.00	\$ 634,769
	Subtotal				\$ 634,769
	TOTAL COSTOS DIRECTOS				\$ 511,252,493
	Administración	%		10	\$ 51,125,249
	Imprevistos	%		10	\$ 51,125,249
	Utilidades	%		5	\$ 25,562,625
	IVA sobre la utilidad 16%	%		16	\$ 4,090,020
	COSTO TOTAL				\$ 643,155,637

11 ESPECIFICACIONES

En el Anexo 2 se presentan las especificaciones correspondientes a los siguientes ítem:

- ? Anclajes
- ? Pernos
- ? Pantalla anclada
- ? Pantalla pernada
- ? Cuneta
- ? Retiro manual de bloques
- ? Drenes subhorizontales
- ? Baranda metálica
- ? Sumidero
- ? Concretos
- ? Acero de refuerzo

12 BIBLIOGRAFIA

1. Ingeniería y Georriesgos IGR (2005). Estudio de riesgos por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar los escarpes y laderas ubicados en el Barrio Brisas del Volador y el extremo noroccidental del Barrio La Esmeralda Sur de la localidad Ciudad Bolivar en Bogotá D.C.
2. Lee, E.M. y Jones, K.C. (2004) Landslides Risk Management. Thomas Telford E.
3. PLAXIS FINITE ELEMENT CODE FOR SOIL AND ROCK ANALYSES Versión 8. R.B.J. Brinkgreve – Plaxis 8. V.Netherlands. (1998).
4. 3. Xanthakos P. (1991). Ground Anchors and anchored tructures. John Wiley and sons inc.