FONDO DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS DE BOGOTA D.C. FOPAE

MONITOREO Y SEGUIMIENTO AL DESLIZAMIENTO DE LOS BARRIOS CERRO NORTE Y VILLA NIDIA EN LA LOCALIDAD DE USAQUEN

INFORME FINAL

INDICE

		Pag.
1.	INTRODUCCIÓN	03
2.	ASPECTOS GENERALES	03
2.1	Objetivos y alcance del estudio	03
2.2	Localización y generalidades de la zona	04
2.3	Antecedentes del deslizamiento	05
2.4	Instrumentación y viviendas	06
3.	TRABAJOS DE CAMPO Y OFICINA	08
3.1	Instalación de puntos de control	08
3.2	Amarre Topográfico y levantamiento	09
3.3	Levantamiento Altimétrico y Planimétrico de Cada Punto	10
3.4	Cálculos y Registro Gráfico	10
4.	MONITOREO DE VIVIENDAS	10
4.1	Metodología utilizada en el monitoreo	10
4.1.1	Control de daños	11
4.1.2	Calificación de la amenaza según la ubicación y efectos en el terreno	11
4.1.3	Calificación global del riesgo	12
4.2	Observaciones De Campo	15
4.3	Condición estructural	16
4.4	Control de daños	18
4.5	Resultados del Monitoreo	18
4.6	Comentarios y recomendaciones al monitoreo de viviendas	22
5.	ANALISIS GEOTECNICO	25
5.1	Interpretación de los registros de movimiento	25
5.2	Historia del proceso de inestabilidad	27
5.3	Análisis de estabilidad	29
5.4	Comentarios de estabilidad	35
5.5	Conclusiones y recomendaciones generales	37

ANEXOS :

No.1: FIGURA 4.1 - Viviendas con presencia de grietas
FIGURA 4.2 - Riesgo por caida de bloques
FIGURA 4.3 - Mapa de riesgo para las viviendas

No.2: VIVIENDAS MONITOREADAS
Tabla resumen de calificación global de riesgo
Calificación de cada vivienda
Registro fotográfico

No.3: INTERPRETACIÓN DE LOS REGISTROS DE MOVIMIENTO
Desplazamiento, Velocidad, y Aceleración puntos de control (Figuras 1 a 14)

No.4: LISTADO DE COORDENADAS INSTRUMENTACIÓN
DESPLAZAMIENTO DE PUNTOS DE CONTROL

No.5: EXTENSOMETROS – REGISTROS DE LECTURA

No.6: CALCULO DE CARTERA DE NIVELACION - CAMPAÑA FINAL
CARTERA ELECTRÓNICA DE CAMPO - CAMPAÑA FINAL
CARTERAS DE CAMPO – CAMPAÑA FINAL

No.7: CERTIFICADO DEL IGAC

No.8: PLANO CON LEVANTAMIENTO PLANIALTIMETRICO DE LOS PUNTOS DE CONTROL

No.9: CD con Informe Final

MONITOREO Y SEGUIMIENTO AL DESLIZAMIENTO DE LOS BARRIOS CERRO NORTE Y VILLA NIDIA EN LA LOCALIDAD DE USAQUEN

INFORME FINAL

1. INTRODUCCION

EL FONDO PARA LA PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS - FOPAE - contrató con *GEOS EU*, los trabajos correspondientes al monitoreo y seguimiento al deslizamiento de los barrios Cerro Norte y Villa Nidia en la Localidad de Usaquén, con la realización de seis campañas de levantamiento topográfico a la instrumentación colocada y el monitoreo de unas 40 viviendas, para adelantar un seguimiento de las deformaciones y además, realizar comentarios del modelo del subsuelo elaborado por la firma Moya y García Ltda.

El presente informe contiene los resultados del monitoreo topográfico del deslizamiento, realizado entre los meses de Agosto de 2002 y Diciembre de 2002, incluyendo las actividades adicionales adelantadas hasta el 10 de Enero de 2003, relacionadas con los levantamientos planialtimétricos a la instrumentación instalada, lectura de extensómetros, situación del deslizamiento, monitoreo y calificación global de riesgo de las construcciones y análisis del informe final elaborado por la firma MGL.

La zona en estudio está localizada al norte de la ciudad de Bogotá en la Localidad de Usaquén, al oriente de la avenida séptima con calle 162, en el espacio intervenido por una cantera. El área presenta una problemática de inestabilidad reflejada en movimientos importantes de terreno, por lo cual la DPAE contrató con la firma Moya y García Ltda., el levantamiento topográfico del área en estudio, el análisis detallado para la presentación de registros y modelo geotécnico del subsuelo, análisis de estabilidad, al igual que el diseño de las obras de mitigación requeridas, como resultado del modelo geotécnico resultante del subsuelo.

Durante los trabajos de monitoreo a la instrumentación colocada en la urbanización, se presentaron informes mensuales con los resultados de cada campaña establecida, anexando los listados y plano ilustrativo del comportamiento de los puntos instalados, un diagnostico geotécnico inicial y el monitoreo de las viviendas aledañas al sector del deslizamiento.

2. ASPECTOS GENERALES

2.1 Objetivos y Alcance del estudio

Para dar inicio a los trabajos de monitoreo y seguimiento al deslizamiento de los barrios Cerro Norte y Villa Nidia, se realizó una reunión previa en las oficinas de la DPAE con presencia del ing. Javier Pava, la Ing. Diana Arévalo y el interventor del contrato Ing. Jairo Alberto Lozano, para establecer la metodología de los trabajos a desarrollar.

El objetivo del estudio contemplaba un diagnostico geotécnico preliminar; el diseño, selección e instalación de la instrumentación de control topográfico; el amarre a coordenadas oficiales del IGAC para adelantar el control topográfico planialtimetrico preciso de la instrumentación instalada y finalmente, el monitoreo de las 40 viviendas aledañas a la zona de deslizamiento.

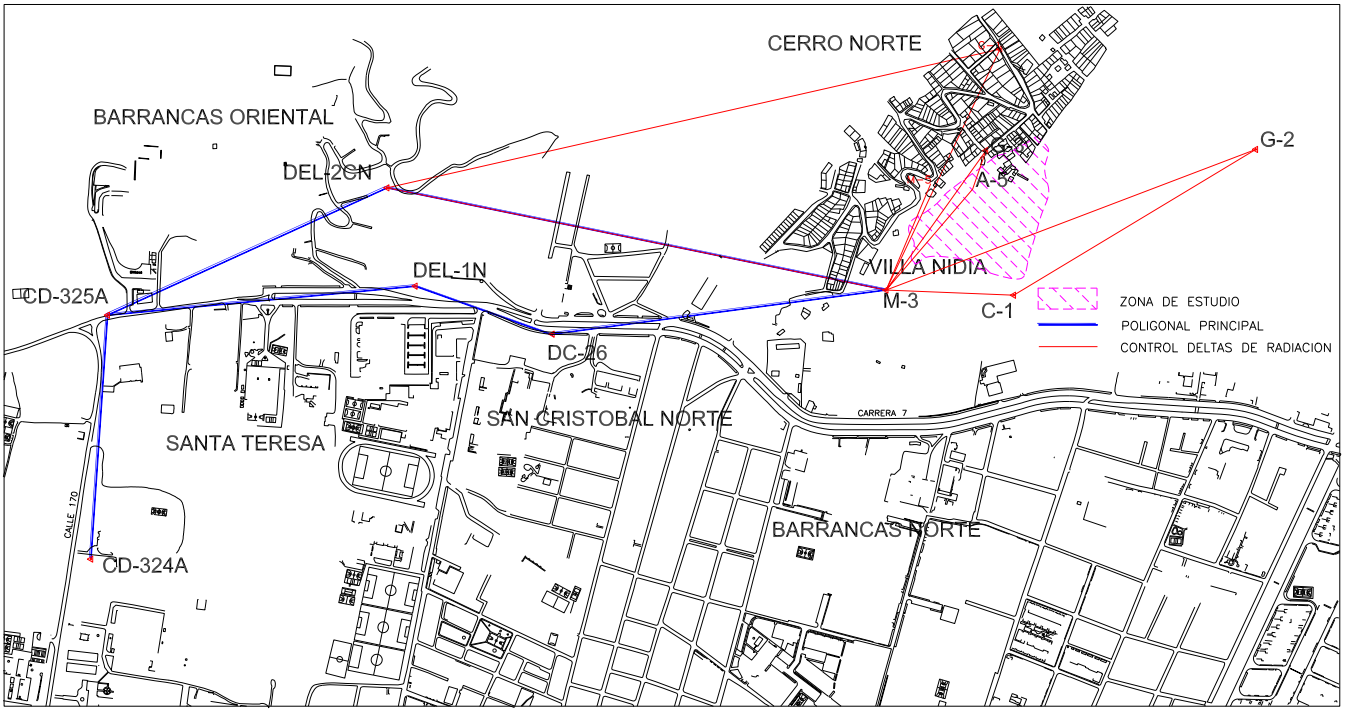
En la visita a la zona del deslizamiento en presencia de los lideres de la comunidad y personal de la junta de acción comunal, se observó que la DPAE realizaba dos obras temporales de mitigación y control de desprendimientos de material en la zona del salón comunal y vía de acceso a la parte alta del deslizamiento. Para adelantar las labores de análisis, se recibió de la DPAE, el plano topográfico elaborado por la firma Moya y García Ltda. - MGL, mostrando la planialtimetria del sector del deslizamiento, incluyendo las vías de acceso vehicular, manzanas y viviendas aledañas a la zona en estudio.

Posteriormente y para cumplir con el alcance del estudio, se realizo un diagnostico geotécnico preliminar del deslizamiento, para proceder al diseño e instalación de la instrumentación de control topográfico requerida para establecer los patrones de movimiento en la zona del deslizamiento y en las construcciones del sector aledañas al fenómeno. El estudio contemplaba además, la realización de campañas de medición topográfica precisa referida al sistema oficial de coordenadas del IGAC y las labores de monitoreo de 40 viviendas de los barrios Cerro Norte y Villa Nidia cercanas a la masa en movimiento.

2.2 Localización y generalidades de la zona

El deslizamiento que está ocurriendo en el sector de estudio localizado al norte de la ciudad de Bogotá, al oriente de la avenida séptima con calle 162, corresponde a un paquete de estratos de arenisca friable con intercalaciones de liditas que conforman una ladera con inclinación hacia el occidente. La ladera coincide con el buzamiento de las rocas que componen el talud, aunque en la mayor parte del área deslizada la zona corresponde a una ladera conformada como resultado de la explotación de una cantera.

ESQUEMA DE LOCALIZACION



La zona inestable se presenta como un gran bloque de forma triangular visto en planta, con su base de aproximadamente 200 m de ancho paralela al rumbo de las rocas y de unos 250 m de longitud en la dirección del buzamiento. El espesor del bloque inestable es del orden de 15 a 20 m, conformando un deslizamiento de tipo traslacional. El gran bloque inestable está limitado al norte por una cañada profunda de una quebrada y al sur por una zona deprimida, posiblemente por la explotación de canteras antiguas. El bloque está delimitado por grietas a lo largo de la base por donde se rompe el bloque que se está deslizando, las cuales se observan en los costados norte sur y en tramos del costado occidental, y por un gran escarpe en la parte oriental. En la parte alta se encontraba un grupo de casas que han sido destruidas por el deslizamiento.

Hacia el occidente el deslizamiento está limitado por una serie de taludes y cortes de explotación de cantera. En la base del talud inferior se encuentra la arcillolita sobre la que se está produciendo el movimiento y en la cara del talud inferior, queda expuesta la secuencia de materiales involucrados y que son los que se han venido explotando comercialmente en la cantera. Hacia la base del talud, donde no se encuentran depósitos de materiales sueltos, se aprecia el afloramiento de la superficie de falla y el desplazamiento relativo del gran bloque inestable con respecto a la arcillolita.

La masa total de suelo muestra desplazamientos de varios metros en dirección al occidente y se ha fracturado en varios sub-bloques evidenciados por grietas en el sentido norte-sur. Además se ha producido agrietamiento en los flancos donde se conforman escarpes de pendiente fuerte. Estas grietas dan lugar a procesos de tipo volcamiento de bloques que amenazan construcciones localizadas fuera del cuerpo principal del deslizamiento hacia el norte del área inestable. Las familias que se encontraban habitando dentro de la masa en movimiento en la parte alta, fueron reubicadas por la DPAE y las construcciones demolidas.

En el sector superior de la ladera y por fuera del deslizamiento actual, se encuentra aún un remanente del paquete de areniscas sobre la base de arcillolita subyacente que está quedando desconfinado con el movimiento del bloque inestable hacia el occidente. Es posible que este remante de material se mueva al propagarse el deslizamiento de manera remontante hacia el oriente.

Esta situación pone en peligro potencial un buen número de familias y viviendas que se encuentran en los sectores norte y nororiental del deslizamiento, situación que requiere un seguimiento periódico del terreno, de las zonas duras de acceso a las construcciones e inspección dentro de las mismas.

2.3 Antecedentes del Deslizamiento

Teniendo en cuenta la descripción presentada en el informe de Moya y García Ltda. (2002), el área en estudio ha presentado problemas de estabilidad posiblemente desde antes de 1940, tanto en condiciones naturales como a causa de las excavaciones efectuadas para la explotación de materiales en la zona baja.

De acuerdo con la información recopilada y presentada por Moya y García Ltda. (2002), que permite entender la evolución e implicaciones objeto del monitoreo, el estado del terreno en 1940 mostraba indicios del posible deslizamiento de un gran bloque, que modificó el alineamiento de la base del cerro, como se manifiesta con la curva que tiene la Avenida Séptima en este sector. Este deslizamiento podría ser el responsable de los plegamientos observados en el estudio geológico detallado del área.

En la década de los años cincuenta y con motivo de la explotación de la cantera desde la parte baja, se presentaron desprendimientos de material; posteriormente y hacia los años sesenta, se generó un gran deslizamiento en el sector, motivado por la iniciación de la explotación de la parte media de la ladera. Esta situación se volvió a repetir a comienzos de los años setenta, con la presencia de un nuevo deslizamiento.

En el año de 1990 se gestó un nuevo deslizamiento traslacional que afectó la ladera arriba de las áreas de explotación, destruyendo algunas viviendas; de acuerdo con lo observado en el estudio de Ingeniería y Geotecnia Ltda. en 1991, se observaron fisuras arriba del escarpe del deslizamiento, que afectaron viviendas y el terreno aledaño.

A comienzos de junio de 2002, ocurrió un fuerte agrietamiento del terreno en el costado oriental del sector de la calle 160, que se propagó en dos direcciones. A los pocos días del agrietamiento inicial, apareció un nuevo frente de agrietamiento que acabó de afectar las viviendas de la parte alta y conformó un nuevo escarpe y una grieta profunda por el lado norte de la ladera, arriba del valle de la quebrada. Ante el fuerte agrietamiento del terreno, se inicio un proceso de caída de material en bloques, que obligaron a la DPAE a instalar parapetos para contener los posibles bloques que, al desprenderse, afectaran a personas, viviendas o el Salón Comunal de Villa Nidia y la parte baja de Cerro Norte; así mismo, se evacuaron doce viviendas y se complementaron estas acciones, con el retiro de algunos bloques de gran tamaño que estaban por caer.

En el mes de Agosto de 2002, se iniciaron las actividades de monitoreo y seguimiento al deslizamiento del sector de la localidad de Usaquén, cuyos resultados se presentan en el siguiente informe final.

2.4 Instrumentación y viviendas

2.4.1 Planteamiento de la instrumentación

Con base en el diagnostico geotécnico preliminar realizado al deslizamiento y los objetivos del proyecto, se diseñó el sistema de monitoreo e instrumentación requerida para establecer los patrones de movimiento del deslizamiento y de la zona aledaña, seleccionando los sitios mas representativos para construir la instrumentación requerida. En el área en estudio se observaron grietas delimitando la extensión del deslizamiento, sub-bloques y fracturas en los bordes de la masa inestable, y grietas de desplazamiento relativo de la masa en los taludes laterales y en el talud frontal sobre el frente del deslizamiento.

Los puntos de control que se propuso utilizar, estaban localizados de manera que permitieran monitorear el movimiento del bloque principal que estaba fracturado en varios sub-bloques, así como el movimiento de los flancos del bloque principal.

Para lo anterior, se propuso localizar tres grupos de mojones sobre la masa inestable, uno a cada costado y uno en el centro. Se analizo su localización de manera que hubiera mojones en cada uno de los subbloques en que estaba fracturada la masa inestable para medir sus tendencias, tasas de movimiento y movimiento relativo. A lo largo de los flancos se estudiaron líneas de tres o cuatro mojones en sentido perpendicular al borde para evaluar el desarrollo del movimiento lateral de los subbloques.

Adicionalmente se analizo la colocación de puntos de control en toda el área de edificaciones de la parte oriental del deslizamiento ya que esta zona puede llegar activarse como resultado del proceso que está ocurriendo. Estos puntos se localizarán preferiblemente directamente sobre estructuras o a lo largo de las vías existentes.

La primera actividad topográfica de campo consistió en la localización e instalación de los elementos de control, teniendo en cuenta la selección de sitios previamente establecida de común acuerdo con el interventor y considerando la mejor forma de obtención de los datos.

Se procedió a la construcción de mojones de concreto fundidos en el sitio, dejando embebido una varilla como sistema de anclaje para garantizar la conservación en caso de deterioro superficial y colocando placas de bronce como referencia de identificación para el control altimétrico y planimétrico de cada campaña. A los mojones construidos, se les asignó el nombre de acuerdo con la intersección de ejes donde se encontraran con la siguiente inscripción: DEPAE, CERRO NORTE, NOMBRE DEL PUNTO, SEPTIEMBRE-2002. El punto central de la placa de bronce, se proyectó y materializó dentro del cuerpo del mojón mediante varilla de 5/8“ y de 60 centímetros de largo, para permitir una posterior reconstrucción en el evento de ser destruido

Se materializaron los puntos de control mediante pintura de aceite para garantizar su permanencia durante todo el proceso de monitoreo, en zonas de concreto y en los sitios de acceso a las viviendas aledañas objeto de control.

Igualmente, se ubicaron los extensometros como control de las grietas que se presentaban en el costado norte del deslizamiento y donde se encontraban las viviendas habitadas y construidas en la margen derecha de la quebrada existente. En el plano 1, se muestra la localización precisa de los extensometros instalados y compuestos de cuatro varillas de acero firmemente enterradas en el terreno a lado y lado de las grietas, cuyas distancias entre si fueron monitoreadas semanalmente en forma directa y con apoyo de la comunidad. Los registros de lectura se observan en el anexo al presente informe.

2.4.2 Monitoreo de viviendas y caracterización

Para cumplir con el alcance y los objetivos del estudio, se seleccionaron de común acuerdo con la DPAE y el interventor, las 40 viviendas aledañas al deslizamiento que se vio necesario monitorear y que incluían entre otros, la Escuela Popular Infantil, la Asociación Pro defensa del Niño y el Salón Comunal. La localización e identificación de cada construcción, se tomó del plano elaborado por la firma Moya y García Ltda.

Para el análisis de cada vivienda seleccionada e indicada en el plano 1, se adoptaron los criterios de evaluación para amenaza y riesgo consignados en el documento “Criterios para evacuación de viviendas en zonas de alto riesgo de deslizamiento” elaborado por la Universidad de los Andes y suministrado por La Dirección de Prevención y Atención de Emergencias - DPAE.

Las construcciones realizadas en los barrios Cerro Norte y Villa Nidia tienen más de quince años y las 40 viviendas seleccionadas para el monitoreo estructural, se encuentran ubicadas en sectores aledaños al deslizamiento, en sitios de pendiente fuerte y presentan de uno a tres pisos; pertenecen al grupo de uso I, a excepción de la Escuela Popular Infantil, la Asociación Pro defensa del Niño y el Salón Comunal, que se encuentran dentro del grupo de uso II. En algunos casos los dueños aprovecharon la topografía del terreno para construir la parte inferior como semisótano o para darle entrada a la vivienda por el primero o segundo piso.

Las viviendas fueron construidas por la comunidad con ayuda de maestros u oficiales y no tuvieron en cuenta criterios de personal profesional en arquitectura o ingeniería, por lo cual en el sector no se encuentra uniformidad en las construcciones y se presentan deficiencias por procesos constructivos inadecuados, materiales de regular calidad y diseños estructurales deficientes. Lo anterior, conlleva al agrietamiento de muros, cimentaciones y placas por causas diferentes a los efectos producidos por el deslizamiento. Es probable que varias de ellas no tengan un suficiente factor de seguridad y no resistan las combinaciones de carga de diseño, de acuerdo con las normas estructurales actuales en especial las construcciones que pertenecen al grupo de uso II. Cada construcción ha sido realizada en forma independiente y sin la intervención de especialistas, que garanticen la estabilidad estructural y del suelo.

El sector cuenta con infraestructura de servicios públicos y las viviendas monitoreadas cuentan con sus redes de acueducto, alcantarillado y luz. El índice de ocupación varia entre 3 y 12 personas por construcción y en la Escuela Pro defensa del niño Villa Nidia, estudian unos 230 alumnos.

En las visitas efectuadas a cada construcción durante el monitoreo realizado, se observo el comportamiento de la edificación y terreno, diligenciando para cada una de ellas fichas técnicas con descripción de la ubicación de la vivienda respecto al deslizamiento, evidencia de movimientos globales del terreno, agrietamiento del suelo en los alrededores, agrietamiento de cimentaciones, agrietamiento y desplome de muros, calidad y estado de la edificación, placas, cubiertas y observaciones adicionales.

3. TRABAJOS DE CAMPO

3.1 Instalación de puntos de control

Con base en el diagnostico inicial realizado al deslizamiento y los objetivos del proyecto, al comienzo de los trabajos se propuso el sistema de monitoreo y se seleccionaron los sitios donde serían instalados los puntos de control compuestos por mojones de concreto con varilla de acero y placa de identificación, extensómetros en varilla y puntos con pintura indeleble colocados en los sitios aledaños al deslizamiento (zonas duras), los cuales se indican en el plano No.1 que se anexa al presente informe.

La instrumentación que se propuso utilizar como control topográfico, se localizo de manera que permitiera monitorear el movimiento del bloque principal y los varios sub bloques en que el mismo se encuentra fracturado. Como se mencionó en los informes anteriores, se localizaron tres grupos de mojones sobre la masa inestable, uno a cada costado y uno en el centro. Se analizo su localización de manera que hubiera mojones en cada uno de los sub bloques para medir sus tendencias, tasas de movimiento y movimiento relativo. Sobre el deslizamiento principal, se estudiaron líneas de tres o cuatro mojones en sentido perpendicular al borde para evaluar el desarrollo del movimiento translacional.

La colocación de los puntos de control incluyó el área de edificaciones de la parte oriental del deslizamiento sobre estructuras, ya que esta zona podría verse afectada como resultado del proceso que ocurre actualmente. Los extensómetros se colocaron en las grietas con sentido oriente-occidente y al costado norte del deslizamiento, como se muestran en el plano No.1 de “Levantamiento planialtimétrico preciso de los puntos de control campaña 5”.

A partir del mes de Septiembre de 2002, se realizaron lecturas de los extensómetros colocados, realizando medidas, cada dos días, con metro y utilizando personal contratado en la zona. En el presente informe se incluyen los registros de lectura de cada uno de los extensómetros, donde se aprecian los desplazamientos en el periodo de tiempo comprendido entre el 13 de Septiembre de 2002 y el 10 de Enero de 2003. Durante el periodo y por acción del movimiento y desprendimiento de la zona norte del deslizamiento, se destruyeron los extensómetros No. 1 y 3. De otra parte y por acción de personas, desaparecieron algunas placas de bronce colocadas en los mojones de concreto, debiendo continuar la lectura sobre las varillas embebidas en estos puntos de control.

Los puntos de control en las zonas duras del sector en estudio, se materializaron mediante pintura de aceite para garantizar su permanencia durante todo el proceso de monitoreo, en zonas de concreto y en los sitios de acceso a las viviendas aledañas objeto de control. La asignación de coordenadas base de precisión a estos puntos, permitieron establecer el comportamiento planialtimetrico que se realizó en cada una de las campañas topográficas de precisión.

En el plano No. 1 “Levantamiento planialtimétrico preciso de los puntos de control campaña 5” escala 1:1.000 del 15 de Enero de 2003, se presenta la instrumentación colocada con la dirección y magnitud de los vectores de desplazamiento resultantes de comparar los resultados de coordenadas amarradas al sistema oficial del Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC y obtenidas en el periodo comprendido entre el mes de Septiembre y finales de Diciembre de 2002.

3.2 Amarre Topográfico y levantamiento

Los valores de coordenadas y cotas de referencia para el levantamiento topográfico y campañas de monitoreo realizadas, fueron amarradas al sistema oficial del IGAC de acuerdo con lo siguiente:

CD 325 A

Norte: 116 669.146 metros
Este: 106 098.801 metros
Altitud: 2 584.905 metros sobre el nivel del mar

AZIMUT PLANO a CD 324-A :

Azimut: 273 54’27.875”
Distancia: 423.65 metros

Estos puntos del sistema oficial de coordenadas del IGAC, se encuentran localizados en la avenida séptima a la altura de la calle 170.

Con el fin de tener total confiabilidad en la estabilidad de los puntos colocados como referencia para cada campaña de levantamiento y a partir de las placas CD 325 A y CD 324, se realizaron mediciones planimétricas conformando tres (3) figuras geométricas cerradas o triángulos, cada uno con vértice en el mojón principal de armada M-3, localizado en el cerro aledaño a la escuela infantil y por fuera del área en movimiento.

En cada una de las campañas realizadas, se obtuvieron precisiones de cierre de poligonales superiores a 1:100.000 y se calcularon los datos de cada estación base para la determinación de coordenadas de cada punto de control. A partir del BM instalado como referencia de nivelación, se realizaron las redes de nivelación geométrica y contranivelación principal hasta el mojón denominado A8 que se muestra en el plano de “Levantamiento planialtimétrico preciso de los puntos de control campaña 5”. El error de cierre en cota al realizar los circuitos de nivelación y contranivelación en cada una de las campañas adelantadas, fue de máximo dos milímetros y se

realizaron tres lecturas a la mira milimétrica en cada estación y con distancias inferiores a 80 metros. Se adjunta la cartera de nivelación topográfica de la ultima campaña.

Con base en las coordenadas determinadas para las referencias de control topográfico, se adelantó en cada campaña el levantamiento planimétrico de los puntos de control instalados, mediante el sistema de radiación. Para esta actividad se tuvo la mayor precaución en la toma de información de campo (ángulos y distancias), con el fin de asignar los valores planimétricos para ser comparados con los determinados en la campaña inicial de monitoreo. Se utilizó cartera electrónica externa a la Estación Total marca Leica, con el programa de calculo topográfico TDS.

3.3 Levantamiento Altimétrico y Planimétrico de Cada Punto

Como ya se mencionó, a partir de los datos de cota (m.s.n.m) determinada para el BM 2, se realizó una poligonal o circuito central de nivelación y su respectiva contranivelación por el centro del deslizamiento, para adelantar posteriormente la determinación de cotas de precisión de cada punto de control instalado; el cierre logrado en los circuitos fue siempre inferior a 2 milímetros. A continuación y partiendo de los cambios del circuito, se niveló cada uno de los puntos de control establecidos y colocados en el terreno, laderas y manzanas residenciales. En esta forma se asignaron cotas de precisión milimétrica a cada punto, que sirvieron de base para comparar con la cota de la campaña inicial de asignación de coordenadas base.

Con base en las coordenadas determinadas para las referencias de control topográfico, se adelantó en cada campaña el levantamiento planimétrico de los puntos de control instalados, mediante el sistema de radiación, como se indicó en las carteras topográficas de campo de cada informe mensual. Para esta actividad se tuvo la mayor precaución en la toma de información de campo (ángulos y distancias), con el fin de asignar los valores planimétricos para ser comparados con los determinados en la campaña inicial de monitoreo.

3.4 Cálculos y Registro Gráfico

Para verificar la confiabilidad de la información recolectada en campo durante cada campaña, se procedió diariamente a calcular la precisión de los levantamientos planialtimetricos realizados y preparar la presentación de resultados (coordenadas Norte - Este y Cota) en forma gráfica, para permitir comparar los movimientos de cada punto con respecto a la primera campaña. Para este fin, se utilizó el software de topografía Tripod Data Systems (TDS), cuyos archivos se presentan anexos al presente informe, al igual que los resultados gráficos de cada punto.

Con el fin de tener una completa información sobre la localización de los puntos de control y su desplazamiento en el período, se elaboró en Autocad el Plano “Levantamiento planialtimétrico preciso de los puntos de control campaña 5” escala 1:1.000 de fecha 15 de Enero de 2003, que se adjunta.

4. MONITOREO DE VIVIENDAS

El monitoreo y seguimiento a las viviendas de los barrios Cerro Norte y Villa Nidia seleccionadas conjuntamente con la DPAE, se realizó entre los meses de Septiembre de 2002 y Enero de 2003 y tuvo en cuenta lo siguiente:

4.1 Metodología utilizada en el monitoreo

A continuación, se indica el procedimiento adoptado para la calificación global de riesgo de las viviendas seleccionadas para el seguimiento por el deslizamiento de los barrios Villa Nidia y Cerro Norte:

4.1.1 Control de daños

Para efectos del control de daños estructurales, se establecieron cuatro grupos de amenaza así:

- **Amenaza por deslizamientos en el talud:** Corresponde a la amenaza que tiene cada vivienda de sufrir daños directamente por encontrarse dentro del área de suelo que se está desplazando.

- **Amenaza por colapso de la vivienda:** Corresponde a la amenaza de colapso de la vivienda por efecto de los daños causados a la estructura como consecuencia del deslizamiento del terreno.

- **Amenaza por efecto en cadena:** Corresponde a la afectación que pueda tener una vivienda como consecuencia de los daños y fallas en la vivienda vecina.

- **Amenaza por caída de bloques:** Corresponde a la afectación que puede ocasionar el deslizamiento por desprendimiento y caída de bloques sobre las construcciones aledañas.

El seguimiento se realizó a las cuarenta (40) viviendas más cercanas al deslizamiento, que podrían llegar a sufrir daños por efecto del movimiento del terreno donde están cimentadas o por la caída de bloques desde el talud. Algunas de las viviendas ya habían sufrido daños por el deslizamiento, antes de la primera campaña de monitoreo y fueron evacuadas por la DPAE.

Se estableció un programa de monitoreo a cada una de las viviendas seleccionadas y un recorrido a todo el sector con el fin de observar la evolución de los daños, para establecer la relación entre el fenómeno de deslizamiento y el daño a las viviendas del sector, para realizar una evaluación y un mapa de riesgo.

En la primera visita se encontró que las viviendas que fueron afectadas hasta el colapso ya habían sido evacuadas por la DPAE y no se encontraban habitadas. Para la realización del programa de monitoreo y evaluación de las viviendas, se tuvieron en cuenta los parámetros consignados en el documento “Criterios para Evacuación de Viviendas en zonas de Alto Riesgo de Deslizamiento, Universidad de los andes”, lo indicado por la DPAE, las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistentes y las observaciones de campo.

4.1.2 Calificación de la amenaza según la ubicación y efectos en el terreno

Se estableció la calificación como baja, intermedia, alta o crítica, así:

4.1.2.1 Calificación baja: Corresponde a viviendas que se encuentran a una distancia considerable (mas de 50 m) de la zona de alto riesgo, con efectos en el terreno de pequeñas deformaciones, desniveles y/o depresiones en el suelo, las cuales pueden visualizarse en postes, muros divisorios y otros elementos.

4.1.2.2 Calificación intermedia: Corresponde a viviendas que se encuentran ubicadas a corta distancia (menos de 50 m) de la zona de alto riesgo, donde los efectos en el terreno son deformaciones, desniveles y/o depresiones intermedias, con posible presencia de grietas en el suelo con ancho considerable (más de 4 mm); levantamientos en el terreno, en las aceras o en los muros

de lindero, los cuales no son ocasionados por raíces de árboles; las puertas y ventanas se traban o se descuadran con dificultades para abrir o cerrar; se puede presentar terreno con topografía original escalonada que puede ser indicio de un movimiento lento pero continuo.

4.1.2.3 Calificación alta: Corresponde a viviendas que se encuentran ubicadas muy cerca o dentro de la zona de alto riesgo. El efecto del terreno se puede observar con taludes verticales o con pendientes abruptas cercanas a la vivienda; se presentan escarpes o escalones naturales que muestran suelo fresco o escarpes viejos que pueden estar cubiertos por vegetación; se observan muros, medidores de agua o gas, postes, o cualquier otro elemento que no esté aplomado o alineado en su forma normal. Árboles inclinados en diferentes direcciones, pueden ser indicio de deslizamiento de reptación superficial; desprendimiento de materiales de corte y rellenos.

4.1.2.4 Calificación crítica: Corresponde a viviendas localizadas dentro del escarpe o sobre agrietamientos considerables del terreno. Causa efectos grandes que generan fisuras que a su vez producen desprendimiento de material; inestabilidad de muros y cubiertas de la edificación; peligro inminente de colapso.

4.1.3 Calificación global del riesgo

Para la calificación global del riesgo, se tuvieron en cuenta el estado global del terreno y la estabilidad global de la edificación.

4.1.3.1 Estabilidad Global del Terreno

La estabilidad global del terreno se evaluó a partir de los siguientes aspectos:

- Movimiento global del terreno. Baja = 1 (Leves levantamientos del terreno; desprendimiento de la cobertura vegetal; fisuras leves entre el terreno y la cimentación de la vivienda). Intermedia = 2 (Se presentan ondulaciones orientadas en una dirección; la presencia de árboles o postes inclinados puede ser indicio de deslizamiento del suelo. Grietas en forma de medialuna aproximadamente paralelas al talud). Alta = 3 (grandes desplazamientos tanto horizontales como verticales en una dirección definida).

- Agrietamiento del suelo en los alrededores. Baja = 1 (Pequeñas fisuras aisladas). Intermedia = 2 (Grietas mayores a 6 mm alrededor de la cimentación de la vivienda).Alta =3 (Grietas mayores a 12 mm que afectan la estabilidad de la cimentación).

- Agrietamiento de la cimentación. Baja = 1 (Fisuras leves en los elementos estructurales de la cimentación y/o muros de contención). Intermedia = 2 (Grietas de ancho mayor o igual a 6 mm en los elementos estructurales de la cimentación y/o muros de contención). Alta = 3 (Grietas de ancho mayor o igual a 13 mm en los elementos estructurales de la cimentación y/o muros de contención).

- Agrietamiento de muros. Baja = 1(Pequeñas grietas tanto en las unidades de mampostería como en el mortero). Intermedia = 2 (Grietas de ancho mayor o igual a 6 mm en las unidades de mampostería y en los elementos de confinamiento tales como vigas y columnas). Alta = 3 (Grietas de ancho mayor o igual a 13 mm. Desprendimiento en las unidades de mampostería. Grandes desplazamientos en el muro con tendencia al volcamiento).

Los resultados de la estabilidad global del terreno se suman para obtener un promedio ponderado. Al respecto los factores de ponderación son los que se muestran en la tabla 4.1

TABLA 4.1
ESTABILIDAD GLOBAL DEL TERRENO

	Calificación de componentes	Factor de ponderación relativa	Estabilidad global del terreno ponderada
Movimiento global del terreno		0.25	
Agrietamiento del suelo		0.25	
Agrietamiento de la cimentación		0.25	
Agrietamiento de muros		0.25	
ESTABILIDAD GLOBAL DEL TERRENO			

4.1.3.2. Estabilidad Global de la Edificación

La estabilidad global de la edificación se evaluó en los siguientes aspectos:

- Calidad y estado de la edificación. Baja = 1(La vivienda tiene materiales de buena calidad en ladrillos, mortero, concreto reforzado. La vivienda tiene vigas de amarre en la cimentación, columnas de confinamiento, muros, vigas de amarre a nivel de placa de piso y cubierta. Buena calidad de la construcción. Intermedia = 2 (la vivienda tiene materiales de mediana calidad en ladrillos, morteros, concreto reforzado. La vivienda no presenta alguno de los siguientes componentes: vigas de amarre en la cimentación, columnas de confinamiento, muros, vigas de amarre a nivel de placa de piso y cubierta. Calidad mediana de la construcción. Mala = 3 (la vivienda tiene materiales de muy mala calidad en ladrillos, morteros, concreto reforzado. La vivienda no tiene vigas de amarre en la cimentación, columnas de confinamiento, muros, vigas de amarre a nivel de placa de piso y cubierta. Mala calidad de la construcción.

- Inestabilidad de muros. Baja = 1 (pequeñas fisuras en las juntas de pega de las unidades de mampostería). Intermedia = 2 (Grietas importantes en los elementos de confinamiento del muro. Desplazamientos claramente definidos entre las piezas que conforman el muro). Alta = 3 (Grietas generalizadas. Curvaturas inclinadas excesivas que conllevan a la caída inminente del muro).

- Inestabilidad de placas y cubiertas. Baja = 1 (Pequeñas fisuras en los elementos estructurales donde apoyan las placas y/o cubiertas de la edificación). Intermedia = 2 (Fisuras en las uniones de placa y columnas. Grietas y/o curvaturas dentro de la placa). Alta = 3 (Pérdida del recubrimiento de la placa que deja al descubierto el acero de refuerzo. Curvatura de la cubierta por movimiento de los apoyos).

Los resultados de la estabilidad global de la edificación se suman para obtener un promedio ponderado. Al respecto los factores de ponderación se muestran en la tabla 4.2.

TABLA 4.2
ESTABILIDAD GLOBAL DE LA EDIFICACION

	Calificación de componentes	Factores de ponderación relativa	Estabilidad global de la edificación ponderada.
Calidad y estado de la edificación		0.15	
Inestabilidad de muros		0.65	
Inestabilidad de placas y cubiertas		0.20	
ESTABILIDAD GLOBAL DE LA EDIFICACIÓN			

Para la calificación global del riesgo se promedian los resultados de la calificación global del terreno y la estabilidad global de la edificación como se observa en la tabla 4.3.

TABLA 4.3
CALIFICACION GLOBAL DEL RIESGO

	Calificación de componentes	Factores de ponderación relativa	Riesgo ponderado
Estabilidad global del terreno		0.5	
Estabilidad global de la edificación		0.5	
CALIFICACION GLOBAL DEL RIESGO			

4.1.3.3 Resultados, Descripción y Recomendaciones

El valor obtenido de la calificación global del riesgo se ubica dentro de los rangos de la tabla 4.4 para conocer las recomendaciones del caso.

TABLA 4.4
CALIFICACION, DESCRIPCION Y RECOMENDACIONES

Calificación global del riesgo		Descripción	Recomendación
Bajo	< 1.5	La vivienda presenta indicios de posibles problemas. No hay riesgo de colapso total o parcial.	Mantener observación y calificación mensual del riesgo
Intermedio	1.5 a 2.0	La vivienda presenta grietas y hay indicio de inestabilidades. Eventual riesgo de colapsos parciales	Mantener observación y calificación semanal del riesgo. Realizar reparaciones y obras de protección.
Alto	2.0 a 2.5	La vivienda presenta grietas	Evacuación preventiva
Crítico	> 2.5	La vivienda se encuentra en peligro inminente de colapso. Riesgo a la pérdida de vida de los componentes.	Evacuación inmediata.

4.2 Observaciones De Campo

4.2.1 Descripción de las viviendas:

Las viviendas fueron construidas por la comunidad, donde cada habitante adquirió el lote y lo construyó o contrató maestros y oficiales de construcción, por lo cual la construcción no obedece a criterios de personal profesional en arquitectura e ingeniería, sino al criterio de cada dueño de vivienda con la asesoría e intervención de oficiales de construcción. Esto implica que en el sector no se encuentra una uniformidad en las construcciones y se presentan deficiencias por procesos constructivos inadecuados, materiales de regular calidad y diseños estructurales deficientes, lo que conlleva al agrietamiento de muros y placas por causas diferentes a los efectos producidos por el deslizamiento.

Estas construcciones en general pueden soportar las cargas vivas y muertas que actualmente soportan; sin embargo, es probable que varias de ellas no tengan un suficiente factor de seguridad y no resistan las combinaciones de carga de diseño de acuerdo con las normas actuales (especialmente las construcciones que pertenecen al grupo de uso II).

La resistencia que pueden ofrecer las viviendas ante el fenómeno de deslizamiento es variada, presentándose con facilidad cambios más notables en las viviendas de construcción deficiente, principalmente por falta de confinamiento. Las casas con columnas y vigas en concreto reforzado pueden soportar mejor el efecto, presentando deformaciones apreciables y grietas antes del colapso total; en cambio las viviendas que no tienen confinamiento alguno, presentan averías en los muros que fácilmente producen su colapso y son menos resistentes al golpe de rocas caídas desde el talud.

El sector fue construido desde hace más de 15 años y hacia el sur del área se han realizado cortes de la montaña para la explotación de materiales de cantera; se han producido deslizamientos en el terreno, por lo cual fue necesaria la evacuación y demolición de viviendas en este sector; hacia la parte baja del talud, se presenta riesgo no solo por hundimiento del terreno, sino también por la caída de bloques desprendidos desde el talud.

4.2.2 Estado de las viviendas en la primera visita de campo

La zona agrietada se encontró delimitada por el escarpe en la parte alta y por grandes grietas en la zona media del deslizamiento (Ver figura 4.1). Se encontró que los problemas a las construcciones, depende de la zona donde se encuentran, así, hay problema de posibles desplazamientos del suelo que generarían grietas en las viviendas de la zona alta y problemas de caída de bloques y materiales de demolición sobre las viviendas de la zona media y baja del terreno.

Las viviendas que sufrieron daños irreparables, se encontraban ubicadas en la corona del talud que se está deslizando, donde se produjo un escarpe y terraceo del terreno como consecuencia del fenómeno en cuestión. Las viviendas que se encontraban en ese sitio ya estaban evacuadas. No se observó la necesidad de evacuar más viviendas en el momento, pues, aunque otras casas estaban averiadas, éstas no revestían peligro inminente de colapso; se decidió hacer visitas mensuales para evaluar el comportamiento de las casas a lo largo del tiempo, como consecuencia del deslizamiento.

En la visita a cada vivienda se encontró lo siguiente (Ver figura 4.1):

- Daños menores como consecuencia del deslizamiento en las viviendas Nos. 40, 45, 5, 100, 101, 13, 20 y 14, reflejados en grietas en los muros.
- Daños severos generados por el deslizamiento en la viviendas 18, en donde se hallaron grietas en los muros y la falla de una columna en el primer piso.
- Daños irreparables en las viviendas que se encontraban dentro de la zona agrietada. (estas viviendas ya habían sido evacuadas). Dentro del listado de casas por monitorear, se incluyó la casa No 26, que fue atravesada por las grietas.

Las demás viviendas se encontraban en buen estado o agrietadas como consecuencia de efectos diferentes al deslizamiento (Diseños deficientes, problemas constructivos, materiales de mala calidad)

De acuerdo con las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistente, de las cuarenta construcciones estudiadas, 36 se clasifican dentro del tipo de uso I y 4 dentro del grupo de uso II. Entre las construcciones de tipo de uso II se encuentran las tres que albergan a 200 niños durante el día. Estas construcciones no cumplen con las exigencias de la Norma Sismorresistente.

4.3 Condición estructural

A continuación se presentan los resultados de la ultima visita de campo realizada a mediados del mes de Enero de 2003 y posteriormente, un resumen de la situación observada en las construcciones durante los cinco meses de observación:

En las viviendas Nos. 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47 y 49 (Parte alta) ubicadas por encima de la zona agrietada, no se han producido cambios y la situación estructural continuo siendo la misma observada desde la primera visita.

En la vivienda No. 5 se realiza el seguimiento a 7 grietas, de las cuales dos aumentaron su abertura en un (1) mm aproximadamente. La construcción tiene problemas por deficiencias constructivas y materiales deficientes y empieza a evidenciar que sigue siendo afectada por el deslizamiento, a pesar que en las anteriores visitas no se observaron cambios. Se observa que de continuar el deslizamiento y movimiento del terreno aledaño, la vivienda podría fallar.

Las viviendas Nos. 19, 9, 10, 11 y 12 no muestran daños como consecuencia del deslizamiento. Las viviendas Nos. 100, 101 y 13, han sufrido daños que se observan en grietas que sin embargo, no representan riesgo inminente de colapso. La vivienda No. 18 presenta daños estructurales severos que no aumentaron en el último mes de observaciones; esta casa había sido evacuada, pero los habitantes regresaron y se encuentran viviendo cuatro personas.

La vivienda No. 26 fue atravesada por el deslizamiento, pero desde el momento del colapso no siguió sufriendo daños como consecuencia del fenómeno de remoción; La vivienda No 20 está agrietada como consecuencia del deslizamiento, pero no presenta riesgo de colapso.

Las viviendas Nos. 21, 22 y 23 no han sufrido problemas por el deslizamiento, pero a partir de esta zona hacia abajo, se presenta el riesgo de caída de material desprendido desde el talud.

De la vivienda No. 21 hacia abajo en sentido de la pendiente, el sector continua presentando riesgo por desprendimiento de bloques y caída de materiales de demolición.

Las viviendas Nos. 18, 17, 16, 102, 15 y 14 no han sufrido daños como consecuencia del deslizamiento, con excepción de dos grietas que aparecieron en la vivienda No 14, cuando se produjo el movimiento grande del terreno, pero que no han evolucionado desde entonces.

Las viviendas Nos. 44, 43, 42, 41 y 27 no se han visto afectadas por el deslizamiento y no se apreció cambio alguno en la visita; sin embargo, sigue presentando riesgo por caída de bloques desde el flanco norte del deslizamiento.

La vivienda 28 presenta problemas estructurales por deficiencias en la construcción, que nada tienen que ver con el deslizamiento. Sin embargo, esta vivienda fue evacuada por estar expuesta a la caída de bloques desde el talud. El riesgo por este concepto se mantiene.

Las construcciones Nos. 32, 33, 34, y 33 adj., no se han visto afectadas por el deslizamiento. Al igual que en las anteriores visitas no se observó ningún cambio en las estructuras. La construcción No 32 corresponde al salón comunal del barrio Villa Nidia, que presenta algunas grietas que no revisten peligro; las construcciones No 33, 34 y 33 adj son edificaciones adaptadas para albergar a 200 niños de escasos recursos con el apoyo del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar; estas edificaciones presentan deficiencias en la construcción, con diseños inadecuados y con materiales y procesos constructivos deficientes, lo que ha conllevado a la aparición de grietas por motivos diferentes al deslizamiento.

4.3.1 Amenaza por deslizamientos en el talud

En la ultima visita, se observaron cambios leves en la vivienda No 5, consistentes en el aumento de la abertura de dos grietas en aproximadamente 1 mm. Esta vivienda presenta deficiencias constructivas y se encuentra muy cerca del escarpe del deslizamiento. Las condiciones de la vivienda para resistir cualquier tipo de fenómeno son precarias y es muy sensible a cualquier cambio, debido a los defectos de su construcción. Ante la continuación del movimiento del sector, se

observaran efectos en la construcción y por lo tanto, sería recomendable la evacuación preventiva de sus habitantes.

En términos generales se han observado los efectos del deslizamiento sobre las estructuras en la parte alta de la zona, de la vivienda No. 20 hacia arriba, pero los cambios observados en la ultima visita son mínimos.

4.3.2 Amenaza por colapso de la vivienda

La situación del mes de Enero de 2003 es la misma que la observada en la primera campaña. La única casa que mostró aumento en la abertura de sus grietas, fue la No 5, que origino el aumento de la calificación de riesgo de la vivienda. Las demás viviendas siguen conservando la misma calificación calculada en los anteriores informes y los resultados finales, se presentan en la Tabla Resumen que se adjunta y donde se hace una clasificación global del riesgo por vivienda.

4.4 Control de daños

En la ultima campaña realizada, se visitaron las viviendas seleccionadas y se hicieron observaciones sobre si aparecieron nuevas grietas o aumentaron en longitud y abertura las observadas en la primera visita. Los resultados son favorables, debido a que no se han seguido causando daño a las estructuras de las construcciones. Las observaciones sobre cada una de las viviendas, se consignan en los formatos de campo que se adjuntan.

La vivienda No. 5 presentó cambios evidenciados en una mayor lectura en dos de las grietas existentes, aunque en menos de 1 mm, que indican una leve alteración en la estructura de la vivienda. Esta casa tiene una construcción precaria, consta de un solo piso con muros de mampostería sin confinar, con cubierta en teja y concreto reforzado. Aunque los cambios observados son muy leves, son importantes debido a que la vivienda tiene una construcción muy deficiente, antigua y se encuentra muy cerca del escarpe.

4.5 Resultados del Monitoreo

4.5.1 Amenaza por deslizamientos en el talud

Las casas que han presentado grietas como consecuencia del deslizamiento, son las Nos. 40, 45, 5, 18, 13, 101, 100, 26, 20 y 14. (ver figura 4.1). Esto manifiesta problemas en la zona alta y media del deslizamiento, principalmente para las viviendas que se encuentran cerca del escarpe o a una cota superior. (Nos. 20, 26, 13, 100, 101, 18, 5, 49, 47, 46, 45, 44, 43, 42, 41 y 45).

La estabilidad de estas viviendas depende directamente de la estabilidad del suelo y de la solución que se adopte por parte de la DPAE.

4.5.2 Amenaza por colapso de la vivienda

Los cambios observados durante los cinco meses de evaluación en las viviendas son mínimos y únicamente en la vivienda No 5, se incrementaron dos grietas en aproximadamente un (1) mm. La situación actual es la misma que la observada desde la primera campaña. Esto se explica así:

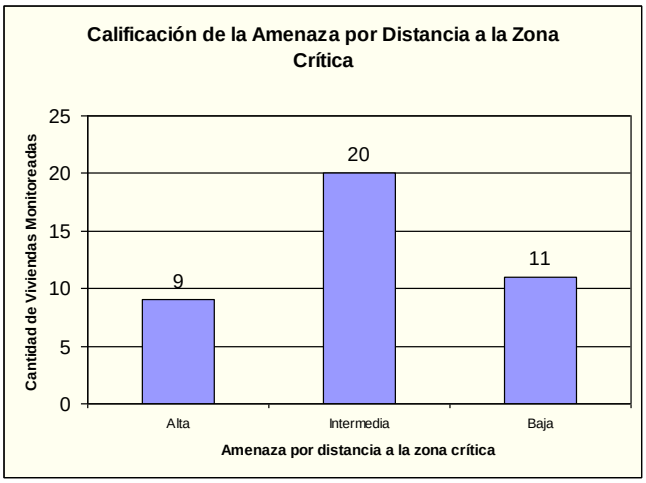
- El deslizamiento no ha sido retrogresivo.
- No se presentan nuevas grietas en el suelo aledaño a las casas.

- En las viviendas no se presentan nuevas grietas.
- Las grietas observadas en las viviendas no han aumentado en cantidad, longitud ni abertura, (a excepción de la vivienda No 5).
- No se han reformado las viviendas, de manera que las condiciones de las estructuras tampoco han variado.
- No hay observaciones adicionales.

Los resultados obtenidos por este concepto se presentan en la Tabla resumen que se adjunta y donde se hace una clasificación global del riesgo por vivienda.

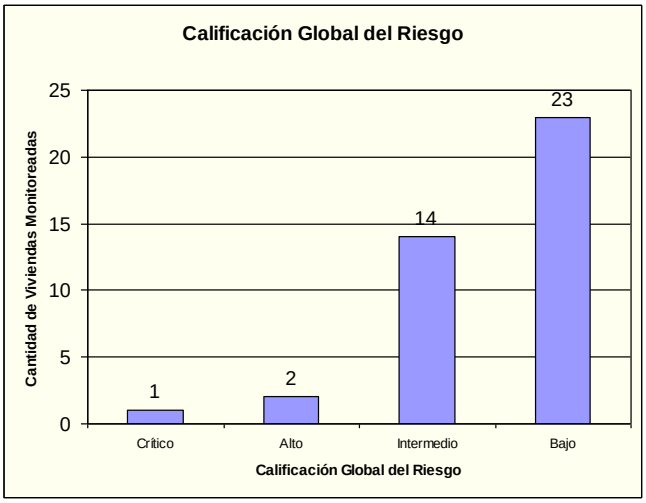
En la Gráfica 4.1 se observa la calificación de la amenaza por distancia a la zona crítica (obtenida de la tabla resumen). De las viviendas monitoreadas, nueve (9) se encuentran muy cerca de la zona crítica, por lo cual su calificación es alta; veinte (20) tienen calificación intermedia y once (11) calificación baja.

Gráfica 4.1



En la Gráfica 4.2 se observa la calificación global del riesgo, obtenida de la tabla resumen. De las cuarenta viviendas monitoreadas, una (1) está en estado crítico, dos (2) se encuentran en estado de alto riesgo, catorce (14) en estado intermedio y veintitrés (23) presentan un riesgo bajo por su calificación global del riesgo.

Gráfica 4.2



4.5.3 Amenaza por efecto en cadena:

En este estudio se puso especial atención al riesgo que puedan presentar las viviendas como consecuencia de la falla producida en las casas vecinas, lo cual se explica por las construcciones seguidas en la ladera y la falla súbita de una de éstas, puede conllevar la caída de los materiales sobre la vivienda vecina y/o al cambio en las condiciones del terreno de fundación, que pueden poner en peligro la estabilidad de la estructura y la vida de los habitantes.

Durante los cinco meses de observación, no se detectaron cambios en el terreno que pongan en peligro de colapso a una de las viviendas estudiadas, de esta manera no es evidente el riesgo de falla en cadena de las viviendas como consecuencia del deslizamiento.

4.5.4. Amenaza por caída de bloques:

La caída de materiales desprendidos desde el talud del costado norte, ha sido constante durante los cinco meses de observación y el peligro por caída de estos materiales pone en riesgo las construcciones Nos. 21, 22, 23, 18, 17, 16, 102, 15, 14, 44, 43, 42, 41, 27, 28, 32, 33, 33 adj y 34 (ver figura 4.2). La situación en general es la misma que la registrada desde la primera campaña, es decir en la parte baja de la zona en estudio y hacia el norte, se encuentra una gran cantidad de viviendas que, aunque están por fuera de la zona en movimiento, pueden llegar a ser alcanzadas por materiales desprendidos del talud.

4.5.5 Mapa de riesgo a las viviendas monitoreadas

Después de las observaciones de campo y teniendo en cuenta los diferentes aspectos de evaluación expuestos en este informe, se sintetiza en la figura 4.3 la situación de las viviendas producto del riesgo por los efectos observados en el suelo, en la construcción y la ubicación de las viviendas con respecto al fenómeno.

En la tabla 4.5 se resume la calificación general del riesgo, y en la Gráfica 4.3 se observa la situación de las viviendas monitoreadas en este trabajo.

Gráfica 4.3

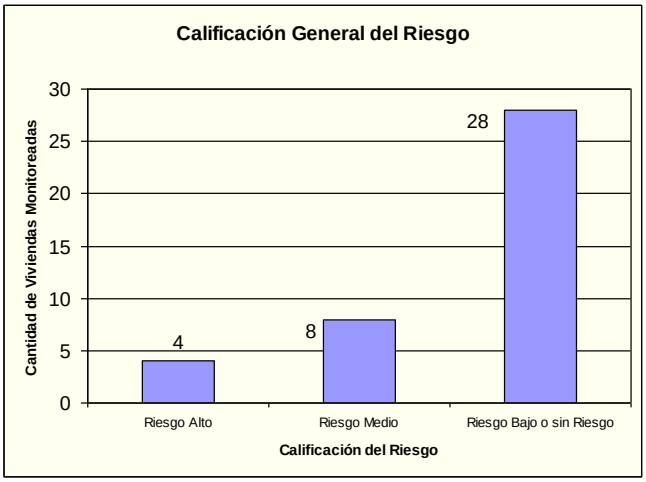


TABLA 4.5
CALIFICACION DEL RIESGO

Casa	Zona	Riesgo	Observaciones
No	Ubicación		
40	Alta	Medio	Presenta grietas como consecuencia del deslizamiento
41	Alta	Bajo	
42	Alta	Bajo	
43	Alta	Bajo	
44	Alta	Bajo	
45	Alta	Medio	Presenta grietas como consecuencia del deslizamiento, construcción deficiente y antigua.
46	Alta	Bajo	
47	Alta	Bajo	
49	Alta	Medio	Presenta grietas, construcción deficiente, ubicada cerca de la zona crítica.
5	Alta	Alto	Presenta grietas, construcción deficiente, ubicada cerca de la zona crítica.
18	Alta	Alto	Presenta grietas. falló una columna. Ubicada muy cerca de la zona crítica.
10	Alta	Bajo	
13	Alta	Medio	Presenta grietas. Ubicada muy cerca del escarpe.
101	Alta	Medio	Presenta grietas. Ubicada muy cerca del escarpe.
100	Alta	Medio	Presenta grietas. Ubicada muy cerca del escarpe.
12	Alta	Bajo	
9	Alta	Bajo	
10	Alta	Bajo	

11	Alta	Bajo	
26	Alta	Alto	Ubicada sobre la zona crítica.
20	Alta	Medio	Presenta grietas, ubicada cerca de la zona crítica.
21	Alta	Medio	Construcción deficiente, ubicada muy cerca del escarpe.
22	Alta	Bajo	
23	Alta	Bajo	
18	Media	Bajo	
17	Media	Bajo	
16	Media	Bajo	
102	Media	Bajo	
15	Media	Bajo	
14	Media	Bajo	
44	Media	Bajo	
43	Media	Bajo	
42	Media	Bajo	
41	Media	Bajo	
27	Media	Bajo	
28	Media	Medio	Presenta grietas. Ubicada muy cerca del escarpe.
32	Baja	Bajo	
33	Baja	Bajo	Presenta grietas. Ubicada lejos del escarpe. Deficiencias en la construcción.
33 adj	Baja	Bajo	Presenta grietas. Ubicada lejos del escarpe. Deficiencias en la construcción.
34	Baja	Bajo	Ubicada en lejos del escarpe. Deficiencias en la construcción.

De las cuarenta viviendas monitoreadas, cuatro (4) están en alto riesgo (26, 18, 5 y 28). Las viviendas Nos. 26 y 28 están evacuadas: La vivienda No. 18 había sido evacuada, pero los habitantes regresaron a ocuparla y la No. 5 está siendo habitada.

De las viviendas observadas, ocho (8) se clasifican como en riesgo medio debido a los daños que han mostrado y/o a la cercanía de la zona agrietada. Estas casas son las Nos. 40, 45, 49, 13, 101, 100, 20 y 21 hacia abajo.

4.6 Comentarios y recomendaciones al monitoreo de viviendas

De acuerdo con lo registrado en las diferentes visitas que se realizaron, se observa lo siguiente:

- El fenómeno de movimiento del terreno aledaño a las viviendas, ha continuado presentándose.
- El daño causado a las viviendas estudiadas en este monitoreo, es una consecuencia directa del deslizamiento ocurrido en el sector y el comportamiento de las estructuras podrá depender de

la evolución del fenómeno. En caso de no garantizarse la estabilidad del suelo sobre el cual se cimentó cada vivienda, conllevaría a la falta de garantía de estabilidad a la estructura.

- En el sector se encuentran construcciones con deficiencias debidas a diseños y procesos constructivos inadecuados y materiales deficientes, que conllevan a un riesgo por conceptos diferentes a los producidos por el deslizamiento; este riesgo es más apreciable para las viviendas que de acuerdo con las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistente, se clasifican dentro del grupo de uso II.

- Es probable que varias construcciones no sean aptas para resistir las solicitaciones que se deben evaluar con las condiciones de carga y sus combinaciones, según las normas colombianas.

- La distancia entre las viviendas y el escarpe sigue siendo la misma: entre la zona crítica y las construcciones, no se han visto cambios importantes en el suelo ni en las viviendas.

- Las viviendas no han sido afectadas por el movimiento del suelo durante los cinco últimos meses, a excepción de la vivienda No 5; esto significa que mientras las casas sigan en el estado actual no representan peligro inminente. No obstante vale la pena aclarar que por deficiencias constructivas, las viviendas del sector no presentan una adecuada estructura y pueden sufrir daños por eventos diferentes al deslizamiento, como puede ser un sismo o una sobrecarga, en especial la vivienda No. 5.

- El peligro por la caída de bloques se sigue presentando y se observa una cantidad de material de demolición en la parte alta de la montaña que se puede rodar y afectar las personas y viviendas que se encuentren en su recorrido. Las viviendas que se encuentran por debajo de la cota 2725 m.s.n.m.(desde la casa 21 hacia abajo), presentan riesgo por caída de materiales desde el flanco norte del deslizamiento. El movimiento del terreno pone en peligro las viviendas de la parte media y de la parte baja de la zona en estudio; en este sentido no solo pueden ser afectadas las construcciones que se están visitando, sino todo el sector. En esta zona las viviendas no presentan evidencia de ser afectadas por el deslizamiento, pero si se produce un alud, pueden verse involucradas una gran cantidad de viviendas de la zona y sus alrededores.

- Si el fenómeno continúa ocurriendo es posible que se afecten las estructuras por desplazamientos horizontales y/o verticales en los casalotes cercanos, motivo por el cual es importante garantizar la estabilidad del sector.

- Por los problemas futuros de estabilidad del suelo en el sector, es recomendable continuar con el seguimiento a las viviendas.

- Se recomienda la evacuación de la vivienda ubicada en la pata del talud que se está deslizando, por el peligro en que se encuentra debido a su ubicación con respecto al suelo que se está moviendo.

- En cuanto a las construcciones que están a cargo de La Fundación Pro Defensa del Niño (Nos. 33, 33 adj y 34): Las instalaciones son de tipo de uso II y albergan a doscientos niños con sus profesores. Estas construcciones han sido realizadas por la comunidad y presentan problemas constructivos, que se observan principalmente en la construcción de tres pisos (No 33). No han sido afectadas por el deslizamiento, pero evidencian problemas que generan riesgo ante un sismo. No cumplen con lo consignado en las Normas Colombianas de Diseño y Construcción

Sismo Resistente. Para dar un concepto mas detallado al respecto, sería necesaria la realización de un estudio particular a las estructuras con el fin de ejecutar los correctivos respectivos. Se recomienda apoyar a la comunidad para mejorar el sistema estructural y los accesos a la escuela.

- Se recomienda mantener la orden de evacuación sobre la vivienda No. 18 por los daños estructurales que ha sufrido y por su proximidad a la zona crítica. Los habitantes de esta construcción ya habían evacuado, pero volvieron a habitarla.

- Se recomienda la evacuación preventiva de la vivienda No. 5 por sus deficiencias en la construcción, los daños sufridos como consecuencia del deslizamiento y por la proximidad a la zona crítica.

- La vivienda No. 45 presenta grietas generadas por el deslizamiento y por deficiencias en la construcción; esta vivienda tiene más de 20 años de haber sido construida y es preferible reconstruirla.
- Se recomienda organizar y ejecutar un procedimiento controlado para tumbar los materiales que generan peligro, con el fin de evitar que sorprendan a la comunidad causando lesiones personales a los transeúntes de la zona o a los habitantes de las viviendas del sector.

- Se recomienda implementar medidas de información a la comunidad del sector para que no sigan ingresando a la zona de alto riesgo. Los habitantes de las viviendas No 14 y 15 ingresan a las casas utilizando el sector agrietado y se ven niños merodeando en el talud.

5. ANALISIS GEOTECNICO

5.1 Interpretación de los registros de movimiento

Una vez realizadas las campañas de monitoreo entre Septiembre y Diciembre de 2002, se tiene información cuantitativa con respecto a los patrones de movimiento y su tasa. Los resultados del monitoreo se presentan de manera gráfica en el Plano No.1 de enero 15 de 2003 y en las figuras 1 a 10.

El plano No.1 muestra la localización de los puntos de control y vectores proporcionales al movimiento que se han presentado. Los vectores indican los patrones de movimiento y su magnitud relativa. Se aprecia que los movimientos del bloque inestable han sido bastante uniformes y del orden de 1.5 a 1.8 m entre Septiembre 7 y Diciembre 26 de 2002, tiempo correspondiente a las cinco campañas de medición realizadas. El movimiento no ha sido a la misma velocidad sino que inicialmente presentaba mayor velocidad la cual había ido disminuyendo hasta la campaña de diciembre donde nuevamente aumento.

El patrón de movimientos que se muestra en el Plano indica que los puntos de la zona central y sur del bloque en movimiento, tienen un movimiento similar en dirección este-noreste, mientras que los puntos de la parte norte del bloque (B3,B4,A3,A4,A5 y A6) presentan un componente de movimiento divergente con respecto al resto del bloque en dirección nor-este. Esta situación muestra que el gran bloque deslizado se está fraccionando. Teniendo en cuenta los resultados del estudio geológico detallado del área reportado por MGL (2002), en el área se determinaron cuatro (4) familias de discontinuidades:

D1: N05E/67SE
D2: N65W/78NE
D3: N28E/81SE
D4: N54W/84SW

De los datos anteriores, la familia de diaclasas D1: N65W/78NE ejerce control estructural sobre el flanco sur de la zona inestable, en donde se aprecian grietas de desgarre y separación de bloques del macizo rocoso a lo largo de dicho plano. La familia D4, con orientación N54W se encuentra paralela al flanco norte de la zona de falla. Si se considera que una de las fracturas de la familia D1 puede estar pasando entre los puntos B4 y B5, delimitando el bloque sur que tiene movimiento uniforme, se habría formado un sub-bloque triangular conformado por los puntos que se están moviendo con componente nor-este. La diferencia de movimiento entre estos dos sub-bloques se debe al arrastre que el bloque sur ejerce sobre el norte.

Con el fin de evaluar esta hipótesis se grafican en las figuras 1, 2 y 3 las tasas de movimiento de los puntos localizados en el sector norte, centro y sur del bloque inestable respectivamente. En estas figuras se aprecia que efectivamente los puntos del sector norte se han movido un poco menos que los del bloque sur, con un patrón mas irregular debido a que presentan un comportamiento divergente como se aprecia claramente al comparar los vectores de los puntos B5, B4 y B3. Los puntos del centro y sur del bloque inestable tienen patrones de movimiento muy parejos.

El efecto de la desagregación del bloque inestable, además de las diferencias de movimiento es que se presenta una disipación de energía por fricción entre los sub-bloques, que es una de las causas de la desaceleración que se venía presentando en la masa inestable hasta diciembre. Esto tiene como efecto también el agrietamiento del bloque evidenciado en las grietas en dirección nor-este

que se han apreciado en la superficie del bloque. Además esto produce que el bloque norte este siendo empujado hacia el norte en dirección de la cañada, lo cual favorece el volteo y caída de bloques del borde norte de la zona inestable hacia la cañada, tal como ha estado ocurriendo. El flanco sur es por lo tanto menos inestable.

La figura 4 muestra los datos de movimiento de los puntos de control localizados por fuera del bloque inestable principal. Estos datos muestran una tendencia muy similar, con valores de movimientos relativos entre campañas del orden de 2 cm. Los puntos que son excepción son el A1, B1, B2, y C2, todos localizados en la zona de la terraza en la parte baja frente al deslizamiento donde hay mas fácil acceso y actividad. No hay una tendencia de movimiento que muestre que alguno de los puntos pueda en efecto estar moviéndose, y las diferencias que se han registrado están dentro de las variaciones que se pueden tener por precisión de las mediciones, o efectos de alteración de los puntos de control por acción antrópica. Por lo tanto se concluye que por ahora ninguno de los puntos que se han monitoreado por fuera del bloque principal inestable se han movido.

Con el propósito de estudiar las tasas de movimiento se presenta en las figuras 5, 6 y 7 la velocidad de los puntos de los sectores norte, centro y sur del deslizamiento en el tiempo de observación respectivamente. Estas figuras muestran un comportamiento muy homogéneo en los puntos de los sectores centro y sur, con la única excepción del punto C3, que queda en la esquina mas occidental del bloque. Sin embargo, tal como se aprecia en el Plano anexo, los puntos del costado sur, cercanos al escarpe del flanco muestran una pequeña componente en dirección sur, indicativa de los procesos de volteo y deslizamiento hacia el flanco que se describen en el informe de MGL.

Los puntos de la zona norte presentan un comportamiento mas irregular, en especial los puntos A4 y A5. Esto se debe a que estos puntos están afectados no sólo por el movimiento principal del gran bloque inestable sino también por los procesos locales de volteo y caída del borde del flanco norte del deslizamiento.

Las tasas de movimiento muestran que entre septiembre y diciembre la velocidad del movimiento fue decreciendo desde valores del orden de 3 a 3.5 cm/día en septiembre, a 5 – 10 cm/día en noviembre – octubre. Para diciembre la tasa aumento de nuevo a valores del orden de 1.5 a 2.5 cm/día. Esta aceleración del movimiento en diciembre se debió seguramente a la temporada de lluvias casi permanentes que se tuvo en Bogotá en las primeras tres semanas de diciembre.

Con el propósito de estudiar la aceleración del movimiento se presenta en las figuras 8, 9 y 10, la aceleración de los puntos de los sectores norte, centro y sur del deslizamiento en el tiempo de observación respectivamente. De nuevo estas figuras muestran un comportamiento muy homogéneo en los puntos de los sectores centro y sur, con la única excepción del punto C3, que muestra un comportamiento mas parecido al de los puntos del costado norte. Los puntos de la zona norte presentan un comportamiento mas irregular, en especial los puntos A4 y A5.

La aceleración de la masa es proporcional a la fuerza neta o desbalanceada actuante en el sistema. Las figuras 8 a 10 muestran que la fuerza neta era contraria al movimiento el cual estaba disminuyendo y llegó a ser cero alrededor de Noviembre de 2002, tiempo en el cual el movimiento llegó a una condición cercana al equilibrio. Sin embargo, en diciembre se incrementó de nuevo a valores positivos que reactivaron el movimiento.

De acuerdo con la información reportada en el informe de MGL, el movimiento se inició en junio de 2002 y ha tenido un avance de alrededor de 5m, con una velocidad inicial de hasta 20 cm/día y una

media de 10 cm/día, y se está en un proceso de resquebrajamiento del terreno, pudiéndose apreciar múltiples superficies de deslizamiento y grietas longitudinales. Con base en esta información complementaria se pueden extrapolar los datos medidos para el período entre junio y septiembre. Estos datos dan un interesante panorama del desarrollo completo de los movimientos del bloque en general los cuales se pueden utilizar para calibrar un modelo mecánico dinámico del bloque que permita hacer una evaluación mas detallada y realista de la estabilidad del bloque y las fuerzas actuantes. Las curvas promedio estimadas de desplazamiento velocidad y aceleración incluyendo los datos estimados a partir de los valores reportados en el estudio de MGL se presentan en las Figuras 11, 12 y 13.

De las figuras de aceleración se aprecia que la que produjo el movimiento corresponde a un valor del orden de 0.005 m/dia^2 . Este valor se asume que es debido al efecto del agua infiltrada durante los días de lluvia en diciembre de 2002. Teniendo en cuenta que por la segunda ley de Newton la fuerza resultante sobre el bloque es igual a la masa por la aceleración, y estableciendo las ecuaciones de equilibrio para un bloque sobre un plano inclinado en el que la resistencia en la interfase es sólo de fricción (como es el caso del bloque inestable), con los datos disponibles se obtiene una ecuación en función de dos variables, el ángulo de fricción entre el bloque y el plano, y el valor de Ru definido como la relación entre la resultante de la presión del agua en la base del bloque y el peso del mismo. Con esta ecuación se pueden obtener las posibles combinaciones de ángulo de fricción y Ru que la satisfacen. Estos resultados se presentan en la Figura 13.

Con base en los resultados de la figura 13 se observa que el ángulo de fricción residual promedio (Fi) en diciembre de 2002 para todo el bloque deslizante, es del orden de 22 grados (para Ru=0), para valores de Ru mayores que cero y Fi=22 grados se produce una aceleración del movimiento. Este valor es mayor que el reportado en el estudio de MGL de 16 grados para la condición reblandecida de la lodolita obtenido de ensayos de corte directo. Estos resultados indican que la situación a lo largo del plano o zona de cizalladura que esta ocurriendo aún no es tan bajo como el equivalente a una condición residual totalmente reblandecida.

Con el propósito de buscar un mejor entendimiento del proceso de falla se hicieron análisis detallados de esfuerzo deformación para tratar de entender mejor el proceso los cuales se presentan en el siguiente capítulo.

5.2. Historia del proceso de inestabilidad

El siguiente recuento se considera importante para entender la evolución, mecanismo e implicaciones del deslizamiento objeto del monitoreo. Lo que se presenta a continuación es un resumen de la información recopilada y presentada por Moya y García Ltda. (2002).

Moya y García (2002) indican que el estado del terreno en 1940 mostraba indicios del posible deslizamiento de un gran bloque, siguiendo los planos de estratificación, tal como se evidencia con la presencia de estrías en muchos planos, que modificó el alineamiento de la base del cerro y se manifiesta con la curva que tiene la Avenida Séptima. Este deslizamiento podría ser el responsable de los plegamientos observados por ellos en el estudio geológico detallado del área.

Más recientemente, en la década del 50, con motivo de la explotación de la cantera, donde el proceso de excavación se hace desde la parte baja, para provocar la caída de los materiales, se presentan desprendimientos de gran tamaño que comprometen la estabilidad de la ladera, la cual en los ´60 facilitó la generación de un gran deslizamiento cuya corona coincide con el actual escarpe inferior. Por ésta época se inicia la explotación de la parte media de la ladera, con acceso por la

vecindad del actual salón Comunal de Villa Nidia y sistema de explotación similar al seguido en la parte inferior.

A comienzos de los ´70 se presentó un deslizamiento, arriba del frente de explotación intermedio, por lo que se amplió la explotación al cuerpo del deslizamiento, con acceso por la curva vecina al paso de la quebrada, situación que se mantuvo hasta mediados de los ´80.

Estos deslizamientos hicieron que las labores de minería se ampliaran a otros sectores vecinos.

En 1990 se presentó un deslizamiento traslacional que afectó la ladera arriba de las áreas de explotación antes nombradas, destruyendo algunas viviendas y de acuerdo con lo observado durante el estudio efectuado por Ingeniería y Geotecnia Ltda. en 1991 existían algunas fisuras arriba del escarpe del deslizamiento y afectaban tanto a las edificaciones como al terreno

Posterior al deslizamiento, se adelantó un proceso de recuperación morfológica de las áreas afectadas por la actividad minera, donde en el sector del deslizamiento se hizo la reconformación de la parte inferior del mismo, mediante labores de conformación del terreno, con las que se retiró casi todo el deslizamiento, dejando sólo la parte correspondiente a la cabeza, donde se construyeron las viviendas 29 a 39 de la manzana 36; esta conformación implicó el retiro de la base de la ladera en una longitud de 100 m y 15 a 20 m de espesor, tal como puede deducirse de la comparación de las secciones levantadas en 1991 y el levantamiento topográfico actual (ver figura 14 Tomada de Moya y García 2002); con esta actividad se pudieron remover más de 400.000 m^3 de material predominantemente arenoso, dispuesto en la zona donde el buzamiento es menor.

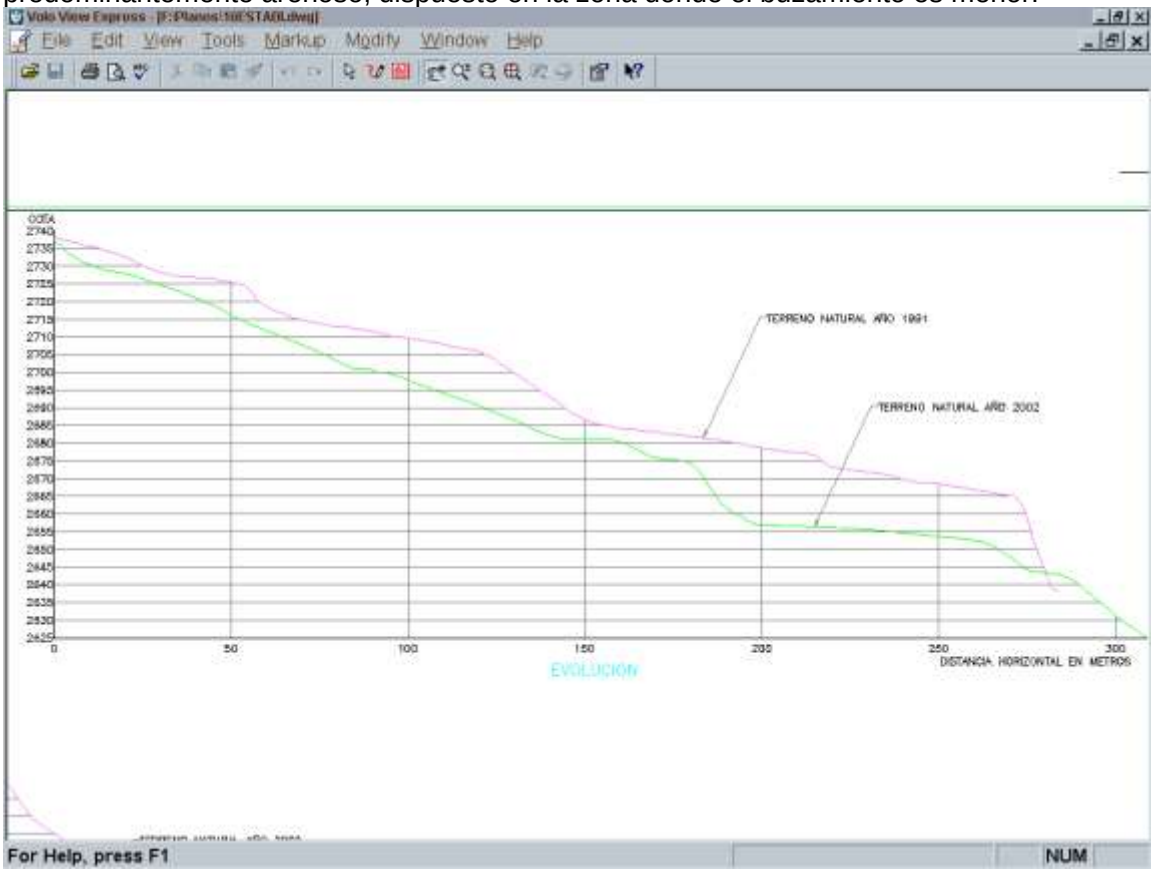


Figura 14 - Evolución del terreno entre 1991 y 2002. Continúa el avance del frente de explotación de las areniscas que se encuentran sobre el nivel de la lodolita progresando desde la parte baja del talud. Esta tendencia la confirma la topografía de 1987 (Tomado de MGL, 2003). Además se perfiló el terreno en el área deslizada produciendo un aumento de la pendiente general de la ladera.

A comienzos de junio de 2002, se presentó un fuerte agrietamiento del terreno en el sector de la calle 160, abajo de la carrera 7, en el sector del parque, y rápidamente se conformó un escarpe, el agrietamiento se propagó en ambas direcciones, especialmente por el costado norte, donde se evidenció una superficie de deslizamiento que le dio la vuelta a la ladera, se destaca el desplazamiento de la parte superior del talud de explotación intermedio, donde fue evidente la posición de la superficie de deslizamiento.

A los pocos días de presentarse el agrietamiento inicial, en la parte de arriba se presentó otro frente de agrietamiento que acabó de afectar las viviendas de la parte alta y conformó un nuevo escarpe y una grieta profunda por el lado norte de la ladera, arriba del valle de la quebrada.

El movimiento inicial siguió los planos de estratificación por los niveles arcillosos, en la parte alta inmediatamente por debajo del estrato de arenisca; luego, unos 80 m abajo, frente a la carrera 8, se presentó un escalón por desgarre de la roca, y la superficie continuó por otro plano de estratificación localizado unos 2m más abajo; unos 45m más hacia el occidente se presentó otro escalón por desgarramiento de la roca y la superficie de deslizamiento continuó por otro plano de estratificación localizado unos 4 m abajo, éste plano continúa hacia el occidente y aflora en el talud del corte localizado al sur del Salón Comunal de Villa Nidia, continúa hacia el sur por el talud y luego se refunde por entre acopios de materiales y se nota un levantamiento del patio de explotación. Un poco más al sur aflora en la base del talud (donde se evidenció al comienzo el desplazamiento del terreno) y continúa por la cara del talud ascendiendo hacia el sur, para situarse en un estrato por debajo del nivel de arenisca y continuar hacia el oriente por el flanco (antiguo escarpe), hasta empatar en la zona de parque con la corona del movimiento.

Posteriormente, uno a dos meses después, se presentó un fuerte agrietamiento del terreno movido, iniciándose un proceso de “desgranamiento” del terreno hacia los flancos y el frente, dando origen a procesos de caída de bloques, que han enmascarado parcialmente la superficie inicial de deslizamiento.

En el costado norte, flanco derecho del deslizamiento, al evidenciarse la posibilidad de caída de bloques y ante la presencia de las viviendas y el Salón Comunal de Villa Nidia y la parte baja de Cerro Norte, la DPAE dentro de sus labores de prevención, decidió instalar parapetos para contener los posibles bloques que al desprenderse pudieran rodar por la ladera, antes de que afectaran a las personas o a las viviendas, así mismo se evacuaron algunas viviendas donde se consideró que los parapetos podrían no ser suficientes; se complementaron estas acciones con el fracturamiento y retiro de algunos bloques de gran tamaño que estaban propensos a caer.

5.3. Análisis de estabilidad

De acuerdo con la descripción de los procesos de inestabilidad que se han presentado en el sitio presentada en el estudio de MGL (2002), se encuentra que el área ha presentado problemas de estabilidad posiblemente desde antes de 1940, tanto en condiciones naturales como debido a las excavaciones para la explotación de materiales.

El recuento de los problemas mas recientes muestran que se han presentado deslizamientos progresivamente ladera arriba que han involucrado la capa de areniscas que se encuentran sobre las lodolitas. La evidencia muestra que la superficie de falla ha cortado los estratos de lodolita, dando lugar a deslizamientos translacionales de grandes bloques que en su parte superior dan lugar a grandes escarpes. Los deslizamientos se reactivan o se generan en la medida que se les va retirando en apoyo en la parte baja por la explotación de materiales.

El tratamiento para estos deslizamientos ha sido básicamente remover toda la masa deslizada. Esto ha sido favorecido por el hecho de que el material removido ha sido explotado comercialmente.

El estudio del proceso de falla considera los siguientes hechos:

- El talud se construye y se mantiene estable sin deformaciones apreciables a simple vista durante algún tiempo.
- La falla es de tipo frágil y súbita.
- La falla se inicia en donde queda expuesto el contacto arenisca-lodolita por efecto del estrato de arcillolita.
- La falla involucra una longitud mucho mayor que su espesor.
- Los análisis de estabilidad para un talud de espesor uniforme indican que la ladera sería estable con las condiciones inalteradas de resistencia de la lodolita. Para valores reducidos de resistencia debido a ablandamiento por humedad o por deformación toda la masa deslizada está en condición de equilibrio límite.
- La falla ocurre sin influencia de factores de disparo tales como sismo o agua, pues no se presentaron en las semanas anteriores a la falla.

Esta combinación de factores permite concluir que lo ocurrido en la ladera fue un proceso de falla progresiva debida a la trasferencia de carga desde la parte alta de la zona que falló hacia la parte baja donde se hizo el corte. El proceso de falla progresiva de taludes donde se encuentran arcillas sobreconsolidadas ha sido extensivamente estudiado y reportado en la literatura (Bishop, A.W. (1966), Bjerrum, L. (1967)., Chandler, R.J. (1970), Chandler, R.J., and Skempton, A.W. (1974). , Conlon, R.J. (1966)., Cancelli, A. (1981), Duncan, J.M., and Dunlop, P. (1968), Skempton, (1964).)

Este proceso de redistribución de esfuerzos toma tiempo en la medida que se van produciendo las deformaciones que permiten la transferencia de esfuerzos. La redistribución de esfuerzos se presenta en la medida que los materiales pierden rigidez y se deforman. Esto se puede deber al sobreesfuerzo debido a cargas adicionales como por ejemplo la pérdida de soporte por excavación, o ablandamiento por aumento de humedad. Con frecuencia, como puede ser el caso del deslizamiento estudiado los dos procesos pueden ocurrir concurrentemente.

El proceso depende de la compatibilidad de deformaciones entre los materiales arcillosos mas deformables, y las areniscas menos deformables. Estas deformaciones sin embargo inicialmente son pequeñas, del orden de milímetros, y producen grietas que solo son claramente perceptibles una vez se dispara la falla, como ocurrió en este caso. Este tipo de proceso es muy peligroso debido a que es muy difícil de monitorear, de analizar y predecir su desarrollo, y da a lugar a fallas súbitas retardadas que dependen de la longitud de la ladera.

Este es un proceso diferente al de falla plana en talud infinito, ya que en este último caso la falla no depende de la longitud del talud, y ocurre de manera inmediata con los cortes.

Con el propósito de evaluar aunque sea de manera aproximada el mecanismo de falla que se pudo haber presentado en el presente caso se hizo un análisis de estabilidad de una sección típica de acuerdo con la secciones presentadas en el reporte de MGL (2002).

Los análisis se hicieron modelando el proceso de excavación a partir de una condición en la que se tiene inicialmente el talud confinado y posteriormente se excava en la parte inferior el espesor de arenisca. Los materiales se han modelado utilizando un modelo de suelos con plasticidad no lineal con un comportamiento esfuerzo deformación hiperbólico y envolvente de resistencia de Mohr Coulomb. Sin embargo, teniendo en cuenta que el proceso de ablandamiento produce un efecto similar al de la dilatancia, en que se presenta un pico de resistencia que disminuye con la deformación, la envolvente de resistencia se modeló de esta forma estimando los parámetros con base en la información disponible del estudio de MGL y de la interpretación de las mediciones de movimientos.

Los análisis además se hicieron utilizando una formulación de grandes deformaciones, con el fin de poder tener un modelo actualizado a pesar de las grandes deformaciones que se presentan en este tipo de deslizamientos, y poder llevar los análisis hasta una situación de inestabilidad dinámica como la que se ha registrado.

Los análisis se hicieron utilizando el programa PLAXIS profesional V.7.2 que permite incorporar todos los elementos descritos de esta compleja simulación. En las figuras siguientes se presentan los resultados mas relevantes de estos análisis.

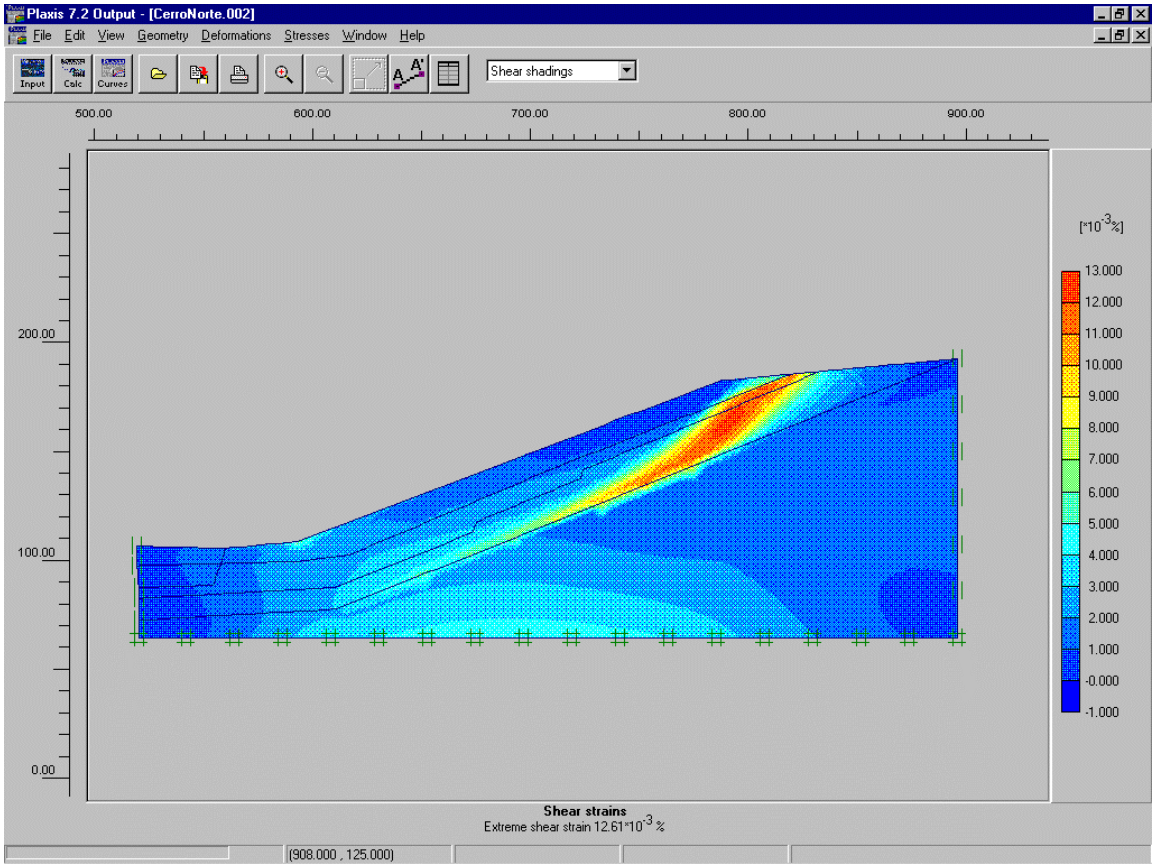


Figura 15 - Estado inicial de deformaciones en los materiales del talud

En el estado inicial el talud no ha sido excavado en la parte baja. Se aprecia el estado inicial de deformaciones. Se aprecia una concentración en la parte alta, sin embargo los valores de deformación son muy bajos, menores de 0.13%, por lo que se está en una condición segura, muy lejos de una potencial condición de falla. Esto indica que si el talud ha mantenido su continuidad es poco probable que se hayan presentado deslizamientos previos que afecten la lodolita.

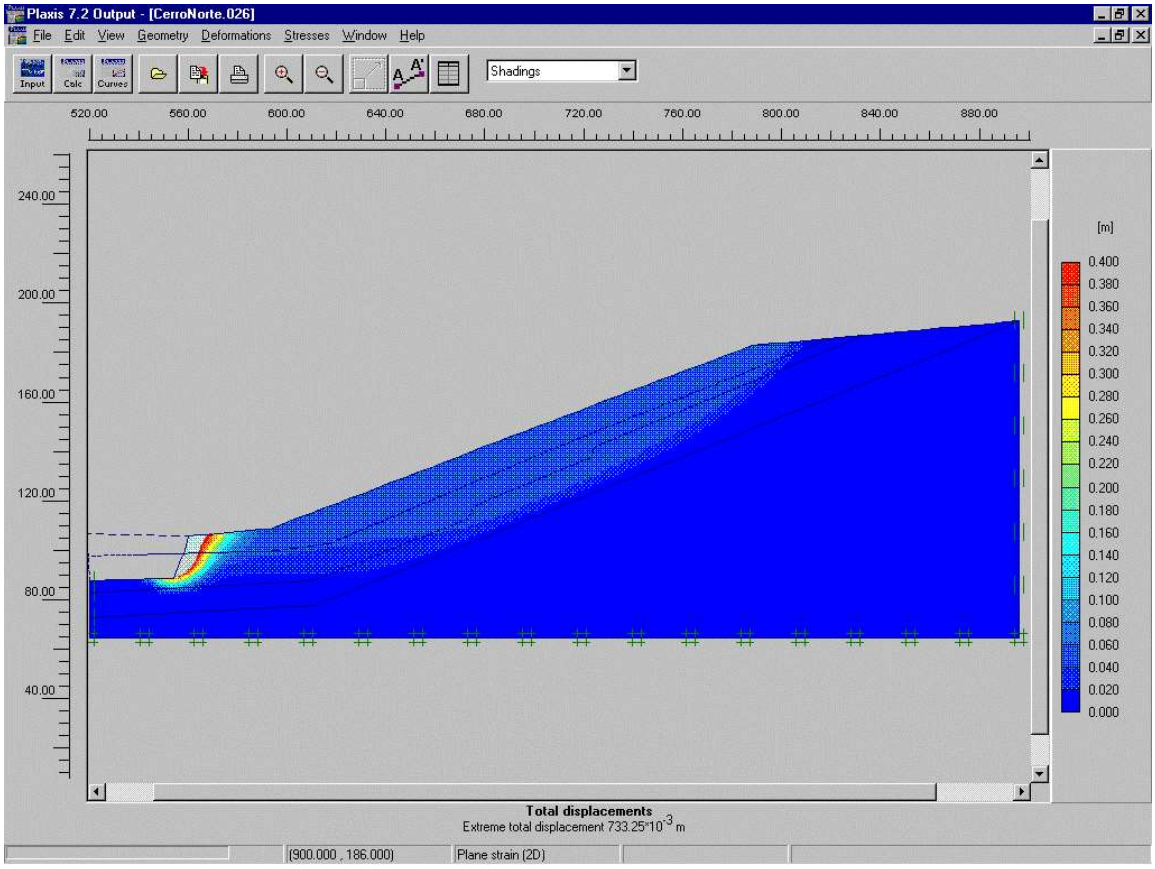


Figura 16 - Patrón de desplazamientos de la masa analizada.

Esta figura muestra los resultados del análisis al excavar la parte baja. Para los análisis realizados se llego hasta desplazamiento de 73 cm en la base del deslizamiento y del orden de 10 cm en la parte alta (escarpe principal). Para estas condiciones se alcanza un estado de equilibrio límite generalizado a partir del cual continúa un proceso dinámico. Es decir la masa tiene una aceleración neta que produce desplazamientos progresivos a velocidad variable según la variación de las fuerzas actuantes. El monitoreo topográfico permite observar este proceso dinámico.

Para los parámetros utilizados se aprecia una falla del frente de excavación con grandes deformaciones esto es consistente con el colapso del frente del derrumbe que se ha observado, y

que es parte de lo que en ocasiones se ha utilizado como proceso de explotación de canteras. Sin embargo, hay un desplazamiento generalizado del talud del orden de 0.1 m.

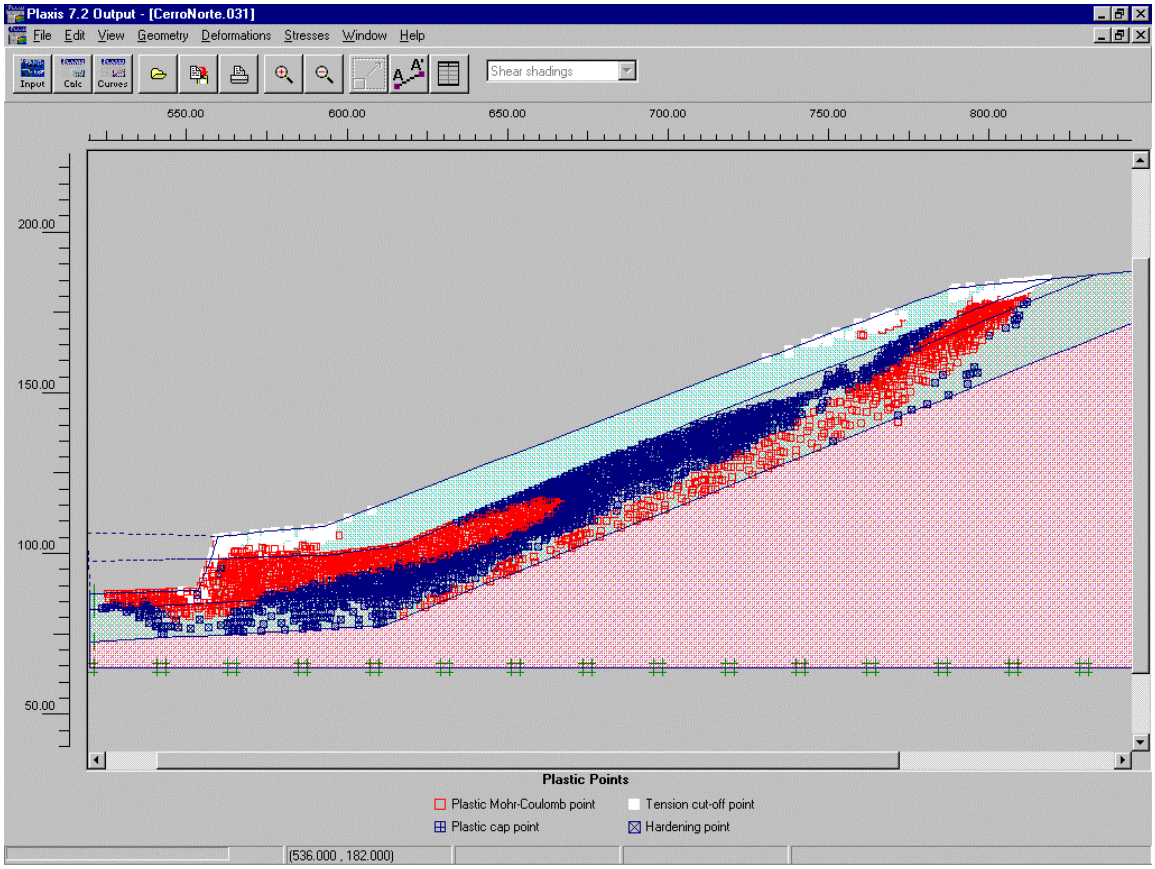


Figura 17 - Generación de zonas en estado plástico.

Esta figura presenta un mapa de los puntos en estado plástico, indicativos del proceso de falla que se ha dado. El factor de seguridad para este caso es ligeramente menor que 1.0.

Los cuadros rojos indican puntos en estado de resistencia máxima (falla por corte), los cuadros azules cruzados muestran puntos que están en proceso de ablandamiento de acuerdo con el modelo utilizado. El mecanismo muestra que la placa de arenisca se desliza sobre la lodolita aflorando una superficie de corte en la base del talud en arenisca. Esta rotura se va propagando ladera arriba y se va profundizando en la lodolita. Además se presenta otra superficie de falla que se inicia en la base de la lodolita y se propaga hacia arriba a través de la lodolita hasta aflorar en la superficie en al parte alta del talud dando lugar al escarpe principal. Todo el espesor de la lodolita está siendo esforzado en un estado equivalente al de corte simple acercándose a un estado de falla. Esta condición es consistente con las observaciones de campo en el estudio de geología detallada de MGL (2002) que reportan zonas de cizalladura a varios niveles en la lodolita

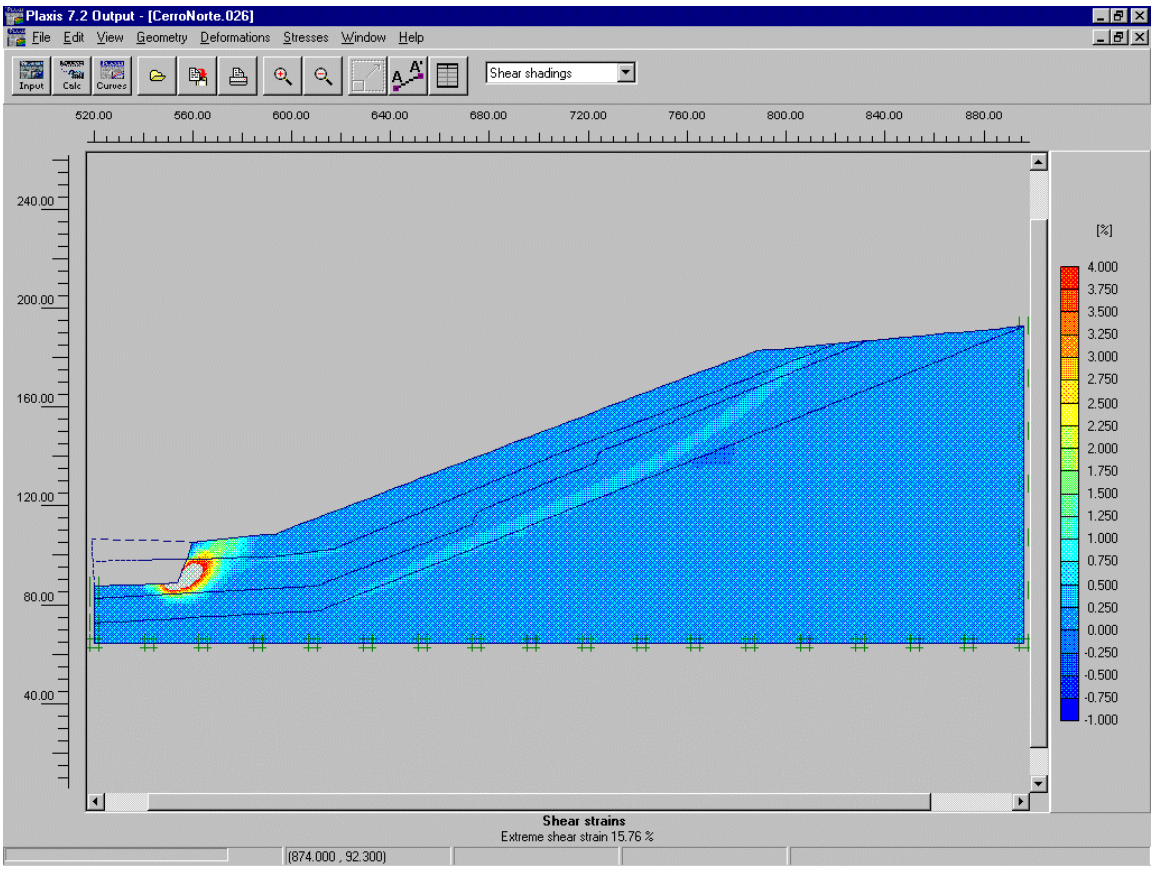


Figura 18 - Contornos de deformaciones unitarias por corte.

Se aprecia una concentración de altas de deformaciones en la base del deslizamiento donde se está aflorando la superficie de falla en la base y se produce la falla del material del frente del deslizamiento que se queda sin soporte. Además se aprecia una concentración de deformaciones de falla inminente (del orden del 1%) a lo largo de la base de la lodolita en la parte baja y media del talud que aflora hacia la superficie en la parte alta, coincidiendo con la zona de formación de los escarpes.

Se aprecia que la forma de la zona de concentración de las deformaciones, que correspondería con la formación de una superficie de falla es muy similar a la reportada por MGL (2002) como la superficie de ruptura identificada en el terreno (línea intermedia en el estrato de lodolita que se muestra en la figura). Sin embargo los resultados de los análisis muestran una zona de falla que abarca todo el espesor del estrato de lodolita. Es posible que por zonas más débiles localizadas en la lodolita la zona de falla no llegue hasta la base del estrato. Es posible también que la lodolita en realidad presente deformaciones a niveles inferiores a los observados en el estudio de MGL y que estas simplemente no se hayan podido observar. Los plegamientos y deformaciones reportados por MGL se pueden deber a este proceso, originados en los diferentes eventos de inestabilidad que se han presentado en la ladera.

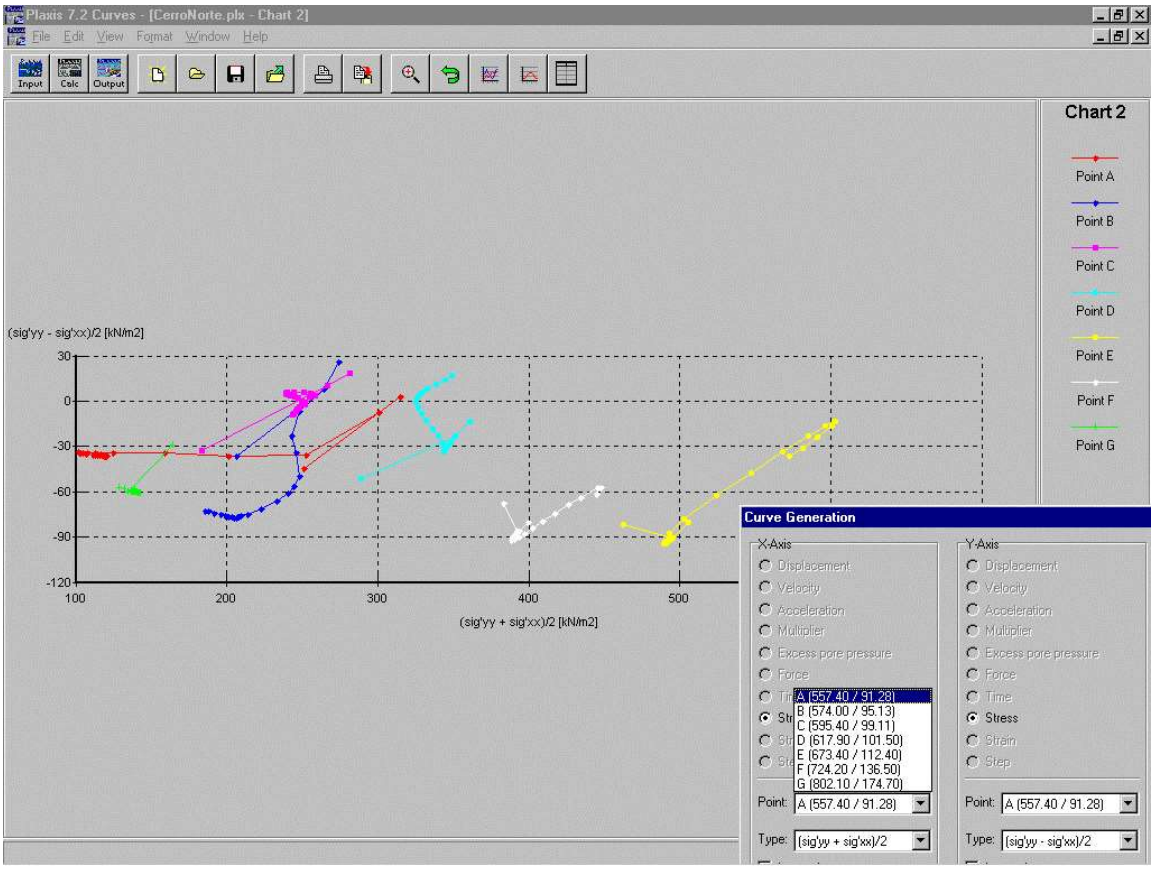


Figura 19 – Ejemplo de algunos puntos con sus trayectorias de esfuerzos

Esta figura es ilustrativa de las trayectorias de esfuerzos que siguen varios puntos cuyas coordenadas en el modelo se muestran en el recuadro. Básicamente lo que muestran las curvas es que hay varios puntos que alcanzan la envolvente de falla a resistencia máxima y posteriormente continúan en un proceso de ablandamiento. Al mismo tiempo hay otros puntos que aún no han llegado a una condición de falla.

El modelo posiblemente no representa de manera exacta el comportamiento de estos materiales, el cual de hecho no se conoce en detalle. Sin embargo los análisis incluyen los principales componentes que determinan el comportamiento del talud. Los resultados son consistentes con las observaciones de campo y las medidas realizadas. Este comportamiento es también consistente con lo reportado en la literatura con respecto a la falla de taludes en arcillas duras. Por lo tanto se considera que estos resultados y la formulación del comportamiento planteada representan bien el comportamiento del talud.

5.4. Comentarios de estabilidad

Los resultados de los análisis de movimientos del talud y los análisis de estabilidad permiten formular los siguientes comentarios:

El bloque inestable estuvo disminuyendo su velocidad hasta diciembre cuando sufrió una nueva aceleración e incremento de movimiento, posiblemente por efecto de las lluvias de las primeras semanas de diciembre.

El bloque inestable aparentemente se ha estado dividiendo en dos subbloques. Una parte norte, empujada por la parte sur que se mueve en dirección noreste con una componente importante de movimiento hacia el flanco. Esto ha favorecido la actividad de la inestabilidad de la ladera con caída y volteo de rocas hacia la cañada.

La parte sur se mueve en dirección este-noreste de manera bastante uniforme. La división entre los bloques está aparentemente controlada por una familia de discontinuidad identificada en el informe de MGL.

La desaceleración del bloque se debe al menos en parte a la pérdida de energía dinámica por fricción entre los subbloques que se han producido.

La masa inestable ha estado en una condición dinámica, esto es, con factor de seguridad menor que uno, por lo tanto con una componente neta de fuerza que ha mantenido la masa en movimiento. Es posible que cuando se disipen las presiones de agua inducidas por las lluvias la masa se detenga. Sin embargo, su condición de estabilidad es marginal. En caso de nuevas lluvias o un sismo la masa volverá a ponerse en movimiento.

El proceso de falla identificado corresponde a una falla progresiva por sobreesfuerzo de la lodolita al hacer excavaciones para extracción de materiales en el frente de excavación. El mecanismo produce una condición de corte simple que afecta todo el espesor de la lodolita, dando lugar a roturas a lo largo de los niveles un poco mas débiles. Se presenta una rotura a nivel de la base de la arenisca en el contacto de la lodolita que se propaga ladera arriba. Al mismo tiempo se produce una falla a través de la lodolita que produce un escarpe en la parte alta y se profundiza hacia la base del estrato de lodolita.

El estrato de lodolita se encuentra reblandecido por deformación. Esto favorecerá el reblandecimiento por aumento de humedad en las grietas de corte que se han formado. Por lo tanto es de esperar que la situación de estabilidad con el tiempo se degrade aún mas. Los datos de estabilidad dinámica muestran un ángulo de fricción promedio del orden de 22 grados, el ángulo de fricción residual reblandecido es de 16 grados. Por lo tanto la hipótesis de que hasta el momento se ha producido sólo el ablandamiento de la lodolita por corte es consistente con estos resultados.

Los puntos monitoreados por fuera del bloque de mayor movimiento no han presentado movimiento por fuera de los rangos de precisión de las mediciones.

Teniendo en cuenta que el proceso de falla es progresivo y que se espera que la resistencia de la lodolita disminuya con el tiempo es posible que el deslizamiento se extienda ladera arriba hasta abarcar las casas que aún se encuentran en la parte alta de la ladera sobre la arenisca. El tratamiento propuesto en el estudio de MGL serviría para estabilizar la parte alta de la ladera y proteger las casas remanentes.

Se debe esperar que la masa deslizada se siga desplazando ladera abajo a menos que se haga una descarga sustancial del material deslizado como se ha hecho en ocasiones anteriores de deslizamiento en el área.

5. 5 Conclusiones y recomendaciones generales

- El deslizamiento obedece a una falla progresiva por las excavaciones realizadas en la parte baja de la ladera, para extraer material de cantera.

- Ante la presencia de la zona invernal o de un sismo, la masa de suelo volverá a ponerse en movimiento. Es de esperar que la situación se degrade aun mas con el tiempo y que la masa se siga desplazando ladera abajo.

- Los puntos de control instalados fuera del deslizamiento, no presentaron hasta el mes de Diciembre de 2002 movimiento y su comportamiento se encuentra dentro de la precisión de las mediciones topográficas. Sin embargo, es posible que el deslizamiento se extienda hacia arriba y ponga en peligro las viviendas localizadas en la parte alta de la ladera.

- Las actividades de monitoreo y seguimiento deberían seguirse efectuando, en el evento de no implementar programas de remoción de material deslizado y estabilización, como esta propuesto en el informe de la firma Moya y García Ltda.

- El daño de las viviendas estudiadas y que se observaron al iniciar el monitoreo en el mes de Agosto de 2002, es consecuencia del deslizamiento ocurrido en el sector. Sin embargo, se encontraron construcciones con deficiencias en los materiales y sus procesos constructivos, que conllevan un riesgo de destrucción por causas diferentes al deslizamiento; existen construcciones no aptas para resistir esfuerzos imprevistos.

- La vivienda No. 5 presenta deficiencias constructivas y deterioro por causa del deslizamiento que hace recomendable su desalojo y reubicación, por la ubicación cercana a la zona critica. Por los daños estructurales que presentan las viviendas 18 y 45, es recomendable desalojarlas y reubicarlas. Es urgente la evacuación de la vivienda localizada en la pata del talud que se esta moviendo.

- Existe peligro para personas que transitan por la ladera, especialmente por la caída de material de la parte alta del deslizamiento. Se recomienda implementar medidas de información a la comunidad del sector para que no sigan ingresando a la zona de alto riesgo.

- Las construcciones de la Fundación Pro Defensa del Niño, que albergan mas de doscientos niños y profesores, no cumplen con las normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente.

- Por los problemas de estabilidad que se vienen presentando, es recomendable continuar el monitoreo y seguimiento a las viviendas.

Referencias

- Bishop, A.W. (1966). The strength of soils as engineering materials, 6th Rankine Lecture, Geotechnique, 16, No.2, 91-128.
- Bjerrum, L. (1967). Progressive failure in slopes of overconsolidated clay and clay shales, J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, v. 93, No. SM5, 1-49.
- Chandler, R.J. (1970). Shallow slab slide in the Lias clay near Uppingham, Rutland, Geo-technique 20, 253-260.
- Chandler, R.J., and Skempton, A.W. (1974). The design of permanent slopes in stiff fissured clays, Gèo-technique, v. 24, 457-466.
- Conlon, R.J. (1966). Landslide on the Toulnustouc River, Quebec, Can. Geotechnique, v. 15, No. 2, 161-173.
- Cancelli, A. (1981). Evolution of slopes in over- consolidated clays, Proc. 10th Intl. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Stockholm, v. 3, 377-380.
- Duncan, J.M., and Dunlop, P. (1968). Slopes in stiff-fissured clays and shales, J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, v. 95, No. SM2, 467-492.
- MOYA Y GARCÍA LTDA Ingenieros Consultores (2002), Estudio de riesgo por remoción en masa para los barrios cerro norte y villa nidia, de la localidad de Usaquén y diseño de obras de control, protección y estabilización, Trabajo No. 038**,** DPAE**.**
- Skempton, A.W. (1964). Long-term stability of clay slopes, Fourth Rankine Lecture, Gèotechnique, v. 14, p. 77.