DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS – DPAE

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION

Barrio Callejón de Santa Bárbara – Localidad de Rafael Uribe Uribe

INFORME FINAL

Santafé de Bogotá, D.C., mayo de 2000

TABLA DE CONTENIDO

1. GENERALIDADES 1-1

1.1 Introducción 1-1

1.2 Alcance y objetivos del estudio 1-1

1.3 Organización del informe 1-2

1.4 Descripción de actividades 1-2

2. **DIAGNÓSTICO CONCEPTUAL DE LA PROBLEMÁTICA DEL SECTOR** 2-1

2.1 Descripción del problema y sus posibles causas 2-1
2.1.1 Localización general 2-1
2.1.2 Estudio de riesgo 2-2

2.2 Requerimientos de topografía y exploración del subsuelo 2-3
2.2.1 Topografía 2-3
2.2.2 Exploración del subsuelo 2-4
2.2.3 Ensayos de laboratorio 2-4

2.3 Modelos y metodologías de análisis geotécnicos y de evaluación de amenaza 2-5
2.3.1 Levantamientos e Inventarios 2-5
2.3.2 Evaluación de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo 2-9

2.4 Evaluación conceptual de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo actuales del área de estudio 2-10
2.4.1 Consideraciones generales 2-10
2.4.2 Zonificación preliminar 2-11

2.5 Alternativas de solución 2-13
2.5.1 Caída de rocas y de detritos rocosos 2-13
2.5.2 Reconformación de zonas inestables 2-14
2.5.3 Retiro parcial de material deslizado 2-14
2.5.4 Terraceo de rellenos y protección de la pata de éstos 2-14
2.5.5 Evacuación de edificaciones en condición muy crítica 2-14
2.5.6 Recalce de cimentaciones 2-14
2.5.7 Drenaje superficial y profundo 2-14

2.6 Metodología de trabajo 2-15
2.6.1 Recopilación y análisis de información existente 2-15
2.6.2 Reconocimiento de la zona 2-15
2.6.3 Levantamiento topográfico 2-16
2.6.4 Exploración del Subsuelo y Ensayos de Laboratorio 2-16
2.6.5 Evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo 2-16
2.6.6 Análisis, planteamiento de alternativas e Informe Final 2-16

2.7 Referencia bibliográfica 2-16

3. LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO 3-1

3.1 Método de trabajo 3-1

4. ESTUDIO GEOLOGICO 4-1

4.1 Método de trabajo 4-1

4.2 Geología General 4-1
4.2.1 Formación Arenisca de La Regadera (Tpr) 4-2
4.2.2 Formación Usme (Tmu) 4-2
4.2.3 Depósitos Cuaternarios (Q) 4-3

4.3 Geología Local 4-3
4.3.1 Rocas Sedimentarias 4-4
4.3.2 Depósitos Cuaternarios 4-6

4.4 Geomorfología **4-7**

5. ESTUDIO HIDROLOGICO 5-1

5.1 Generalidades 5-1

5.2 Análisis de información disponible 5-1
5.2.1 Cartografía 5-1
5.2.2 Información hidroclimática 5-1

5.3 Red de drenaje y erosión 5-2

5.4 Aspectos hidrogeológicos 5-3
5.4.1 Condiciones físicas 5-3
5.4.2 Consideraciones teóricas sobre el modelo hidrogeológico del talud del Callejón de Santa Bárbara: 5-4
5.4.3 Condiciones hidrogeológicas del talud del barrio Callejón de Santa Bárbara 5-5

6. ESTUDIO GEOTECNICO 6-1

6.1 Investigación del subsuelo 6-1
6.1.1 Exploración 6-1
6.1.2 Ensayos in-situ y de laboratorio 6-2
6.1.3 Estratigrafía 6-3

6.2 Inventario de Procesos 6-4

6.3 Estimativos de la perdida potencial de suelos por erosion pluvial en el barrio Callejón de Santa Bárbara 6-6
6.3.1 Conceptos generales 6-6
6.3.2 Métodos de estudio 6-8
6.3.3 Análisis de resultados 6-9
6.3.4 Conclusiones del estudio de erosión 6-15

6.4 Bibliografía 6-16

7. EVALUACION Y ANALISIS DE AMENAZA POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA 7-1

7.1 Introducción 7-1

7.2 Conceptos básicos 7-2

7.3 Mecanismos de falla 7-3

7.4 Análisis cinemático de estabilidad 7-12

7.5 Resultados de los análisis de estabilidad 7-13

7.6 Variables aleatorias 7-14

7.7 Análisis probabilístico de estabilidad 7-15
7.7.1 Probabilidades de falla a corto plazo 7-15
7.7.2 Probabilidades de falla a mediano plazo 7-16

7.8 Solicitaciones 7-17

7.9 Análisis de amenaza 7-18
7.9.1 Perfil K0+030 7-18
7.9.2 Perfil K0+050 7-19
7.9.3 Perfil K0+120 7-20
7.9.4 Perfil K0+130 7-20
7.9.5 Perfil K0+150 7-21

7.9.6 Perfil K0+220 7-21
7.9.7 Perfil K0+280 7-22
7.9.8 Perfil K0+300 - sección crítica 7-23
7.9.9 Perfil K0+340 7-24

7.10 Zonificación por amenaza 7-24

7.11 Discusión de resultados 7-26

7.12 Referencias bibliográficas 7-28

8. VULNERABILIDAD POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA..... 8-1

8.1 Introducción 8-1

8.2 Metodología 8-3
8.2.1 Encuesta para la evaluación de edificaciones 8-3
8.2.2 Tipificación de las viviendas 8-3
8.2.3 Calificación de los daños 8-5
8.2.4 Criterios de intensidad 8-6

8.3 Análisis de vulnerabilidad de las viviendas ante fenómenos de remoción en masa.. 8-11
8.3.1 Indice de vulnerabilidad física (IVF) 8-11
8.3.2 Área representada por el perfil K0+030 8-12
8.3.3 Área representada por el perfil K0+130 8-13
8.3.4 Área representada por el perfil K0+280 8-15
8.3.5 Área representada por el perfil K0+300 (Sección crítica) 8-16
8.3.6 Área representada por el perfil K0+340 8-16

8.4 Zonificación por vulnerabilidad 8-17

8.5 Conclusiones 8-18

9. EVALUACION Y ANALISIS DE RIESGO POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA 9-1

9.1 Método de estudio 9-1

9.2 Análisis de riesgo de las viviendas ante fenómenos de remoción en masa9-1
9.2.1 Area representada por el perfil K0+030 9-1
9.2.2 Area representada por el perfil K0+130 9-2
9.2.3 Area representada por el perfil K0+280 (desplazam. probable de relleno).. 9-4
9.2.4 Area representada por el perfil K0+300 (Sección crítica) 9-4
9.2.5 Area representada por el perfil K0+340 9-5

9.3 Zonificación de riesgo 9-5

9.4 Discusión de resultados del riesgo por FRM 9-6
9.4.1 Zona de riesgo muy alto: 9-6
9.4.2 Zona de riesgo alto: 9-6
9.4.3 Zonas de riesgo medio: 9-9
9.4.4 Riesgo bajo y muy bajo: 9-10

10. ALTERNATIVAS DE MITIGACION 10-1

10.1 Introducción 10-1

10.2 Planteamiento de alternativas 10-1

10.3 Alternativa No. 1 10-2
10.3.1- Drenaje superficial 10-2
10.3.2- Drenaje profundo 10-6

10.4 Alternativa No. 2 10-7
10.4.2- Muros de gaviones en la base del talud 10-9
10.4.3- Revestimiento de malla metálica y mortero 10-10
10.4.4- Sectores críticos 10-10

10.5 Alternativa No. 3 10-12

10.6 Análisis de estabilidad determinístico con las obras de mitigación 10-12

10.7 Análisis probabilístico de estabilidad con obras de mitigación 10-13

10.8 Análisis Costo/Beneficio de las alternativas de mitigación 10-13
10.8.1- Metodología 10-13
10.8.2- Análisis realizados 10-14

10.9 Conclusiones y recomendaciones del análisis costo/beneficio de las alternativas de mitigación 10-16

11. DISEÑOS DETALLADOS DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS11-1

11.1 Introducción 11-1

11.2 Memorias de cálculo 11-1

11.3 Planos de localización de obras 11-1

11.4 Planteamiento paisajístico y mejoramiento urbano 11-1
11.4.1 Uso potencial del suelo 11-2
11.4.2 Especies recomendadas para la recuperación ambiental del barrio 11-3

11.5 Detalles de construcción 11-4

11.6 Cantidades de obra y presupuesto 11-4

11.7 Especificaciones técnicas 11-4

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 12-1

12.1 Aspectos geológicos generales 12-1

12.2 Aspectos geomorfológicos 12-1

12.3 Estudio de amenazas 12-2

12.4 Zonificación por vulnerabilidad 12-2

12.5 Zonificación de riesgos 12-3
12.5.1 Zona de riesgo muy alto 12-3
12.5.2 Zona de riesgo alto: 12-3
12.5.3 Zonas de riesgo medio: 12-6
12.5.4 Riesgo bajo y muy bajo: 12-6

12.6 Planteamiento de obras de mitigación 12-7

12.7 Análisis de Alternativas 12-7

12.8 Análisis Costo/Beneficio 12-8

12.9 Etapas de construcción de las obras recomendadas 12-8
12.9.1 Primera etapa 12-9
12.9.2 Segunda Etapa 12-10
12.9.3 Tercera Etapa 12-11

1. GENERALIDADES

1.1 Introducción

En este informe se presentan los resultados del estudio realizado en el Barrio El Callejón de Santa Barbara, al sureste de Bogotá. Los trabajos se realizaron dentro del Contrato de Consultoría CCS –526/99, suscrito entre la DPAE e INGENIERIA Y GEOTECNIA LTDA.

El sector de estudio abarca un área de unas 10 Ha en terrenos que hicieron parte de una antigua cantera, de forma aproximadamente rectangular con la dimensión mayor en sentido sur-norte de manera que en el costado oriental se encuentra el escarpe dejado por el último frente de explotación. En el patio de operación de la antigua cantera se han construido dos agrupaciones de viviendas, separadas por una zona todavía sin construcciones en la cual se observan montones de materiales térreos, sobrantes de actividad urbanizadora que se lleva a cabo en la vecindad.

1.2 Alcance y objetivos del estudio

El alcance general del estudio comprendió la evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa en el barrio Callejón de Santa Bárbara y el diseño de las obras de mitigación requeridas para estabilizar dicho sector: Planos de construcción, cantidades de obra, Presupuestos y Especificaciones Técnicas.

Los objetivos específicos fueron:

- Caracterizar la zona desde el punto de vista geotécnico e identificar los diferentes procesos y mecanismos de falla que se presentan en ella, así como sus agentes detonantes.

- Zonificar el área de estudio por amenaza de remoción en masa.

- Evaluar la vulnerabilidad de la infraestructura de las edificaciones y de la población de la zona, frente a cada fenómeno amenazante. No se evaluó el efecto que pueda tener un evento sísmico en las viviendas.

- Analizar la condición de riesgo por fenómenos de remoción en masa para la infraestructura de las edificaciones y de la población de la zona.

- Determinar y evaluar diferentes alternativas de mitigación, entre ellas la de reubicación de familias, diseño de obras de protección o control y aprovechamiento del espacio para crear zonas verdes y de recreación.

- Establecer las cantidades de obra, presupuesto y especificaciones técnicas de la alternativa de mitigación más favorable para el sector desde el punto de vista técnico, económico, urbanístico y social.

1.3 Organización del informe

Teniendo en cuenta los resultados de las diferentes etapas del estudio, se presenta un informe distribuido en 12 capítulos, los cuales se enumeran a continuación:

Capítulo 1- GENERALIDADES
Capítulo 2 - DIAGNÓSTICO CONCEPTUAL DE LA PROBLEMÁTICA DEL SECTOR
Capítulo 3- LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO
Capítulo 4- ESTUDIO GEOLOGICO
Capítulo 5 - ESTUDIO HIDROLOGICO
Capítulo 6 - ESTUDIO GEOTECNICO
Capítulo 7 - EVALUACION Y ANALISIS DE AMENAZA POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA
Capítulo 8- VULNERABILIDAD POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA
Capítulo 9- EVALUACION Y ANALISIS DE RIESGO POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA
Capítulo 10- ALTERNATIVAS DE MITIGACION
Capítulo 11- DISEÑO DETALLADO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA
Capítulo 12- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Cada capítulo contiene un texto con los resultados de las actividades y los análisis que en cada etapa se requirieron; las figuras, tablas y planos en su orden van relacionadas y presentadas al final de cada capítulo; los planos se presentan en bolsas de acetato para su protección.

1.4 Descripción de actividades

Se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Recopilación y análisis de la información existente.
- Reconocimiento de la zona, por parte de profesionales especialistas en las diversas ramas requeridas para el estudio.

- Levantamiento topográfico detallado.
- Investigación del subsuelo, contempla la exploración del subsuelo mediante la ejecución de trincheras exploratorias (aprovechando los escarpes existentes) y la realización de perforaciones con equipo mecánico de percusión y lavado.
- Estudio geológico y geomorfológico detallado del área de estudio, mediante trabajo de campo y fotointerpretación.
- Inventario de la infraestructura de las viviendas de la zona en estudio mediante formatos de evaluación de edificaciones y encuestas socio – económicas, aplicable en zonas inestables.
- Estudio hidrológico.
- Evaluación geotécnica, análisis de estabilidad para diferentes condiciones y estimativo de la pérdida potencial de suelo por erosión.
- Evaluación y análisis por métodos determinísticos y probabilísticos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.
- Diseño y planteamiento de alternativas de mitigación.
- Estudio de la relación costo/beneficio de las obras propuestas.
- Determinación de cantidades de obra y presupuesto.
- Recopilación de especificaciones técnicas de construcción de obras de contención y de cualquier tipo de estructura requerida para estabilizar la zona.
- Diseño detallado de obras de la alternativa seleccionada.

2. DIAGNÓSTICO CONCEPTUAL DE LA PROBLEMÁTICA DEL SECTOR

De acuerdo con el numeral 3.3 de los términos de referencia, se elaboró en nuestra propuesta un diagnóstico conceptual de la problemática del sector, efectuado por IGL a partir de observaciones realizadas el día de la visita obligatoria al sitio del proyecto. En el presente documento se presenta dicho diagnóstico ajustado, teniendo en cuenta lo siguiente:

a) Indicaciones y comentarios expresados por los Ings. Danilo Ruiz Plazas y Javier A. Millán López, en reunión efectuada con el Ing. Manuel García López en las oficinas de la DPAE, el 16 de diciembre de 1999.

b) Observaciones de campo en visita al área de estudio realizada el 20 de diciembre de 1999, por los Ings. Javier Millán López, Interventor, Danilo Ruiz Plazas, Supervisor DPAE, y los Ings. Hugo E. Acosta, Gladys Segura Junca y Edilberto Granados, el Geól. Mauricio Díaz Salinas y el topógrafo Edward Forero, de Ingeniería y Geotecnia Ltda.

c) Observaciones al borrador del presente informe planteadas por los Ings. Javier A. Millán y Danilo Ruiz Plazas, en reunión efectuada en las oficinas de la DPAE con los Ings. Manuel García López y Gladys Segura Junca (de IGL), el 28 de diciembre de 1999.

2.1 Descripción del problema y sus posibles causas

2.1.1 Localización general

El Barrio El Callejón de Santa Bárbara está localizado al sureste de Bogotá. Abarca un área de unas 10 Ha en terrenos que hicieron parte de una antigua cantera, de forma aproximadamente rectangular con la dimensión mayor en sentido sur-norte de manera que en el costado oriental se encuentra el escarpe dejado por el último frente de explotación (ver la figura 2.1). En el patio de operación de la antigua cantera se han construido dos agrupaciones de viviendas, separadas por una zona todavía sin construcciones en la cual se observan montones de materiales térreos, sobrantes de actividad urbanizadora que se lleva a cabo en la vecindad. En el escarpe afloran arcillolitas y arenitas friables muy meteorizadas, que según nuestras apreciaciones pertenecen a la formación Usme, pero que según otros estudios realizados en zonas vecinas, corresponden a la Formación La Regadera. Aunque este aspecto puede no tener gran influencia en la práctica, se procurará dilucidarlo dentro del estudio.

2.1.2 Estudio de riesgo

El problema de riesgo se relaciona con varios casos de inestabilidad activos y potenciales, que amenazan en grado diverso a las viviendas tanto de la parte alta del escarpe, como de la parte baja, los cuales se describen a continuación en orden de mayor a menor importancia:

a) Deslizamiento de bloques mayores de arenita, siguiendo discontinuidades heredadas del macizo rocoso y disparados por pérdida de soporte debida a erosión natural (por escorrentía) o a excavaciones incontroladas; reactivación de un caso de deslizamiento combinado hundimiento-traslación de bloque, observado en vecindad del extremo sur del escarpe. Estos casos a su vez pueden evolucionar a flujos de tierra en la parte inferior del terreno.

b) Caída de rocas y desprendimiento de bloques o cuñas de detritos de la parte superior, de tamaños comprendidos entre 0.5 y 1.5 m de lado, los cuales pueden causar daños locales o poner en peligro vidas humanas, sobretodo en el sector nororiental del antiguo escarpe de explotación.

c) Formación de surcos y zanjas de erosión paralelas a la pendiente del talud, produciendo bloques o losas (bloques alargados verticales) que pueden caerse y ocasionar daños. Estos fenómenos deben tomarse como contribuyentes a la inestabilidad en masa o eventualmente como disparadores de otros movimientos al eliminar soporte de masas potencialmente inestables. También pueden ser fuente de flujos de lodo o de detritos locales, casi siempre de pequeña magnitud en el área según apreciaciones de IGL confirmadas con el relato de moradores de aquella.

d) Pequeños flujos de tierra (arena) y eventualmente de lodos que se pueden producir durante aguaceros fuertes o prolongados, en especial a lo largo de algunas cárcavas.

Las posibles causas de estos problemas son las siguientes:

- La pendiente y altura del escarpe, sobre todo en la mitad norte de éste.

- El estado de meteorización de las arenitas friables que predominan en el escarpe, y de las intercalaciones de arcillolita. Como se trata de rocas blandas, son de alta degradabilidad, factor que hace que los materiales que forman el talud sean fáciles de erosionar.

- La existencia de fracturas o diaclasas que subdividen a los estratos en bloques y cuñas con paredes verticales a subverticales, caso más notorio en el sector sur de la zona de estudio (INGEOMINAS, 1988).

- De acuerdo con la Zonificación Sísmica de Santafé de Bogotá (de la Unidad para la Prevención de Emergencias del Distrito (UPES), la Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (DNPAD) e INGEOMINAS), el área de estudio se encuentra en la Zona 5 conformada por terrazas y conos con aceleración nominal de 0.3.

- Aspectos de tipo antrópico, como los siguientes:

  - Alteración del terreno inclinado, por excavaciones para construcción de cimientos y muros.

  - Remoción de soporte por excavación en la pata del escarpe para construcción de partes de las viviendas o para la explotación apenas artesanal de arena.

  - Posibles fugas de los conductos de aguas lluvias o de alcantarillados de las casas localizadas en proximidad al borde del escarpe de explotación.

  - Socavación por efecto de aguas residuales de viviendas o por escorrentía en flujo concentrado en zanjas naturales o en caminos y excavaciones cerca de la pata del talud.

  - Arrojo de basuras, aspecto notado en el sector sur del escarpe.

2.2 Requerimientos de topografía y exploración del subsuelo

2.2.1 Topografía

Se requiere el levantamiento topográfico de un área que abarca unas 10 Ha comprendida entre la carrera 5 Ñ en la parte baja al occidente; la divisoria de aguas del cerro al noreste del escarpe, en vecindad con un sector del Barrio El Mirador de Marruecos (carrera 5 N) en la parte alta; al noroeste, el barrio Zarazota, y al sur la calle 48M Sur, que la separa de un conjunto cerrado. Ingeniería y Geotecnia Ltda. efectuará el levantamiento topográfico directo del área de estudio, por medio de secciones transversales separadas cada 10 m en el escarpe, y por radiación en la parte baja se tomarán todos los detalles, donde se encuentran las viviendas del barrio. Desde luego que podrán hacerse secciones menos separadas o adicionales donde las irregularidades superficiales del talud lo ameriten. Se obtendrán curvas de nivel cada 1.0 m, dando especial cuidado a escarpes, grietas, salientes, etc., que permitan completar el análisis de amenaza.

2.2.2 Exploración del subsuelo

Se proponen dos etapas en la exploración, en la primera se definirá el modelo geológico y geomorfológico con el fin de caracterizar en detalle el talud y en la segunda se determinará el muestreo con el fin de obtener los parámetros para análisis, el levantamiento del perfil estratigráfico en numerosos afloramientos, escarpes y cortes en la zona, y la ejecución de trincheras en puntos especiales del escarpe y del contacto con depósitos de ladera para determinar el espesor de la roca meteorizada y su variación en cada material. Se plantean 70 m de trinchera con longitudes de 5 a 10 m cada una, localizadas en unos 10 sitios.

En la propuesta se plantearon dos sondeos eléctricos verticales (SEV´s) localizados en la parte media del área de estudio, para determinar los espesores de los rellenos existentes; en la visita del 20 de diciembre se sugirió por parte de la Interventoría cambiar estos sondeos por exploración directa con trincheras o apiques y ensayos de laboratorio. En atención a esta sugerencia, IGL propone eliminar los SEV's, que tenían un costo de $900.000= y reemplazarlos por lo siguiente:

a) 2 días de trabajo (1 en campo y otro en oficina) de la Ingeniera Agrónoma Hilda H. Silva, Asesora en estudios de erosión: $ 467.460,oo

b) Adición en ensayos de corte directo y erosionabilidad: $ 432.540,oo

2.2.3 Ensayos de laboratorio

Se tomarán muestras en bolsa y en bloque para realizar ensayos de clasificación, resistencia al corte (esfuerzo cortante directo) y erosionabilidad (aproximada mediante el ensayo de "pin-hole" o determinada mediante observaciones de campo y pruebas de laboratorio apropiadas). En relación con estos últimos se adiciona una visita al área de estudio por la asesora de IGL en estudios de erosión Ing. Agrónoma Hilda H. Silva, con cargo a la suma para ensayos resultante de la eliminación de los SEV's. Se adjunta el presupuesto reformado y la hoja de vida de la mencionada asesora.

Se agrega que los ensayos se harán en dos etapas: en la primera se realizarán los de clasificación (determinación de propiedades índice), convenientes para ayudar a definir el modelo geológico-geotécnico. En la segunda se enfocarán los ensayos a la determinación de parámetros necesarios para los análisis de estabilidad; se tomarán las muestras adicionales necesarias para ensayos de corte directo, en algunas trincheras de las ya ejecutadas.

2.3 Modelos y metodologías de análisis geotécnicos y de evaluación de amenaza

El análisis geotécnico y de riesgo que realizaremos en el presente estudio, parte de la base de que el grado de inestabilidad de bloques predefinidos estructuralmente en un determinado talud, puede ser evaluado utilizando modelos generalmente bidimensionales que tienen en cuenta las dimensiones y direcciones de las discontinuidades, así como las características mecánicas de las rocas. Se realizarán las siguientes actividades:

2.3.1 Levantamientos e Inventarios

1) Elaboración de un modelo geológico de la zona a partir de un levantamiento geológico detallado de la misma y disposición estructural de las unidades. Dado que el propósito principal del estudio se relaciona con la determinación de zonas vulnerables a caída de rocas y de detritos, en el levantamiento geológico se incluirán registros y observaciones de aspectos como los siguientes:

   a) Condiciones del macizo rocoso que pueden ser causa directa de caídas de materiales:

   Las caídas se originan en rocas o detritos que ya se han separado del macizo rocoso. La separación es un proceso que se desarrolla en el tiempo y que se debe a la combinación de factores internos y externos. La separación y caída de fragmentos predelimitados por discontinuidades de las rocas o por fenómenos de meteorización, ocurre en función de la orientación de las superficies de discontinuidad, y de la relación de su ángulo de buzamiento con el de la cara del talud o superficie del escarpe.

   La caída de roca, suelo o detritos, como los demás movimientos gravitacionales, tendrá lugar cuando se excede en el talud considerado el límite para el equilibrio de los materiales que lo componen.

   Detallando un poco más lo relativo a las causas directas de las caídas, enunciamos las siguientes:

   - Alargamiento o ensanchamiento de fisuras debido a factores climáticos como la alternancia de períodos húmedos y secos (según la pluviosidad) que producen cambios volumétricos (expansión-contracción) sobretodo en la componente arcillosa del escarpe. Contribuye la acción de raíces.

   - Pérdida de elementos rocosos conectores entre bloques o piezas de la estratificación, por rotura mecánica o deterioro químico.

- Superación del límite de altura o pendiente frontal, de zonas o elementos en extraplomo o talud negativo.

- Superación del umbral de fricción estática de uno o más bloques en equilibrio límite, debido a sismo, explosiones, hidratación de arcillas o incremento en presiones hidrostáticas.

- Aumento de la pendiente frontal por deformación lenta, como la debida a reptamiento de zonas del talud o de depósitos colgados.

- Pérdida de matriz cementante de bloques o de relleno cementante o encajante de discontinuidades entre bloques, en coluviones o macizos rocosos fracturados, respectivamente, por erosión y meteorización, dejando los bloques libres o separados en disposición de caer.

2) Con el fin de evaluar las condiciones del talud se realizará el análisis estático y dinámico para determinar la posibilidad cinemática de caída de bloques.

   En la Tabla 2.1 se condensan los aspectos que pueden servir como guía para el diagnóstico de caídas.

   Evolución de los procesos de inestabilidad, mediante comparación de fotografías aéreas y planchas del IGAC de diversas fechas y la memoria histórica de habitantes de la zona. Al respecto ya se solicitaron al IGAC varias fotografías de los siguientes vuelos y se adquirió la Plancha #70, escala 1:5000 de 1960 que contiene la zona del barrio antes de cualquier desarrollo habitacional.

VUELO	FECHA	ESCALA
C1675	Agosto, 1976	1:21400
C2323	Diciembre, 1987	1:24900
R1183	Febrero, 1992	1:14100

3) Análisis de estabilidad de taludes (probabilístico, estático y dinámico) de todos los casos de inestabilidad detectados, incluyendo el análisis con las obras de estabilización que se recomienden.

   - Análisis determinístico mediante el método de Janbu, u otro que se considere apropiado, tanto en el caso estático como en el dinámico, utilizando el programa de computador PC-Stable. Análisis probabilístico según Harr (1987), Van Marcke (1999) u otros.

- Análisis de caída de bloques, empleando métodos de Hoek y Bray (1994) y de Hoek (1998).

- Si se comprueba que algunas zonas se encuentran sobre botaderos de estériles de la explotación se emplearán métodos analíticos y gráficos desarrollados para este caso por Hoek y Bray, 1994, o por Y.H. Yuang, 1977.

4) Inventario detallado de viviendas en el área, estado de las mismas, tipología estructural y nivel de daños en caso de que existan. Determinación del número de moradores en zonas de riesgo.

5) Avalúo del costo de dichas casas. Estimativo del costo de evacuación y reubicación de familias, demolición de casas, terraceo, reconformación y demás obras de estabilización necesarias.

6) Definición de criterios para zonificación por grado de amenaza y riesgo, y criterios para definir grados de vulnerabilidad en elementos expuestos. En relación con la amenaza por caída de rocas y detritos se tendrán en cuenta las guías de diagnóstico contenidas en la tabla 2.1.

7) Estimativo de la cantidad de lluvia en la zona, posibilidad de saturación de materiales de depósito y empleo de correlaciones entre la precipitación y la generación de deslizamientos. Con estos datos y los que se obtengan de la actividad siguiente, se diseñarán las obras de drenaje para estabilización del terreno.

8) Estimativo de la cantidad de aguas residuales o negras aportadas desde las viviendas de la parte superior del escarpe y las de la zona plana interior hacia estructuras de drenaje. Los resultados de esta actividad se utilizarán también en el diseño conceptual de sistemas de alcantarillado nuevos y evaluación de los existentes.

9) Análisis costo/beneficio de las alternativas de mitigación (obras de drenaje y contención, reconformación, etc.; ver el Cap. 5).

10) Diseño detallado de obras correctivas, su dimensionamiento y estimativo de cantidades de obra y costos.

TABLA 2.1

FACTORES PARA EL DIAGNOSTICO DE CAIDAS
(Adaptada de Flageollet y Weber, Cap. 2 de R. Dikau et al, 1996)

<table>
<tr><th>Caídas antiguas</th><th>Caídas potenciales</th></tr>
<tr><td rowspan="2">1- <u>Naturaleza de las cicatrices</u>: donde han tenido lugar caídas de roca en el pasado, son visibles ciertas “cicatrices” cuya antiguedad es indicada por diferencias de color de la roca. Pueden encontrarse huecos rectangulares o curvos, o en cuña. Ocasionalmente pueden hallarse “puentes” o “vigas” de roca entre partes del macizo en estabilidad precaria.</td><td>1- <u>Naturaleza del talud rocoso</u>: Empinado a vertical; con extraplomos o negativos y repisas o voladizos; socavado o excavado en la pata; con grietas abiertas cercanas a la cara del talud.</td></tr>
<tr><td>2- <u>Estructuras rocosas</u>: buzamiento de la estratificación u orientación de diaclasas y fallas inclinadas o abriéndose hacia la cara libre del talud.</td></tr>
<tr><td>2- <u>Apilamiento de detritos</u>: Los montones de detritos, talus, conos de roca suelta en la pata de taludes rocosos, o de bloques despegados en coluviones u otros depósitos; rellenos masivos de valles, represas naturales.</td><td>3- <u>Relleno blando de discontinuidades</u>: diaclasas o fracturas rellenas con suelo blando; zonas de brecha muy alteradas, intercalaciones de materiales blandos.</td></tr>
<tr><td>3- <u>Depósito relativamente consolidado</u>: Si la caída fue esencialmente de detritos, entonces la forma resultante puede ser la de un depósito coluvial formado por bloques rocosos embebidos en una matriz redistribuida (por ejemplo los depósitos originados en caídas de materiales de antiguas morrenas).</td><td>4- <u>Presiones hidrostáticas</u>: cuando hay altas presiones del agua infiltrada. Los períodos lluviosos intensos, o los muy prolongados, pueden causar frecuentes caídas.

5- <u>Superficies sometidas a erosión</u>: todo talud erosionado en detritos o en suelo es susceptible de sufrir caída de bloques o colapso de terreno fisurado. Estos taludes se degradan con facilidad, de manera que hay desprendimiento y caída de bloques ante lluvias fuertes u otras perturbaciones del terreno.</td></tr>
</table>

2.3.2 Evaluación de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo

a) Conceptos generales:

Para esta evaluación se tomarán como referencias generales, los métodos para estudio de riesgo por fenómenos de remoción en masa expuestos por J.A. Millán (1998), Soler y otros (1999), adicionando lo pertinente del enfoque dado en otros estudios de IGL y en artículos escritos por el Director del Estudio (M. García) o por otros autores colombianos y extranjeros entre los primeros O. D. Cardona, J. T. Montero y A. J. González. De interés un planteamiento de Cantillo según el cual se busca evaluar el "riesgo asociado a fenómenos de remoción en masa en un contexto de tiempo-espacio, correspondiente a un sistema territorial compuesto por subsistemas interrelacionados e interdependientes que son básicamente el subsistema físico y el subsistema sociocultural de la comunidad usuaria de ese espacio en el periodo de tiempo en consideración".

Para el caso específico de caída de rocas y de detritos se seguirá el método presentado por E. Hoek (1998), "Analysis of rockfall hazards". Se trata de un enfoque semicuantitativo que incluye consideraciones sobre: Mecanismos de las caídas de roca, medidas de mitigación, Sistema de Evaluación de la Amenaza por Caída de Rocas y Análisis de Riesgo por caída de rocas sobre carreteras; este último aspecto será desde luego adaptado para el caso presente, en el cual no se tiene una carretera en la base del talud, sino una zona habitada.

b) Amenaza:

Se complementará la metodología propuesta por J.A. Millán, (1998). Complementando en caso necesario con criterios o conceptos enunciados en el trabajo de Cantillo (1998) y los demás tratadistas mencionados al comienzo; además de los aspectos mencionados en 3.1, se considerarán los siguientes factores para la evaluación de la amenaza:

- Topografía.
- Tipo de materiales en el área estudiada.
- Procesos degradacionales de los materiales del talud existentes.
- Susceptibilidad a la erosión.
- Precipitación.
- Sismicidad.
- Actividad antrópica.

Bajo esta perspectiva conceptual se pueden definir las zonas de amenaza que se describen en el capítulo 4.

c) Vulnerabilidad:

Se aplicará la metodología planteada por Soler et al (1999) teniendo presente el factor de escala, o sea, el grado de detalle exigible para un área pequeña (en relación con la considerada en el trabajo de Soler) como la del Callejón de Santa Bárbara. Se evaluará la vulnerabilidad física a partir de una tipificación de las viviendas con base en criterios estructurales. Las de la parte alta del escarpe, un alto porcentaje de la zona norte del Barrio El Callejón de Santa Bárbara y una menor proporción de las del grupo de la zona sur, son viviendas con sistema de vigas y columnas. En la zona sur existen casas con condiciones estructurales y constructivas de menor calidad. Dentro del inventario que se mencionó en 2.3.1, se efectuará en cada edificación una calificación de los daños observados.

Las solicitaciones de amenaza por considerar serán las relacionadas con caída de bloques, deslizamientos, erosión (arrastre y depósito de materiales) y flujos locales de tierra y de lodos, y para la parte baja de la zona, los procesos de inestabilidad que pueda generar el relleno de la zona media del barrio, o la erosión de terrenos destapados. Se dará atención a la posibilidad de que haya edificaciones apoyadas parcialmente en corte y en relleno construido sin control ingenieril y a la eventualidad de carácter expansivo de las arcillolitas presentes en la zona. Se identificará el tipo de proceso, el proceso en sí y la localización con respecto a los posibles afectados.

d) Riesgo:

A partir de los mapas temáticos de amenaza y vulnerabilidad se evaluará el riesgo por fenómenos de remoción en masa. Conceptualmente las zonas de riesgo se asociarán a las zonas correspondientes ya definidas de amenaza, considerando que la vulnerabilidad puede ser mayor en la parte sur y sureste de la zona por estudiar. Teniendo en cuenta las complicaciones asociadas con la calificación usual de riesgo, alto, medio y bajo, esta parte del estudio se irá afinando mediante la consulta de experiencias de la DPAE, estudios previos realizados para esta entidad y trabajos del Interventor J. A. Millán.

2.4 Evaluación conceptual de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo actuales del área de estudio

2.4.1 Consideraciones generales

Las amenazas para los habitantes del barrio y sus propiedades varían según la localización de las casas:

a) Las viviendas del borde superior del escarpe, tercios medio y sur, y las del sector norte de la parte plana inferior, son de buena calidad estructural, con vigas, columnas y placas de entrepiso de concreto y muros de bloque o de ladrillo. Estas construcciones tienen entre uno y cuatro pisos de altura.

b) Las construidas en la parte plana, que se encuentran en proximidad de la pata del talud, presentan peligros por caída de rocas y desprendimientos de materiales de la parte superior. En efecto, en el tercio norte del escarpe, hubo un desprendimiento de materiales de la parte superior que afectó tres viviendas, las cuales quedaron parcialmente destruidas y sus habitantes tuvieron que ser reubicados por la UPES.

c) Las viviendas del sector sur-oriental de la parte plana son en su mayoría construcciones hechas parcialmente con muros de ladrillo, y en parte con latas y tablas, y unas pocas tienen muros de ladrillo y vigas y columnas de concreto reforzado.

d) En la parte media de la zona baja, se encuentra un lote vacío de gran extensión, el cual ha sido ocupado con desechos de excavación provenientes de la urbanización El Pedregal, localizada al nor-occidente del barrio en estudio.

2.4.2 Zonificación preliminar

Como hipótesis de partida se plantea la siguiente zonificación:

a) Amenaza alta:

- El sector norte y nororiental del escarpe. Su talud presenta la pendiente y altura mayores y por tanto es más susceptible de desprendimientos y flujos localizados de materiales de la parte superior del escarpe que pueden afectar viviendas existentes, cerca de la pata del talud. De hecho, ya se han presentado éstos fenómenos con la consecuencia de que han tenido que ser evacuadas tres casas, como se mencionó antes. Modera un poco la situación de riesgo el hecho de que en este sector no hay casas en la corona del escarpe o cerca de ésta.

- El tercio medio del escarpe general. Aunque en este sector la altura del talud va siendo menor que en el del norte, y la pendiente es también menos fuerte, hay casas de tres pisos muy cerca a la cresta del escarpe, de manera que cualquier fenómeno de inestabilidad podría afectarlas fácilmente. Además, en la mitad sur de este sector existe una zona de pendiente menos fuerte que la del talud principal del borde oriental, en la cual afloran arcillolitas con delgadas intercalaciones de arenita, que abarca los dos tercios inferiores de la altura del talud principal. La pata de esta zona termina casi exactamente en el cerramiento de latas de zinc de las instalaciones del antiguo campamento de urbanizadores.

Dicha zona es prácticamente una rampa o tobogán que llevaría hacia y sobre dichas casas con gran facilidad, los materiales que se deslicen, fluyan, se erosionen o se dispongan sin control en la parte superior del escarpe o se desprendan de la zona misma. Dada la alta vulnerabilidad de la mayoría de las viviendas de esta zona, por sus características estructurales precarias, los riesgos en esta parte son altos.

- Un sitio de deslizamiento de bloques y flujo de tierras en el tercio sur del escarpe. El fenómeno semidestruyó una casa de la parte alta del talud y produjo daños tanto en una casa vecina (al lado norte de la anterior), como en otra de la parte baja. La vivienda del lado norte fue reparada posteriormente, utilizando columnas de concreto apoyadas superficialmente, haciendo una pequeña excavación en el talud para la construcción de las zapatas. Quedó expuesta la arenita friable fracturada en el escarpe local de este caso, y por consiguiente hay alta posibilidad de que se repita el fenómeno y abarque lo restante de la casa y su vecina al norte. Se observan en la parte alta restos de cimientos y muros de contención adosados al escarpe local y a su flanco derecho, los cuales pueden derrumbarse ante erosión intensa, o por efecto de sismo y arrastrarían paredes vecinas o pequeños enrocados de contención que se han colocado en algunos puntos. Agravan la situación las posibles filtraciones de aguas negras que se notan por la coloración verdosa del terreno, en el flanco derecho del deslizamiento.

  Continuando hacia el sureste del deslizamiento y sobre su flanco izquierdo, se encuentra un deslizamiento de bloque antiguo, de arenita meteorizada, del tipo combinado hundimiento-traslación y luego, ya avanzando hacia el espaldón de un terraplén de acceso a la parte alta, se ven varios trinchos de madera y un relleno de material suelto semicubierto con sacos de suelo, todo esto en condiciones muy precarias, imponiendo serio peligro a un grupo de casas donde hay un letrero de "Venta de Bloque, Ladrillo y Arena".

b) Amenaza intermedia:

Se clasifica tentativamente en esta categoría el resto del escarpe no incluido en el literal (a), en sus zonas media y sur, donde presenta menor altura y pendiente más suave. Incluye tanto el escarpe mismo como algunos depósitos que ocupan su base.

Pueden ocurrir en estas zonas los fenómenos de erosión en zanjas y cárcavas y los flujos de tierra y de lodos locales que ya se han mencionado y que pueden incluir ocasionales bloques de arenita algo más dura.

c) Amenaza baja:

Se asigna a esta categoría el relleno o botadero de la zona central de la parte baja del área. Dado que son materiales sueltos y de composición algo errática y con

volumen en aumento, plantean la posibilidad de originar procesos de erosión y de flujo de detritos y de lodos, que además de afectar las casas vecinas, sobretodo las de la zona sur del barrio, también podrían amenazar tanto la vía de acceso principal (Carrera 5 Ñ), como las viviendas de barrios vecinos.

2.5 Alternativas de solución

Las soluciones para el presente caso pueden referirse a la ejecución de las siguientes obras y a la continua colaboración de la comunidad:

2.5.1 Caída de rocas y de detritos rocosos

Siguiendo a Hoek (1998) pueden plantearse preliminarmente obras correctivas y preventivas como las siguientes:

a) Fijación en el sitio o remoción controlada de bloques críticos que pueden imponer amenaza por si mismos, o porque su desprendimiento del talud puede precipitar caídas mayores de roca.

   Esto atiende al tipo más peligroso de caída de rocas que ocurre cuando un bloque se suelta súbitamente de la cara de un talud sano en apariencia, por deformaciones relativamente pequeñas en la masa rocosa que lo rodea. Esto puede ocurrir cuando cambian las fuerzas que actúan a través de discontinuidades, que delimitan un bloque de sus vecinos; esos cambios pueden ser causados por presiones de agua en los planos de discontinuidad, o por reducción de la resistencia al corte en esos planos ante deterioro de los materiales debido a meteorización.

b) Reducción de niveles de energía asociados con excavaciones. Se refiere a evitar la aplicación de cargas vibratorias (fuerzas de alta intensidad y corta duración) al talud. De preferencia excavar a mano, sin explosivos o escarificadores, o utilizar agentes químicos expansivos para romper grandes bloques.

c) Restricción física de caídas de roca. Abarca las bermas o terrazas, barreras, escudos, trampas, fosos, mallas metálicas adosadas al talud y revestimientos malla-mortero.

d) Anclajes con pernos (pasivos), con cables (activos) y pantallas ancladas.

2.5.2 Reconformación de zonas inestables

Esto puede plantearse en áreas de roca muy meteorizada, especialmente de la parte media y sur del escarpe, donde se encuentran viviendas muy próximas al borde, mediante terraceo, drenaje, contención y revegetalización.

2.5.3 Retiro parcial de material deslizado

Esta actividad puede consistir en el retiro controlado de bloques y materiales de la parte alta del escarpe que amenacen viviendas, en las zonas media y norte, complementado con el peinado de escarpes y sellado de grietas con materiales del sitio en la parte sur del escarpe.

2.5.4 Terraceo de rellenos y protección de la pata de éstos

Puede incluir el retiro parcial o total de los materiales dispuestos en la parte media del terreno y la construcción de estructuras de contención adecuadas.

2.5.5 Evacuación de edificaciones en condición muy crítica

Abarca la reubicación de sus habitantes, la demolición de edificaciones y la recuperación geotécnica y ambiental de los lotes o rellenos que ocupaban.

2.5.6 Recalce de cimentaciones

Puede requerirse en edificaciones existentes en la parte superior del escarpe y el mejoramiento estructural de varias de la parte plana inferior, para aumentar su capacidad de respuesta a procesos de falla disminuyendo la vulnerabilidad física.

2.5.7 Drenaje superficial y profundo

a) Se trata de las obras de tipo interceptor y de captación como canales, zanjas y cunetas revestidas con concreto, especialmente en la parte alta del escarpe. Abarca el drenaje subsuperficial con filtros y trincheras drenantes, y los drenes horizontales.

b) Se contemplará la conveniencia de incluir obras de drenaje menores en zonas que aún no han sido construidas con el fin de adecuarlas para una futura construcción o en los casos críticos, destinarlas como zonas verdes de recreación.

c) Canalización y conducción por tubería de caños de aguas negras y entregas con estructuras adecuadas. Control de entregas finales de los sistemas de aguas lluvias y alcantarillados.

2.6 Metodología de trabajo

De acuerdo con los requerimientos de la Dirección para la Prevención y Atención de Emergencias, y la experiencia obtenida por IGL en trabajos anteriores similares y teniendo en cuenta las indicaciones dadas a IGL en las reuniones del 16 y el 28 de diciembre de 1999, se propone la siguiente metodología de trabajo:

2.6.1 Recopilación y análisis de información existente

Se reunirá y consultará la información disponible sobre cartografía, fotografías aéreas, registros hidrometeorológicos y climáticos, mapas geológicos y de suelos y planos topográficos con la localización de obras civiles, vivienda e infraestructura del área, en entidades como el IGAC, IDEAM, INGEOMINAS, EAAB, Planeación Distrital, la información que suministre la Dirección de Atención y Prevención de Emergencias y los archivos de INGENIERÍA Y GEOTECNIA LTDA.

La interpretación de las fotografías aéreas disponibles de la zona será una herramienta básica para el estudio de la evolución de procesos, desarrollo de los barrios y de las explotaciones y rellenos de estériles en la ladrillera, su evolución temporal y la determinación de tendencias de comportamiento del terreno. Además, será básica para labores de zonificación y sectorización.

2.6.2 Reconocimiento de la zona

Se efectuará un reconocimiento detallado del área de estudio por parte de especialistas en Geotecnia, Geología y Erosionabilidad de Suelos, durante el cual se adelantarán las siguientes labores principales:

- Evaluación geológica general del área.
- Identificación de fenómenos geológicos de mayor relevancia e incidencia en los fenómenos de erosión y remoción en masa que se han presentado.
- Identificación de las diferentes formaciones y materiales, disposición de estratos, depósitos cuaternarios, afloramientos rocosos, corrientes y afloramientos de agua.
- Sectorización geológica y geomorfológica.
- Definición de sitios de exploración del subsuelo.
- Identificación de elementos en riesgo por fenómenos de remoción en masa.

- Identificación de los efectos de socavación producidos por las aguas lluvias o provenientes de daños de tuberías.

2.6.3 Levantamiento topográfico

Ver el numeral 2 del diagnóstico conceptual.

2.6.4 Exploración del Subsuelo y Ensayos de Laboratorio

Se describen en el numeral 2 del diagnóstico conceptual.

Formatos de evaluación de daños: durante la exploración del subsuelo se diligenciará un formato de evaluación de daños en edificaciones para análisis de vulnerabilidad, similar al empleado en estudios anteriores para la UPES.

Para los fenómenos de remoción en masa se utilizarán formatos similares a los del INVIAS (diseñados originalmente por el Geól. J. Montero), con adaptaciones introducidas por IGL en otros estudios.

2.6.5 Evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo

Se efectuará de acuerdo con los planteamientos generales esbozados en los numerales 3 y 4 del diagnóstico conceptual. Se harán las adaptaciones o conversiones necesarias para manejarlo con base en un Sistema de Información de Riesgos para el Distrito Capital, con mapas en los formatos establecidos por la DPAE. También se ajustará el inventario de viviendas al sistema definido por la DPAE.

2.6.6 Análisis, planteamiento de alternativas e Informe Final

Con toda la información recolectada se procederá al planteamiento de alternativas de mitigación. Una vez se defina una alternativa se efectuarán los diseños detallados correspondientes. Como resultado se entregará un informe con todos los productos finales mencionados en el numeral 6.6 del capítulo 6 de los términos de referencia y otros que resulten necesarios.

2.7 Referencia bibliográfica

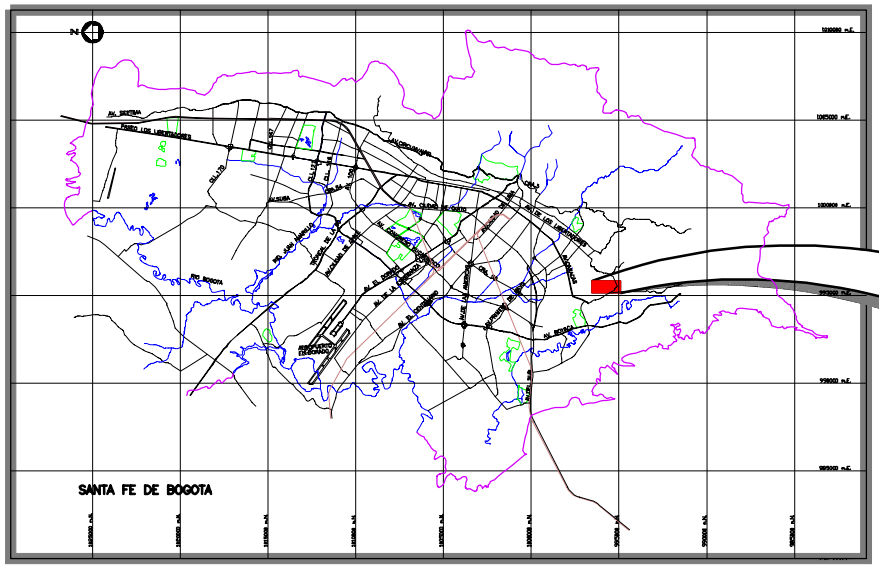
- Cantillo, C., (1998). “Propuesta Metodológica para la Evaluación de Riesgos por Movimientos en Masa a Escala Local”. Trabajo final de la especialización en Evaluación de Riesgos y Prevención de Desastres, Universidad de Los Andes, Bogotá.

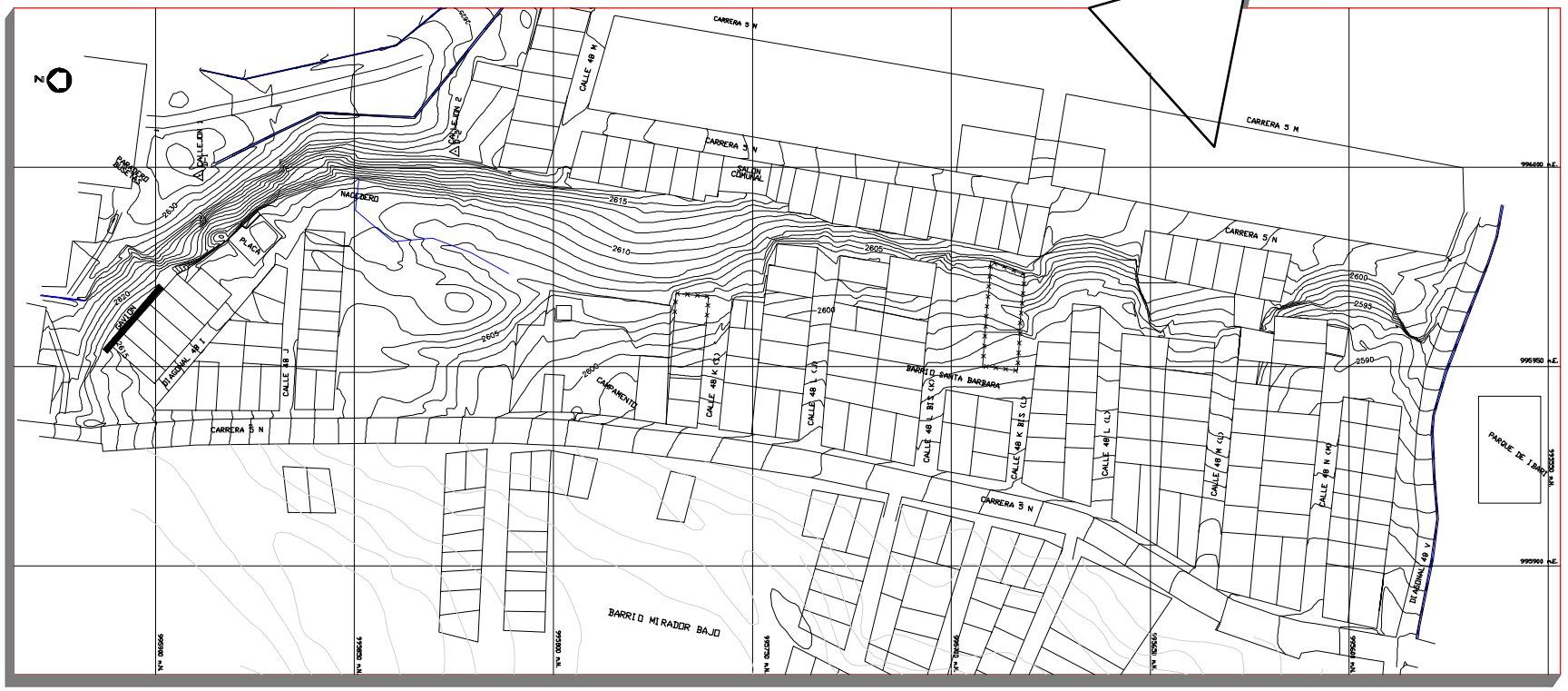
- IGL (1997) “Asesoría Geotécnica para el tratamiento de la zona inestable en un sector del borde sur de la Urbanización Zarazota”. Trabajo #1545, realizado para Soluciones Urbanas, Compañía Constructora. Bogotá, enero.

- Millán, J.A., (1998) "Lineamientos Metodológicos para la Evaluación de la Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa", Proyecto de Grado para optar al título de Magister en Geotecnia, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

- Hoek E. y Bray, J.W. (1994) “Rock Slope Engineering”. Institution of Mining and Metallurgy, 3ª Ed. revisada, Londres. Hoek E. (1998) “Rock Engineering”. Edición de la CBMR, CBT, y ABMS, Sao Paulo, Brasil.

- Dikau, R., et al (1996) “Landslide Recognition - Identification, movement and causes”. Wiley & Sons, Chichester, UK.





Secretaria
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTA D.C.

DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS

FUENTE:

PLANO DE LA CIUDAD DE SANTA FE DE BOGOTA, D.C.
INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI, DE 1998
ESCALA 1:30000
PLANO No. RU: 3/4 – 04
DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANEACION DISTRITAL
ESCALA 1:1000

ELABORO:

INGENIERIA Y GEOTECNIA LTDA
INGENIEROS CONSULTORES

INTERVENTORIA:

JAVIER A. MILLAN L. & ASOCIADOS

FIGURA ESQUEMATICA

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCION EN MASA EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR EL ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION BARRIO CALLEJON DE SANTA BARBARA LOCALIDAD RAFAEL URIBE URIBE.

CONTRATO DE CONSULTORIA CSS-526/99

LOCALIZACION GENERAL

FIGURA No.
1

NOMBRE DEL ARCHIVO : LOCA-GEN.DWG

NOMBRE INTERNO : OS C:\1874\LOCA-GEN.DWG

3. LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO

3.1 Método de trabajo

Una vez definida el área de estudio, se programó el levantamiento topográfico detallado de la misma; por medio de un eje base en sentido norte-sur y a partir de éste, se levantaron secciones transversales cada 10.0 m, además, por radiación se realizó el levantamiento de los detalles en los sectores donde fue necesario.

El levantamiento se realizó con un Teodolito marca TOPCOM y un Distanciómetro SOKKISHA referencia RED-2A. Para realizar este trabajo se partió de las placas IGAC CD 764 y 765A localizadas en la Avenida Caracas, con el azimut que aparece en la descripción que se anexa; estas placas pertenecen al Sistema Cartesiano plano de Santafé de Bogotá (EAAB).

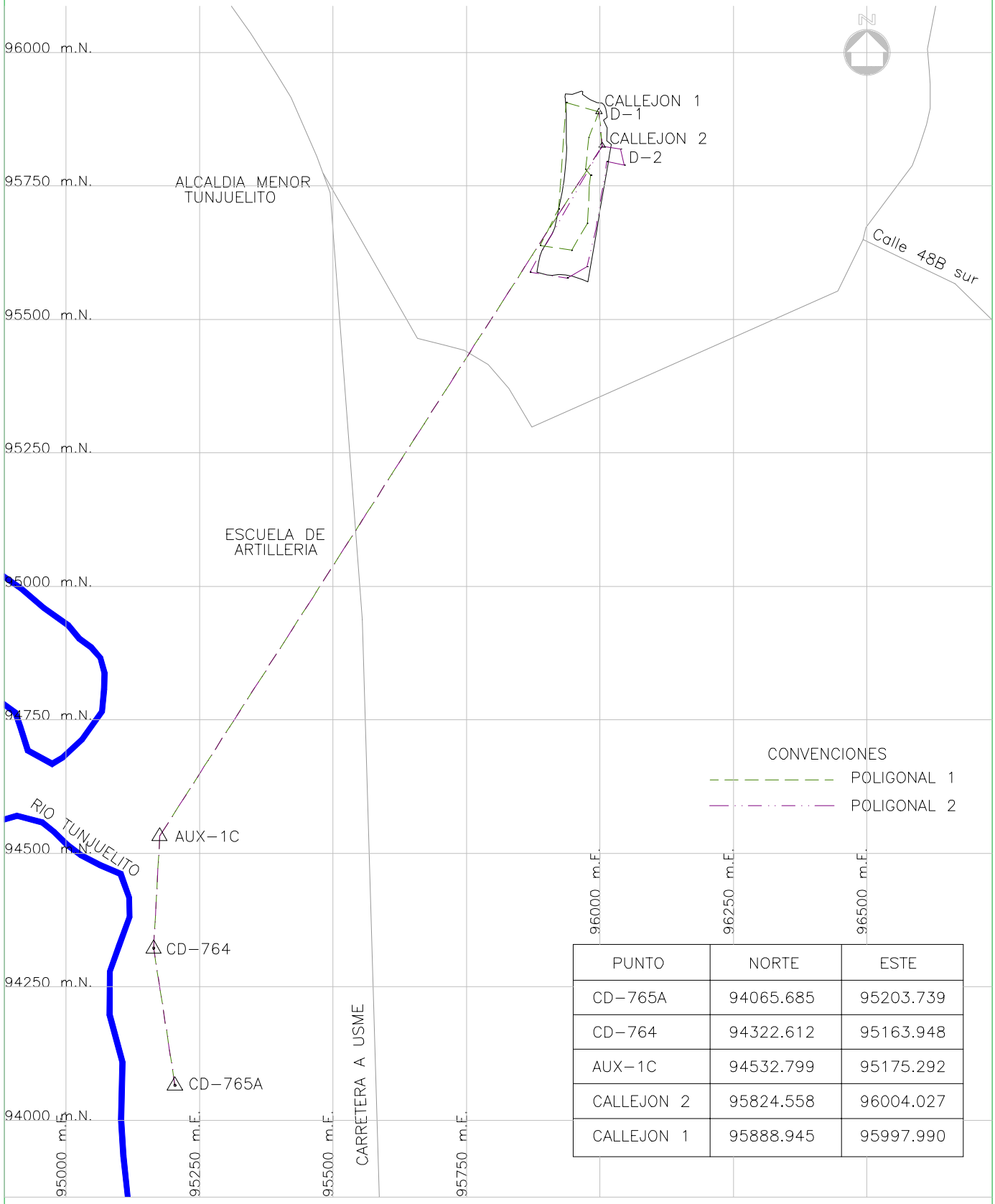
Para el levantamiento se hicieron dos poligonales cerradas, como se aprecia en la figura 3.1 y en el plano 3.1, la primera, POLIGONAL 1 tiene una longitud de 685 m; arranca en la placa CD765A, de ésta pasa a la placa CD764 y luego al AUX-1C de este a los mojones CALLEJON 2 y CALLEJON 1 que están materializados en el área de estudio, de allí sigue esta trayectoria, de K0+030 a K0+090 de este a K0+100 luego al K0+120 y a los deltas D-3, D-4. D-5, D-6, D7, y los mojones CALLEJON 1 y CALLEJON 2; esta poligonal cerró con una error angular de 44.997 seg, una precisión horizontal de 1:23524 y una precisión vertical de 0.026 m/km como se aprecia en el resumen anexo.

La POLIGONAL 2 arranca en las mismas placas IGAC y después del AUX-1C llega al mojón CALLEJON 2 continuando en los deltas D-1A, D-2A, D-3A, D-4A, D-5A, D-6A, D-7A y cierra en el mojón CALLEJON 2; esta poligonal tiene una longitud de 690,58 m; el error angular de cierre es de 24.997 seg, y la precisión horizontal de 1:19109 y la precisión vertical de 0.065 m/km; en los taludes se tomaron 30 secciones transversales.

El resumen de las poligonales se encuentra en las figuras 3.2 y 3.3 y se anexa copia de la cartera de campo. (Ver anexo A).

La interpretación de las curvas se realizó con el Programa Especializado para el cálculo plano POL-TOP-2 que utiliza el método de interpolación lineal y para la presentación se utilizó el AUTOCAD V14 y el EAGLE para AUTOCAD V14.

INGENIERIA Y GEOTECNIA LTDA
INGENIEROS CONSULTORES



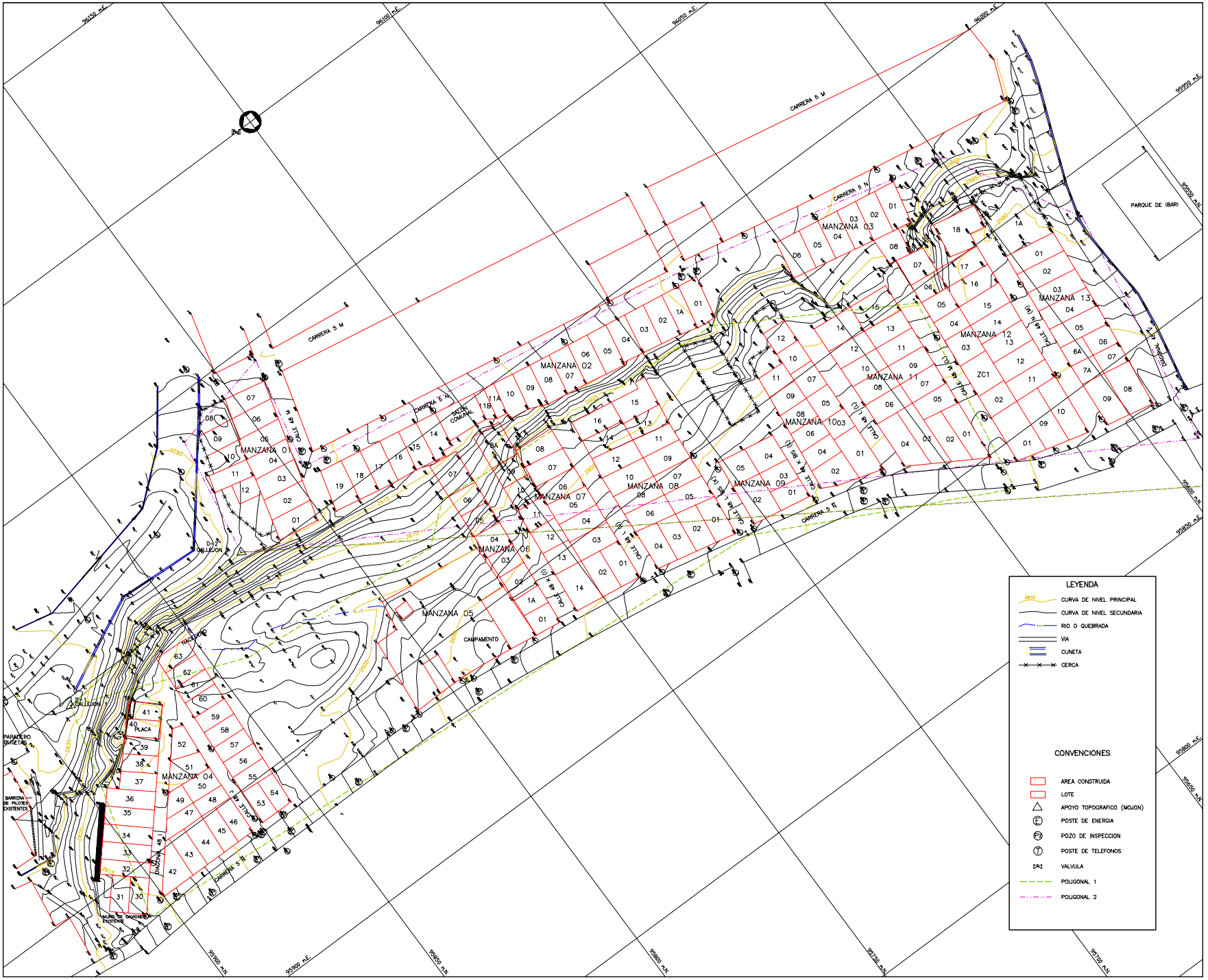
PUNTO	NORTE	ESTE
CD-765A	94065.685	95203.739
CD-764	94322.612	95163.948
AUX-1C	94532.799	95175.292
CALLEJON 2	95824.558	96004.027
CALLEJON 1	95888.945	95997.990

LOCALIZACION DE POLIGONALES

ESCALA 1:10000

FIGURA 3.1

OS C:\1874\LOCA-POL



Secretaria
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE SANTAFE DE BOGOTA D.C.

DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS

FUENTE:
LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO: TOP. HERNANDO BUITRAGO

ELABORO:

INGENIERIA Y GEOTECNIA LTDA
INGENIEROS CONSULTORES

INTERVENTORIA:

JAVIER A. MILLAN L. & ASOCIADOS

0 25 50m

ESCALA: 1 : 500

DISEÑO: I.G.L.	FECHA:
DIBUJO : CAD I.G.L.	FECHA:
REVISO: M.G.L.	FECHA:
Vo. B INTERVENTORIA	FECHA:

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCION EN MASA EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR EL ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION BARRIO CALLEJON DE SANTA BARBARA LOCALIDAD RAFAEL URIBE URIBE.

CONTRATO DE CONSULTORIA CSS-526/99

TOPOGRAFIA GENERAL
Y PREDIACION

PLANO No.
3.1

NOMBRE DEL ARCHIVO : TOPOGRAF.DWG

NOMBRE INTERNO : OS C:\1874\TOPOGRAF.DWG

4. ESTUDIO GEOLOGICO

4.1 Método de trabajo

La fase inicial del estudio geológico comprendió la delimitación y reconocimiento general de la zona en compañía de los Ingenieros del DPAE y de la Interventoría. Una vez definida el área, se adquirieron en el IGAC las fotografías aéreas de diferentes décadas para observar la evolución del paisaje durante los últimos años y reconocer, desde un punto de vista regional, las diversas unidades que afloran en la zona (ver en la figura 4.1, el fotocalco de la fotografía 49, Vuelo C1675). Durante esta etapa se interpretaron las siguientes fotografías:

FOTOGRAFÍAS

Vuelo	Fotografía Número	Escala	Año
C-1675	048-049	1:21.400	1976
C-2323	125-126	1:21.500	1987
R-1183	187-188	1:13.700	1992

Después de un primer análisis fotogeológico se participó en una inspección de campo con el Director del Estudio y los Ingenieros de Suelos, durante la cual se seleccionaron los sitios para ejecución de trincheras exploratorias. Se procuró localizarlas donde sirvieran para los siguientes propósitos:

- Lograr una buena representatividad de los materiales existentes en el talud.
- Tener una idea confiable sobre las condiciones geotécnicas del talud.
- Conseguir un mayor detalle en áreas con problemas notorios o significativos.

Posteriormente se realizó un control de campo, que junto con la exploración del subsuelo por medio de las trincheras efectuadas a lo largo del talud principal, permitió la identificación de los diferentes materiales que afloran en el barrio Callejón de Santa Bárbara.

4.2 Geología General

La zona de estudio se localiza sobre el flanco oriental del Sinclinal de Usme, principal estructura geológica del área. Este pliegue amplio, presenta un rumbo general norte-sur, con cierre hacia el norte y cubierto por depósitos Cuaternarios hacia el sur. Sobre sus flancos son comunes las fallas de tipo inverso que afectan las rocas sedimentarias del Terciario que afloran hacia la parte central de la estructura.

Desde el punto de vista estratigráfico, las principales unidades aflorantes son las Formaciones Regadera y Usme, cuya nomenclatura estratigráfica pertenece a la Sabana de Bogotá (ver la figura 4.2).

A continuación se hace una breve descripción de las Formaciones antes mencionadas y de los depósitos Cuaternarios que conforman el área de estudio.

4.2.1 Formación Arenisca de La Regadera (Tpr)

La Arenisca de La Regadera fue definida por Hubach (1957), quien la consideró como la base de la Formación Usme, sin embargo no le dió el rango de Formación. En un estudio posterior sobre los rasgos tectónicos de la Sabana de Bogotá, Julivert (1963) definió La Arenisca de la Regadera como un nivel grueso de unos 400 m, con suficiente individualidad y diferente del resto de la Formación Usme para darle el rango de Formación.

Esta unidad está conformada por tres conjuntos arenosos, separados por dos arcillosos; los arenosos están constituidos por arenitas finas hasta conglomeráticas, de cuarzo y feldespato, en capas medias a gruesas y con secuencias gradadas, las lodolitas son grises, con intercalaciones de capas delgadas a medias de arenitas cuarzo-feldespáticas (Acosta y Ulloa, 1997).

La Arenisca de la Regadera aflora en ambos flancos del Sinclinal de Usme y se diferencia muy bien en campo y en las fotografías aéreas debido al predominio de las arenitas y conglomerados que dan a la unidad el carácter de nivel duro y competente, formando cerros alargados, con crestas agudas que sobresalen en el terreno. Esta unidad suprayace en contacto neto a la Formación Bogotá de composición predominantemente lodolítica, y se encuentra cubierta por la Formación Usme.

4.2.2 Formación Usme (Tmu)

La primera descripción publicada de esta unidad aparece en 1957, aunque el trabajo fue escrito en el año de 1951 por Hubach, quien la definió tomando como sección típica los alrededores de la población de Usme, de donde toma su nombre. La Formación Usme presenta en su base una secuencia de lodolitas grises claras, con intercalaciones esporádicas de arenitas de cuarzo y feldespato, en capas medias, y hacia la parte superior consta de una secuencia de cuarzoarenitas, de grano grueso, con laminación inclinada, en capas muy gruesas, con intercalaciones esporádicas de arcillolitas grises, plásticas. El espesor estimado para la unidad, según cortes geológicos, es de 500m (Acosta y Ulloa, 1997).

El contacto entre la Formación Usme y la Arenisca de La Regadera es variable. Mientras que en el flanco occidental del Sinclinal de Usme las dos formaciones son concordantes, en el flanco oriental existe discordancia. Es precisamente el nivel superior de la Formación Usme el que entra en contacto con la Formación Arenisca de La Regadera formando un ángulo de discordancia de 90°. Incluso este nivel de la Formación Usme puede apoyarse sobre los niveles inferiores de la Formación Bogotá. En algunas localidades, como al norte de la cárcel La Picota, es el nivel inferior de Usme el que se encuentra discordante sobre la Formación Arenisca de La Regadera. Parece que la Formación Usme no está completa y queda cubierta en discordancia con sedimentos pertenecientes a las Formaciones Tilatá y Sabana (De Porta, 1974).

4.2.3 Depósitos Cuaternarios (Q)

Dentro de este grupo se encuentran los depósitos poco a no consolidados que afloran a lo largo del valle del Río Tunjuelito y hacia el eje del Sinclinal de Usme, y los depósitos de origen antrópico como rellenos de escombros y basuras.

En la fotointerpretación se delimitan los Conos del Tunjuelo con las letras Qct los cuales representan depósitos torrenciales constituidos por guijos, gravas y bloques en medio de una matriz fina. También se encuentra la Formación Tilatá (QTt), correspondiente al relleno de la Sabana y constituida por gravas, arenas y arcillas arenosas blancas con algunos niveles de turba. Finalmente, y en un nivel topográfico más bajo, están los depósitos más recientes (Qa) representados por los sedimentos aluviales actuales y de desborde de las quebradas que drenan los flancos del Sinclinal de Usme.

4.3 Geología Local

Según la plancha geológica 246 "Fusagasugá" (Ingeominas, 1997), y el plano geológico de la Microzonificación Sísmica de Bogotá (Ingeominas, 1997), la zona de estudio está conformada por rocas de la Formación La Regadera; sin embargo, en el plano geológico realizado por Julivert (1963), quien definió la Formación Regadera, describe a las rocas que constituyen los cerros del Callejón de Santa Bárbara y alrededores como Formación Usme. Al realizar la fotointerpretación y el reconocimiento de campo, se observa un contraste bien marcado en la morfología, en la red de drenaje y en la litología, entre los cerros orientales que conforman el Alto de Guacamayas y los cerros de la parte central del Sinclinal donde se ubica el sector objeto del presente estudio.

Debido a estas discrepancias en la definición de las unidades geológicas, en el plano geológico (ver la figura 4.2 y el Plano 4.2) se cartografiaron las diferentes litologías

que conforman los taludes del área de estudio, sin entrar a discernir acerca de su posición estratigráfica dentro de las unidades Paleógenas o Neógenas que afloran al sur de Santafé de Bogotá.

4.3.1 Rocas Sedimentarias

El macizo rocoso del área en estudio está conformado por arcillolitas macizas (Tnc), de color gris claro en muestra fresca, y rojizo a amarillo por alteración, con algunos niveles de limolitas (Tnl), que afloran hacia el costado nororiental del área, y por arenitas (Tns), con matriz arcillosa, de grano fino a medio, ocasionalmente conglomeráticas, de color gris y amarillo por alteración, bien seleccionada, con granos subangulares de cuarzo que predominan sobre los líticos y arcillolita alterada de color blanco.

Las rocas están dispuestas en capas gruesas, no presentan estructuras sedimentarias internas, y tienen en promedio N20°E de rumbo y 10°NW de buzamiento. El valor bajo del ángulo de buzamiento está asociado con la cercanía de este flanco del Sinclinal de Usme, con el eje de la estructura.

A pesar de tener un buen afloramiento en el terreno en los antiguos taludes de corte para la explotación de materiales, la geometría y disposición de los estratos no es clara, debido ante todo al estado de meteorización de las rocas presentes. En efecto hay algo de suelo residual y de inmediato se entra a la zona de roca altamente meteorizada que podría clasificarse como Zona IIA en el sistema de Deere y Patton (1971) o como Zonas V a IV de Dearman (1976), según el cuadro que se presenta en la figura 4.3. Resulta entonces muy difícil observar la roca sana.

Por otra parte, la meteorización de los materiales hace que ante los procesos de erosión, tengan un comportamiento similar, es decir, que no hay un contraste morfológico entre las dos unidades litológicas predominantes, arenitas y arcillolitas. Sin embargo, de la observación de las trincheras realizadas durante la primera fase de exploración del subsuelo, se puede concluir que el talud está conformado por capas gruesas a muy gruesas de arcillolitas y arenitas, dispuestas de manera subhorizontal, y en ocasiones presentan geometría lenticular, por lo que es común observar la pérdida de espesor o de continuidad de los estratos de arenita en el primer caso y de arcillolita en el segundo.

Debe comentarse que no fue posible durante el estudio profundizar todo lo deseable las trincheras, por oposición de moradores del área y sus temores de que se estaba debilitando el talud o propiciando derrumbes.

En las arcillolitas se observan algunas fracturas y grietas asociadas con la variación de volumen ante los cambios en el contenido de humedad de estos materiales. Las arenitas son friables, poco competentes y no presentan planos ni aristas; la ausencia

de tales discontinuidades está posiblemente asociada al carácter deleznable y poco resistente de su litología.

Durante el reconocimiento geológico se midieron los siguientes planos de diaclasa:

TABLA 4.1 - SISTEMAS DE DIACLASAS

Zonas 1 y 2 (*)	1	N30W / 80SW (**)
	2	N65E / 70NW
	3	N10E / 75NW
	4	N20W / 64NE
Zona 3	1	N20W / 80SW
	2	N35E / 70NW
	3	N50E / 55SE
	4	N10E / 30SE

(*) Estas zonas se definen en el Plano 4.3.
(**) Este sistema N30W / 80SW está asociado con una serie de fallas locales que se observaron en algunos taludes localizados en los alrededores del barrio, y presenta un rumbo similar a la falla definida en la figura 4.1 (fotocalco), lo que hace pensar que dicha familia de discontinuidades está asociada a un sistema de fallas regionales.

Desde el punto de vista de su utilidad en el estudio geotécnico puede decirse lo siguiente sobre la caracterización de las discontinuidades en campo:

a) Orientación: dada en la tabla anterior.

b) Separación: Los sistemas de diaclasa definidos antes presentaron separación más frecuente mayor de 2.0 m, pero se midieron valores entre 1.0 y 4.0 m.

c) Longitud y persistencia: La longitud de las diaclasas fluctuó entre 1.0 y 4.0 m. En su mayoría se observaron en los estratos del tercio superior del talud de la antigua explotación.

d) Rugosidad: Se puede clasificar como Grado IV en la Tabla de la ISRM, “rugosa o irregular, ondulada”.

e) Resistencia en las paredes: Se puede considerar baja por fricción en el primer metro medido perpendicular al talud, pues los materiales mostraron cierta facilidad de disgregarse o desmoronarse. A mayor profundidad pueden ofrecer mayor resistencia, pues deben estar más cerradas y el grado de meteorización debe ser menor.

En las trincheras se midió una resistencia al penetrómetro de bolsillo mayor de 4.5 kg/cm².

f) Abertura: Los planos N30W / 80SW y N35E / 70NW presentaron abertura menor de 15 mm en la arenita y menores de 5 mm en la arcillolita (ver el registro de la trinchera 10, figura 6.11). La familia N50E/55SE presentó en la Trinchera 11 (figura 6.12) aberturas de 0.10 a 0.20 m con relleno de arena limosa; en este caso la arenita muestra bastante alteración.

g) Relleno: Se encontró relleno en la diaclasa N35E/70NW, trinchera No. 10, (figura 6.11), de tipo arcilloarenoso y en la diaclasa N50E/55SE (trinchera 11, figura 6.12) de tipo arenolimoso como se dijo en (f). En las demás no se encontró, o si lo hubo en el pasado, pudo haber sido lavado por erosión.

h) Número de sistemas: Se detectaron 8 sistemas como se deduce de la tabla 4.1.

i) Tamaño de bloques: Para efectos de análisis pueden considerarse bloques (o cuñas) de 1.0 a 2.0 m de ancho (medido paralelo al talud), excepcionalmente 4.0 m; de 1.0 a 2.0 m de profundidad (perpendicular al talud) y de 1.0 a 4.0 m de altura. La superficie posterior puede estar inclinada en la dirección de la pendiente topográfica, pero no se hallaron evidencias de que aflore o intersecte la cara del talud (falla de cuña).

4.3.2 Depósitos Cuaternarios

En el Callejón de Santa Bárbara los depósitos Cuaternarios que se observan son principalmente de tipo antrópico, y que debido a su génesis y posterior uso tienen una implicación directa con la estabilidad del terreno, razón por la cual los rellenos fueron clasificados en la siguiente forma:

- Rellenos de escombros (Qre): producto del botado de residuos de construcción y de cortes del terreno, sin ningún tipo de control geotécnico.

- Rellenos empleados para la construcción de viviendas (Qrc).

- Rellenos antiguos (Qra) que se encuentran generalmente sobre los taludes de pendiente moderada y con huellas de movimiento.

Adicionalmente se observan depósitos naturales que se clasifican como sigue:

- Coluviones (Qc) de poco espesor, asociados con los taludes de arenita más empinados.

- Flujos de detritos y deslizamientos (Qf) como movimientos locales de poca extensión.

- Por último se encuentran los suelos residuales (Qsr) producto de la meteorización de las arenitas o arcillolitas, y que en ocasiones se encuentran cubiertos por una capa de suelo orgánico.

4.4 Geomorfología

La morfología que presenta el Barrio Callejón de Santa Bárbara y sus alrededores, es el resultado de los procesos denudativos que afectaron a las rocas sedimentarias aflorantes en el área, y ante todo, del factor antrópico determinado por la actividad minera de la zona, vigente hasta mediados de la década anterior, y al posterior proceso de urbanización de los chircales.

En el primer caso la meteorización de las rocas poco competentes y su posterior erosión, definieron un paisaje de cerros redondeados, suaves, de poca elevación, factor determinante en la identificación de la unidad geológica a partir de fotografías aéreas. En el segundo caso, la explotación de materiales para la fabricación de ladrillo que se inició en la década de los 70, dejó como resultado una serie de taludes de alto ángulo y de altura variable, desprovistos de cualquier tipo de obra geotécnica que favoreciera su estabilidad.

Al observar la topografía de la zona de estudio en la plancha IGAC número 70, a escala 1:5000 del año 1960, se aprecia que para esta época conformaban el terreno dos cerros alargados de rumbo general norte-sur, separados por un valle estrecho drenado por el zanjón Las Zapatas. Las curvas de nivel de las laderas definían una pendiente continua bastante empinada y una diferencia de altura entre el nivel del zanjón y los cerros de 35 m en promedio. Actualmente el alineamiento del zanjón está cubierto por la carrera 5Ñ y algunas viviendas, y la ladera de su margen izquierda fue explotada dejando un talud de corte paralelo a la vía, que actualmente es el talud principal del área de estudio.

Al culminar la explotación de materiales, se incrementaron los asentamientos humanos en los chircales, continuando con el cambio en la forma del paisaje mediante la realización de rellenos y cortes para la adecuación de los cimientos de las viviendas. Este proceso continuó hasta llegar a la configuración actual de los barrios Callejón de Santa Bárbara en la parte baja, y Mirador de Marrocos localizado sobre la parte alta del talud.

A partir de la morfología del terreno, resultado de los procesos ya descritos, se definieron siete unidades geomorfológicas (Ver el mapa geomorfológico en el Plano 4.3):

- Zona Escarpada (Ze)

Representada por todos los antiguos frentes de explotación de materiales. Esta zona muestra los mejores afloramientos del sector a lo largo de taludes casi verticales que se encuentra sobre el costado oriental del área de estudio, los cuales presentan una serie de surcos y cárcavas debido a la acción del agua lluvia que desprende y transporta las partículas finas de la roca.

- Rellenos en zona de pendiente baja (Zrb)

Define una morfología irregular de poca altura, producto de la disposición no técnica de material de corte y escombros de construcción. En la parte alta del talud principal también hay rellenos más antiguos que actualmente se encuentran cubiertos por pasto.

- Rellenos en zona de pendiente media (Zrm)

En algunos sectores se han construido rellenos para controlar la formación de deslizamientos sobre antiguos taludes de explotación o para recuperar zonas de alta pendiente para la construcción de viviendas.

- Zona de flujos y deslizamientos (Zf)

Representada por pequeños flujos de lodo y de detritos en forma de abanico, localizados sobre la pata de los taludes principales. En esta zona se incluye un deslizamiento en arcillolita que se encuentra hacia la esquina sur-oriental, sobre el límite occidental del barrio Mirador de Marrocos, y representa uno de los sectores más inestables dentro del área de estudio.

- Zona de baja pendiente (Zbp)

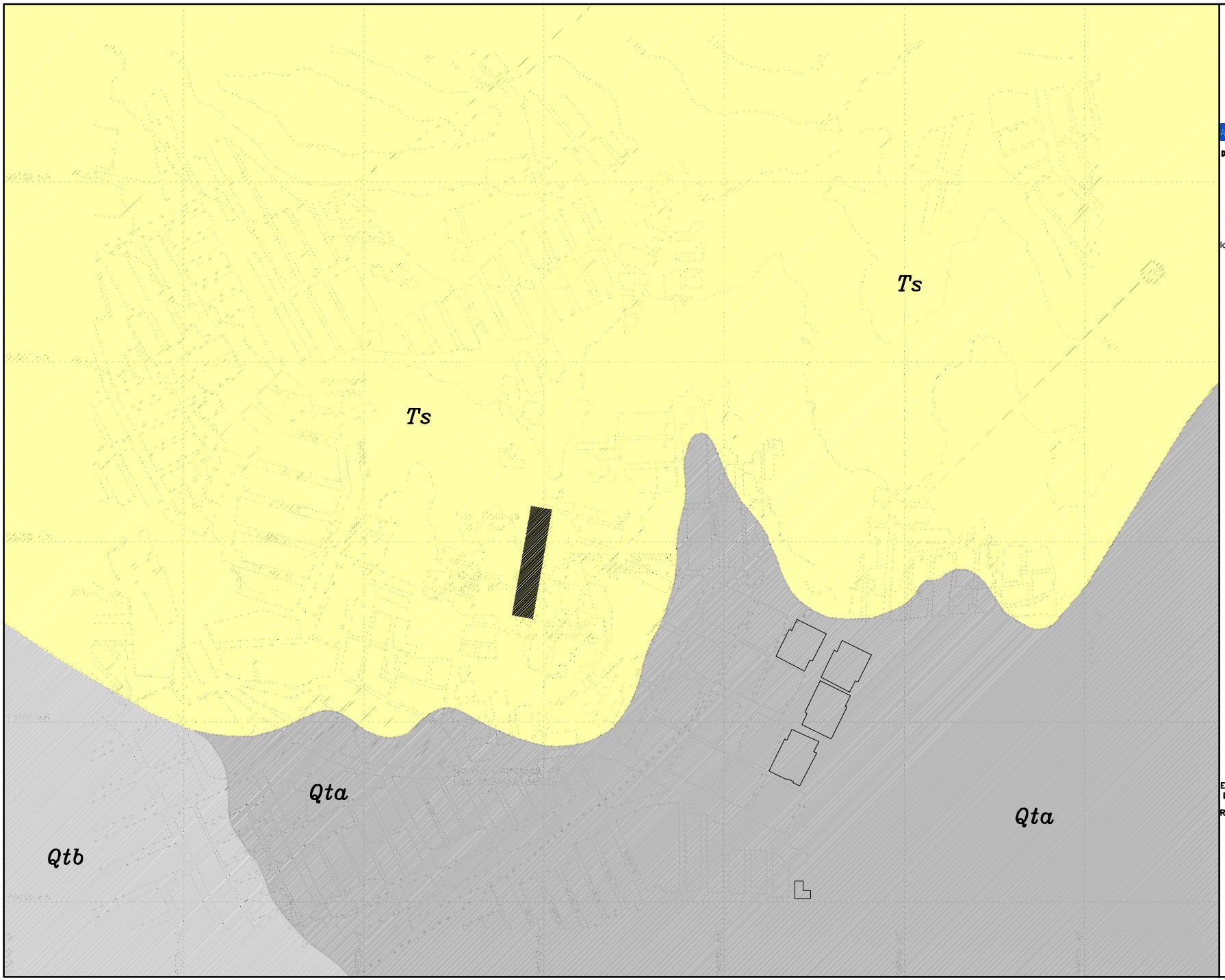
Corresponde a la antigua zona de acopio de materiales, y de acceso al frente de explotación. Actualmente es uno de los sectores más habitados y se encuentra hacia la parte occidental del área de estudio. También se incluye en esta zona la franja superior donde se encuentra el barrio Mirador de Marrocos, límite oriental del área, que corresponde a la actual divisoria de aguas del cerro.

- Zona de pendiente moderada (Zpm)

Constituida por rellenos para la construcción de viviendas o por la reconformación de antiguos taludes verticales de los frentes de explotación. En sitios en donde no hay vegetación (pastos) es común encontrar la formación de surcos de erosión.

- Zona de pendiente fuerte (Zpf)

Representa algunos taludes de explotación, conformados principalmente por arenitas y que se encuentran cerca a las viviendas del costado oriental del Barrio Callejón de Santa Bárbara.



Secretaria
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTA D.C.

DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS

BASE DIGITAL:

Plano aerofotogramétrico digital de Santa Fe de Bogotá del Departamento Administrativo de Catastro Digital. Coordenadas cartesianas en la intersección del meridiano 74°9'W de Greenwich con el paralelo 4° 4' N., al cual se le asignaron las coordenadas planas norte 109320.965 m y Este 92334.879 m.
Plano de proyección 2550 m. sobre el nivel del mar.
Compilación de planos aerofotogramétricos Escala 1:1000 a partir de fotografías aéreas de 1990.

ELABORO:

INGENIERIA Y GEOTECNIA LTDA
INGENIEROS CONSULTORES

INTERVENTORIA:

JAVIER A. MILLAN L. & ASOCIADOS

CONVENCIONES

2600 Curva de nivel

Manzana

CONVENCIONES TEMATICAS

Contacto fotogeológico

Lineamiento cubierto

Lineamiento de falla

Area de estudio

LEYENDA

Qtb Terraza baja. Conformada por depósitos fluvio-lacustres. Arenas, limos y arcillas.

Qta Terraza alta. Gravas, arenas y limos de ambiente fluvio-lacustre.

Ts Terciario sedimentario. Arenitas friables y arcillolitas macizas, de ambiente fluvial.

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCION EN MASA. EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR EL ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION BARRIO CALLEJON DE SANTA BARBARA LOCALIDAD RAFAEL URIBE URIBE.

CONTRATO DE CONSULTORIA CSS-526/99

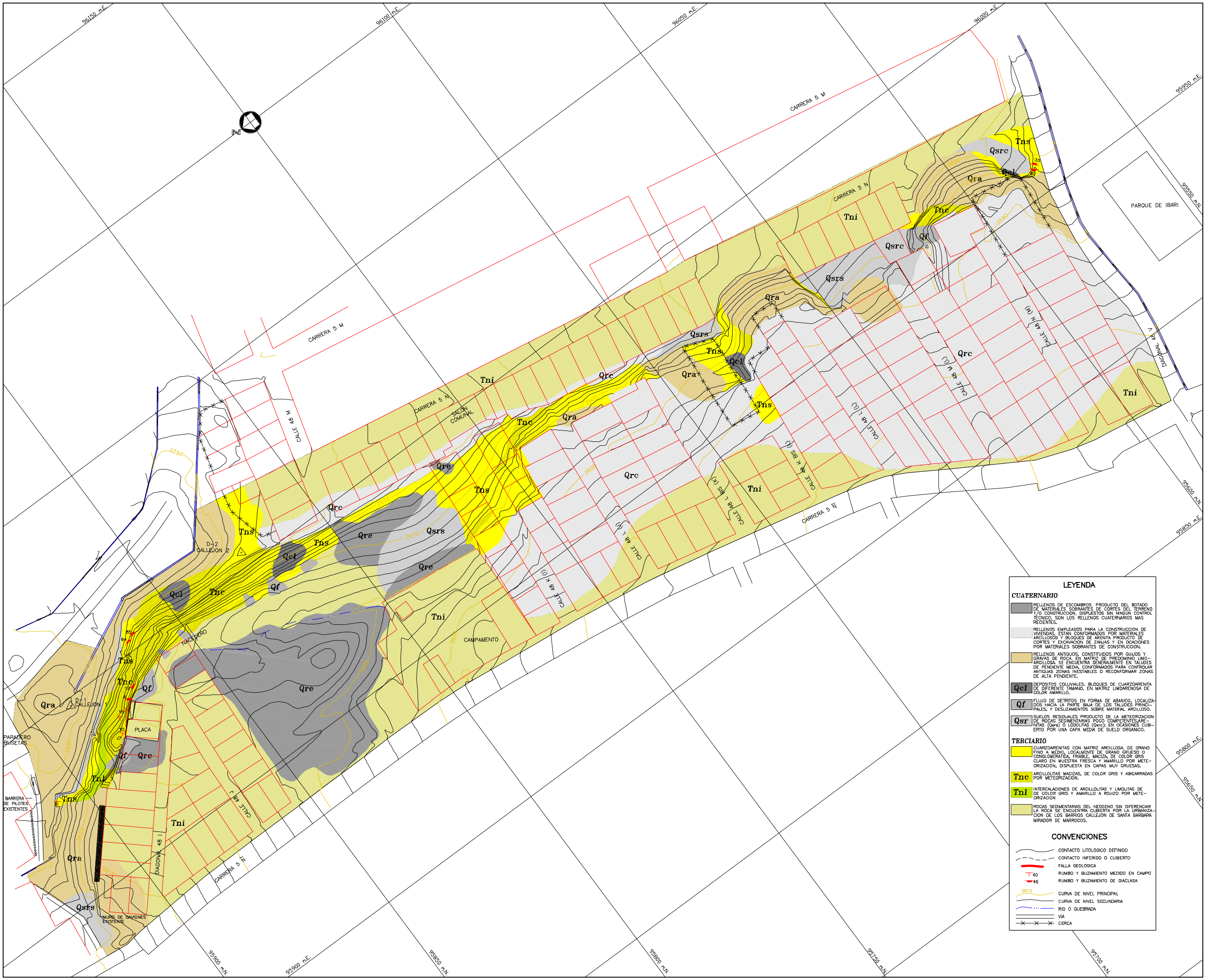
GEOLOGIA REGIONAL

ESCALA:
1 : 5000

FECHA:
ENERO, 2000

FIGURA No.
4.2

NOMBRE DEL ARCHIVO : GEOLREGI.DWG
NOMBRE INTERNO : C:\TRABAJOS\1874\GEOLREGI.DWG



LEYENDA

CUATERNARIO

- RELLENOS DE ESCOMBROS, PRODUCTO DEL BOTADO DE MATERIALES SOBRANTES DE CORTES DEL TERRENO Y/O CONSTRUCCION, DISPUESTOS SIN NINGUN CONTROL TECNICO. SON LOS RELLENOS CUATERNARIOS MAS RECIENTES.
- RELLENOS EMPLEADOS PARA LA CONSTRUCCION DE VIVIENDAS, ESTAN CONFORMADOS POR MATERIALES ARCILLOSOS Y BLOQUES DE ARENITA PRODUCTO DE CORTES Y EXCAVACION DE ZANJAS Y EN OCASIONES POR MATERIALES SOBRANTES DE CONSTRUCCION.
- RELLENOS ANTIGUOS, CONSTITUIDOS POR GUIJOS Y GRAVAS DE ROCA, EN MATRIZ DE PREDOMINIO LIMO-ARCILLOSA. SE ENCUENTRA GENERALMENTE EN TALUDES DE PENDIENTE MEDIA, CONFORMADOS PARA CONTROLAR ANTIGUAS ZONAS INESTABLES O RECONFORMAR ZONAS DE ALTA PENDIENTE.
- **Qcl** DEPOSITOS COLUVIALES. BLOQUES DE CUARZOARENITA DE DIFERENTE TAMAÑO, EN MATRIZ LIMOARENOSA DE COLOR AMARILLO.
- **Qf** FLUJO DE DETRITOS EN FORMA DE ABANICO, LOCALIZADOS HACIA LA PARTE BAJA DE LOS TALUDES PRINCIPALES, Y DESLIZAMIENTOS SOBRE MATERIAL ARCILLOSO.
- **Qsr** SUELOS RESIDUALES PRODUCTO DE LA METEORIZACION DE ROCAS SEDIMENTARIAS POCO COMPETENTES,ARENITAS (Qsrs) O LODOLITAS (Qsrc); EN OCASIONES CUBIERTO POR UNA CAPA MEDIA DE SUELO ORGANICO.

TERCIARIO

- CUARZOARENITAS CON MATRIZ ARCILLOSA, DE GRANO FINO A MEDIO, LOCALMENTE DE GRANO GRUESO O CONGLOMERATICA, FRIABLE, MACIZA, DE COLOR GRIS CLARO EN MUESTRA FRESCA Y AMARILLO POR METEORIZACION, DISPUESTA EN CAPAS MUY GRUESAS.
- **Tnc** ARCILLOLITAS MACIZAS, DE COLOR GRIS Y ABIGARRADAS POR METEORIZACION.
- **Tnl** INTERCALACIONES DE ARCILLOLITAS Y LIMOLITAS DE DE COLOR GRIS Y AMARILLO A ROJIZO POR METEORIZACION
- ROCAS SEDIMENTARIAS DEL NEOGENO SIN DIFERENCIAR LA ROCA SE ENCUENTRA CUBIERTA POR LA URBANIZACION DE LOS BARRIOS CALLEJON DE SANTA BARBARA MIRADOR DE MARROCOS.

CONVENCIONES

- CONTACTO LITOLOGICO DEFINIDO
- CONTACTO INFERIDO O CUBIERTO
- FALLA GEOLOGICA
- 40 RUMBO Y BUZAMIENTO MEDIDO EN CAMPO
- 45 RUMBO Y BUZAMIENTO DE DIACLASA
- 2610 CURVA DE NIVEL PRINCIPAL
- CURVA DE NIVEL SECUNDARIA
- RIO O QUEBRADA
- VIA
- CERCA

Secretaria
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTA D.C.

DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS

FUENTE:

ELABORO:

INGENIERIA Y GEOTECNIA LTDA
INGENIEROS CONSULTORES

INTERVENTORIA:

JAVIER A. MILLAN L. & ASOCIADOS

0 25 50m

ESCALA: 1 : 500

DISEÑO: M.D.S	FECHA:
DIBUJO : CAD I.G.L.	FECHA:
REVISO: M.G.L.	FECHA:
Vo. B INTERVENTORIA	FECHA:

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCION EN MASA EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR EL ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION BARRIO CALLEJON DE SANTA BARBARA LOCALIDAD RAFAEL URIBE URIBE.

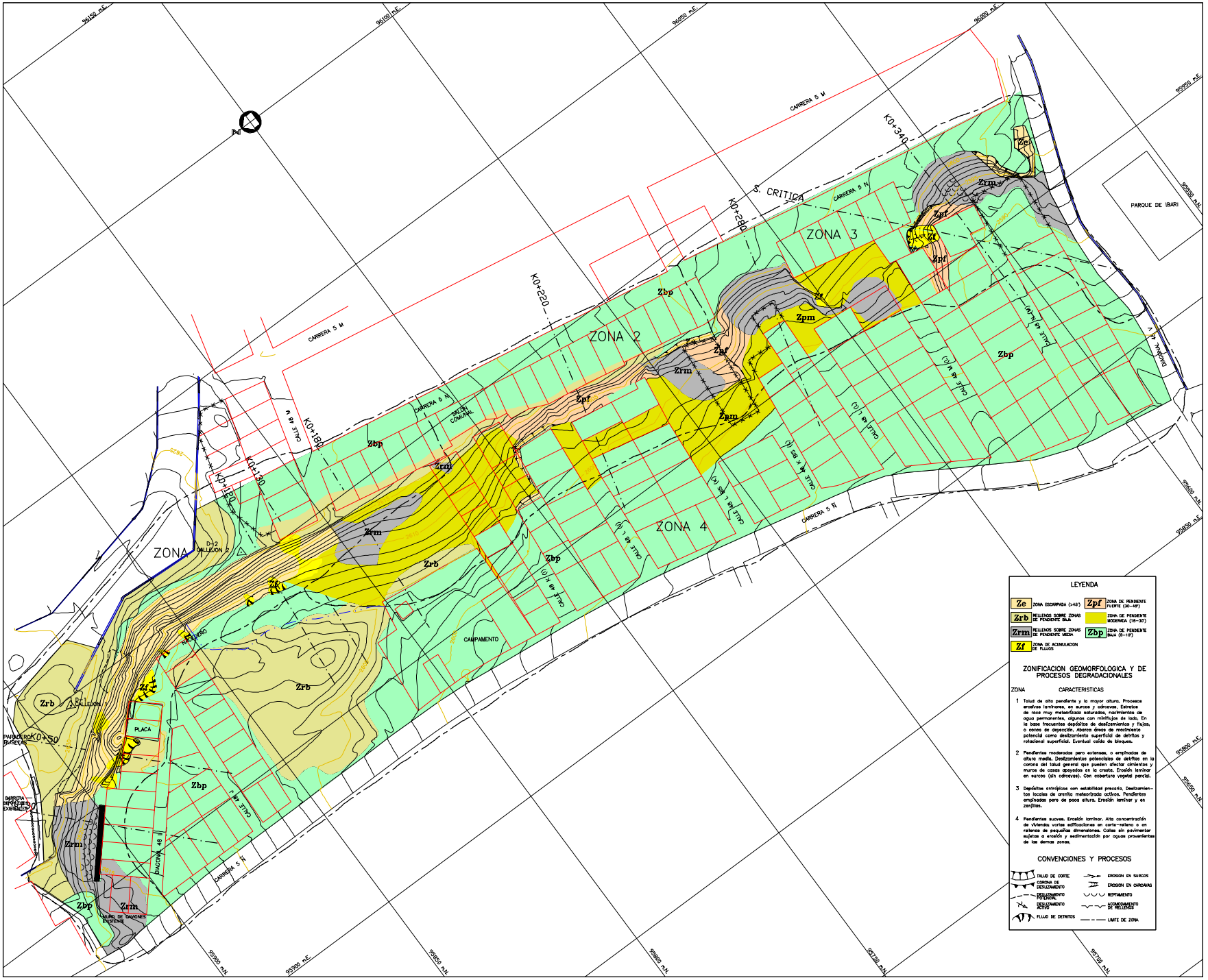
CONTRATO DE CONSULTORIA CSS-526/99

MAPA GEOLOGICO

PLANO No.
4.2

NOMBRE DEL ARCHIVO : GEOLOGIA.DWG

NOMBRE INTERNO : OS C:\1874\GEOLOGIA.DWG



LEYENDA

Ze	ZONA ESCARPADA (>45°)	Zpf	ZONA DE PENDIENTE FUERTE (30–45°)
Zrb	RELLENOS SOBRE ZONAS DE PENDIENTE BAJA		ZONA DE PENDIENTE MODERADA (15–30°)
Zrm	RELLENOS SOBRE ZONAS DE PENDIENTE MEDIA	Zbp	ZONA DE PENDIENTE BAJA (0–15°)
Zf	ZONA DE ACUMULACION DE FLUJOS		

ZONIFICACION GEOMORFOLOGICA Y DE PROCESOS DEGRADACIONALES

ZONA — CARACTERISTICAS

1 Taludes de alta pendiente y la mayor altura. Procesos erosivos laminares, en surcos y cárcavas. Estratos de roca muy meteorizada saturados, nacimientos de aguas permanentes, algunos con minitujos de lodo. En la base frecuentes depósitos de deslizamientos y flujos, o conos de deyección. Aborca áreas de movimiento potencial como deslizamiento superficial de detritos y rotacional superficial. Eventual caída de bloques.

2 Pendientes moderadas pero extensas, o empinadas de altura media. Deslizamientos potenciales de detritos en la corona del talud general que pueden afectar cimientos y muros de casas apoyados en la cresta. Erosión laminar en surcos (sin cárcavas). Con cobertura vegetal parcial.

3 Depósitos antrópicos con estabilidad precaria. Deslizamientos locales de arenta meteorizada activos. Pendientes empinadas pero de poca altura. Erosión laminar y en zanjillas.

4 Pendientes suaves. Erosión laminar. Alta concentración de viviendas; varias edificaciones en corte–relleno o en relleno de pequeñas dimensiones. Calles sin pavimentar sujetas a erosión y sedimentación por aguas provenientes de las demas zonas.

CONVENCIONES Y PROCESOS

TALUD DE CORTE	EROSION EN SURCOS
CORONA DE DESLIZAMIENTO	EROSION EN CARCAVAS
DESLIZAMIENTO POTENCIAL	REPTAMIENTO
DESLIZAMIENTO ACTIVO	ACOMODAMIENTO DE RELLENOS
FLUJO DE DETRITOS	LIMITE DE ZONA

Secretaria
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE SANTAFE DE BOGOTA D.C.

DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS

FUENTE:

ELABORO:

INGENIERIA Y GEOTECNIA LTDA
INGENIEROS CONSULTORES

INTERVENTORIA:

JAVIER A. MILLAN L. & ASOCIADOS

0 25 50m

ESCALA: 1 : 500

DISEÑO: I.G.L.	FECHA:
DIBUJO : CAD I.G.L.	FECHA:
REVISO: M.G.L.	FECHA:
Vo. B INTERVENTORIA	FECHA:

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCION EN MASA
EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION
Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS
RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR EL ANTIGUO
ESCARPE DE EXPLOTACION
BARRIO CALLEJON DE SANTA BARBARA
LOCALIDAD RAFAEL URIBE URIBE.

CONTRATO DE CONSULTORIA CSS–526/99

MAPA GEOMORFOLOGICO,
DE INVENTARIO DE PROCESOS
Y ZONIFICACION

PLANO No.
4.3

NOMBRE DEL ARCHIVO : GEOMORFO.DWG

NOMBRE INTERNO : OS C:\1874GEOMORFO.DWG

DIRECCION DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS - DPAE

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR EL ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACIÓN

Barrio Callejón de Santa Bárbara – Localidad de Rafael Uribe Uribe

INFORME EJECUTIVO

Santafé de Bogotá D.C., mayo de 2000.

TABLA DE CONTENIDO

1. GENERALIDADES 1
1.1 Introducción 1
1.2 Procedimiento seguido 1
2. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA 2
2.1 Geología 2
2.2 Geomorfología 2
3. ESTUDIO HIDROLOGICO 3
4. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO 3
5. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUBSUELO 4
5.1 Evaluación de Erosión 4
6. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA 4
6.1 Inventario de Procesos 4
6.2 Mecanismos de falla 5
6.3 Análisis cinemático de estabilidad 5
6.4 Zonificación por amenaza 6
7. EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD 8
8. EVALUACIÓN DEL RIESGO 10
9. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN 12
9.1.1 Primera etapa 13
9.1.2 Segunda Etapa 14
9.1.3 Tercera Etapa 15

DIRECCION DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS - DPAE

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR EL ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACIÓN

Barrio Callejón de Santa Bárbara – Localidad Rafael Uribe Uribe

INFORME EJECUTIVO

1. GENERALIDADES

1.1 Introducción

En el informe final se presentan los resultados del estudio realizado en el Barrio El Callejón de Santa Barbara, al sureste de Bogotá. Los trabajos se realizaron dentro del Contrato de Consultoría CCS –526/99, suscrito entre la DPAE e INGENIERIA Y GEOTECNIA LTDA. El informe está distribuido en 12 capítulos; cada capitulo contiene un texto con la información de los resultados de las actividades y los análisis que se requirieron en cada etapa del estudio. Las figuras, tablas y planos van relacionadas y presentadas al final de cada capítulo; los planos se enumeraron de acuerdo al capítulo correspondiente y se presentan a continuación de las figuras y tablas en bolsas de acetato para su protección.

El sector de estudio abarca un área de unas 10 Ha en terrenos que hicieron parte de una antigua cantera, en cuyo costado oriental se encuentra el escarpe dejado por el último frente de explotación. En lo que fué el patio de operación se han construido dos agrupaciones de viviendas, separadas por una zona todavía sin construcciones en la cual se observan montones de tierra, sobrantes de la actividad urbanizadora en la vecindad.

Los trabajos consideraron la evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa. No se evaluó el efecto que pueda tener un evento sísmico en las viviendas.

1.2 Procedimiento seguido

Se llevaron a cabo las siguientes actividades:

a) Recopilación y análisis de la información existente.
b) Reconocimiento de la zona, por parte de profesionales en Geotecnia, Geología, Erosión de suelos y Análisis de riesgo por fenómenos naturales.
c) Levantamiento topográfico detallado.

d) Investigación del subsuelo, contempla la exploración del subsuelo mediante la ejecución de trincheras exploratorias (aprovechando los escarpes existentes) y la realización de perforaciones con equipo mecánico de percusión y lavado.
e) Realización de ensayos de laboratorio de clasificación, resistencia al corte y compresibilidad, en muestras representativas obtenidas en la etapa de exploración.
f) Estudio geológico y geomorfológico detallado del área de estudio, mediante trabajo de campo y fotointerpretación.
g) Inventario de la infraestructura de las viviendas de la zona en estudio mediante formatos de evaluación de edificaciones y encuestas socio-económicas, aplicable en zonas inestables.
h) Estudio hidrológico.
i) Evaluación geotécnica, análisis de estabilidad por métodos determinísticos y probabilísticos para diferentes condiciones y estimativo de la pérdida potencial de suelo por erosión.
j) Análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.
k) Análisis y planteamiento de alternativas de mitigación.
l) Estudio de la relación costo/beneficio de las obras propuestas.
m) Determinación de cantidades de obra y presupuesto.
n) Recopilación de especificaciones técnicas de construcción.
o) Diseño detallado de obras de la alternativa seleccionada.

2. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

2.1 Geología

La zona de estudio se localiza sobre el flanco oriental del Sinclinal de Usme, principal estructura geológica del área. Este pliegue amplio, presenta un rumbo general norte-sur, con cierre hacia el norte y cubierto por depósitos Cuaternarios hacia el sur. Desde el punto de vista estratigráfico, las principales unidades aflorantes son las Formaciones Regadera (Tpr) y Usme (Tmu), cuya nomenclatura estratigráfica pertenece a la Sabana de Bogotá. También se encuentran depósitos cuaternarios (Q) que abarcan los rellenos antrópicos (antiguos, de escombros y materiales para construcción de viviendas) así como depósitos naturales poco consolidados (coluviones, flujos de detritos y deslizamientos) y suelos residuales (Qsr).

2.2 Geomorfología

Las geoformas existentes se anotan a continuación:

- **Zona Escarpada (Ze)**: antiguos frentes de explotación de materiales con taludes casi verticales que presentan surcos y cárcavas debido a la acción del agua lluvia.
- **Rellenos en zona de pendiente baja (Zrb)**: morfología irregular de poca altura, producto de la disposición no técnica de material de corte y escombros de construcción.
- **Rellenos en zona de pendiente media (Zrm)**: para controlar la formación de deslizamientos sobre antiguos taludes de explotación o para recuperar zonas de alta pendiente para la construcción de viviendas.

- **Zona de flujos y deslizamientos (Zf)**: localizados sobre la pata de los taludes principales.
- **Zona de baja pendiente (Zbp)**: antigua zona de acopio de materiales, y de acceso al frente de explotación.
- **Zona de pendiente moderada (Zpm)**: rellenos para la construcción de viviendas o por la reconformación de antiguos taludes verticales de los frentes de explotación.
- **Zona de pendiente fuerte (Zpf)**: taludes de explotación, conformados principalmente por arenitas, cerca a las viviendas del costado oriental del Barrio Callejón de Santa Bárbara.

3. ESTUDIO HIDROLOGICO

El barrio Callejón de Santa Bárbara se localiza dentro de la microcuenca del antiguo zanjón de Las Zapatas (afluente de la quebrada Chiguaza) la cual se caracteriza por tener una topografía de montaña, con pendiente promedio del 11% y un área de unos 0.09 km^2.

Se tratan las condiciones hidrogeológicas relativas a la recarga de agua subterránea que puede existir a través de los estratos de arenita que afloran en el talud oriental. En general, el agua infiltrada proviene tanto de recarga de estratos que descienden desde el norte y noreste, como de percolación local por grietas y otras discontinuidades.

4. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Para determinar la estratigrafía, continuidad y características geomecánicas del subsuelo, se realizaron 11 trincheras exploratorias con longitudes entre 6 y 18 m medidos a lo largo del talud de la antigua explotación de materiales. Se obtuvieron muestras en bloque de los diferentes estratos, con el fin de realizar en el laboratorio los ensayos necesarios para su caracterización.

Se complementó la investigación del subsuelo con la ejecución de 2 sondeos con equipo mecánico de percusión y lavado, localizados en zonas de rellenos artificiales. En estas perforaciones se realizó el ensayo de penetración estándar (SPT).

En campo se efectuaron dos pruebas de infiltración dentro del estudio de erosionabilidad, mientras que en el laboratorio se efectuaron pruebas de:

- Ensayos de clasificación (humedad natural, límites de Atterberg, peso unitario, contenido de finos, contenido de materia orgánica, granulometría e hidrometría).
- Ensayos cuantitativos de resistencia al corte en materiales típicos mediante pruebas de corte directo.

5. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUBSUELO

El terreno está conformado por una serie de depósitos artificiales y naturales que sobreyacen a capas de rocas sedimentarias de edad terciaria, principalmente arenitas y arcillolitas, con delgadas intercalaciones de limolita.

5.1 Evaluación de Erosión

Dada la importancia que tiene la erosión entre los procesos de inestabilidad en la zona, se efectuó un estudio detallado de la misma. Los suelos de la zona son muy susceptibles a la erosión pluvial, debido especialmente a los bajos niveles de materia orgánica y a la agregación deficiente de sus partículas, consistentes en arcillas, limos y arenas provenientes del material parental (arcillolitas, limolitas y areniscas). Para el talud de corte, la pendiente alta incrementa la escorrentía tanto en volumen como en profundidad. La pendiente y la falta de prácticas de conservación son factores determinantes de la pérdida de suelos en la zona de estudio. Las características físicas y químicas de los suelos hacen que sean muy susceptibles a la acción erosiva de la lluvia, aspecto que se mitiga en algunos casos por la presencia de alta cobertura vegetal.

6. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

6.1 Inventario de Procesos

Se hizo un inventario de los diversos problemas de inestabilidad que se presentan, obteniendo como resultado la siguiente zonificación sobre comportamiento geotécnico homogéneo:

Zona 1: Talud de alta pendiente y la mayor altura. Lo forman estratos de roca muy meteorizada saturados, con nacimientos de agua permanentes, algunos de éstos con miniflujos de lodo. En la base hay depósitos de deslizamientos y flujos o conos de deyección. Se han presentado y pueden ocurrir con mayor probabilidad los siguientes procesos: erosión laminar y en surcos o zanjas, deslizamientos superficiales de detritos y/o deslizamientos rotacionales poco profundos.

Zona 2: De pendientes moderadas pero extensas, o empinadas de altura media, con erosión laminar y en surcos (sin cárcavas) y cobertura vegetal parcial. Los procesos que han tenido lugar o pueden ocurrir en esta zona son: erosión laminar y en zanjas, deslizamientos rotacionales superficiales o flujos de tierra eventuales en rellenos de baja pendiente. Los deslizamientos potenciales de detritos en la corona del talud general pueden afectar cimientos y muros de casas apoyados en la cresta.

Zona 3: Depósitos antrópicos con estabilidad precaria y arenita meteorizada con deslizamientos locales activos. Pendientes empinadas pero de poca altura. Los procesos potenciales o activos de mayor volumen son: deslizamientos rotacionales/flujos de tierra en rellenos artificiales, deslizamiento rotacional de bloque, y erosión laminar y en zanjas en áreas destapadas.

Zona 4: Pendientes suaves con alta concentración de viviendas; varias edificaciones en corte-relleno o en rellenos de pequeñas dimensiones. Calles sin pavimentar sujetas a erosión y sedimentación por aguas provenientes de las demás zonas. Los procesos reconocidos o potenciales son: erosión laminar y en zanjas en calles destapadas y lotes no construidos, sedimentación de materiales acarreados por el agua de escorrentía y asentamiento diferencial de casas construidas sobre relleno no densificado.

6.2 Mecanismos de falla

Se hizo una recopilación y análisis de los posibles mecanismos de falla del talud principal o de deformación excesiva que pueden conducir a daños parciales o totales (colapso completo) de las viviendas en peligro dentro del área estudiada. Con estos mecanismos se hizo una predicción de la distancia de recorrido de deslizamientos para elaborar la siguiente zonificación por Solicitaciones:

a) Zona probable de impactos por deslizamientos de detritos.
b) Zona probable de desplazamientos verticales instantáneos por desprendimientos de bloques (cuñas).
c) Zona probable de presiones laterales por deslizamiento de suelos (rellenos).
d) Zona probable de desplazamientos laterales por deslizamiento de suelos (rellenos).

6.3 Análisis cinemático de estabilidad

Se efectuó el análisis cinemático de estabilidad de los taludes críticos en las 4 zonas definidas. Se consideraron los mecanismos comunes de falla plana, falla de bloque o cuñas y falla por volteo de bloques, considerando el sistema de discontinuidades que afecta el macizo rocoso. Los análisis llevaron a establecer que los mecanismos de volcamiento, falla plana y en cuña no son posibles cinemáticamente en ninguna zona.

Se analizó este mecanismo en condiciones estáticas y dinámicas. Para todos los casos se efectuó un análisis con variables aleatorias y un análisis probabilístico de estabilidad, determinando las probabilidades de falla a corto plazo (probabilidad total para un período de análisis de 1 año), mediano plazo (5 años) y largo plazo (15 años).

Falla rotacional: Se encontró muy posible una falla rotacional superficial (en suelos residuales de arenita, y en arenitas y arcillolitas meteorizadas) y otra rotacional relativamente profunda (rellenos).

6.4 Zonificación por amenaza

Se obtuvieron los siguientes resultados de la evaluación de la amenaza:

ZONIFICACION DE AMENAZA A CORTO PLAZO

SECTOR	PROBABILIDAD CALCULADA	DESIGNACION DE AMENAZA
K0+030 (Relleno)	0.651 – 0.681	Alta
K0+030 (Muro)	0.292 – 0.262	Baja
K0+050	0.581 – 0.657	Alta a media
K0+130	0.926 - 0.910	Muy alta
K0+150	0.428 – 0.499	Media
K0+220 (Relleno)	0.781 – 0.456	Alta a media
K0+220 (Cuña)	0.824 – 0.409	Alta a media
K0+280	0.408 – 0.489	Media
K0+300 (Relleno)	0.073 – 0.036	Muy baja
K0+300 (Bloque)	0.802 – 0.811	Muy alta
K0+340	0.517 – 0.592	Media

ZONIFICACION DE AMENAZA A MEDIANO PLAZO

SECTOR	PROBABILIDAD CALCULADA	DESIGNACION DE AMENAZA
K0+030 (Relleno)	0.980 – 0.830	Alta a muy alta
K0+030 (Muro)	0.820 – 0.600	Alta
K0+050	0.982 – 0.670	Alta a muy alta
K0+130	0.980 – 0.970	Muy alta
K0+150	0.975 – 0.630	Alta a muy alta
K0+220 (Relleno)	0.560 – 0.455	Media
K0+220 (Cuña)	0.695 – 0.455	Alta a media
K0+280	0.965 – 0.550	Media a muy alta
K0+300 (Relleno)	0.335 – 0.165	Baja
K0+300 (Bloque)	0.995 – 0.880	Muy alta
K0+340	0.980 – 0.660	Alta a muy alta

ZONIFICACION DE AMENAZA A LARGO PLAZO

SECTOR	PROBABILIDAD CALCULADA	DESIGNACION DE AMENAZA
K0+030 (Relleno)	0.990 – 0.910	Muy alta
K0+030 (Muro)	0.982 – 0.805	Alta a muy alta
K0+050	0.990 – 0.800	Alta a muy alta
K0+130	1.000 – 0.980	Muy alta
K0+150	0.990 – 0.780	Alta a muy alta
K0+220 (Relleno)	0.720 – 0.460	Media a alta
K0+220 (Cuña)	0.860 – 0.380	Media a alta
K0+280	0.990 - 0.670	Alta a muy alta
K0+300 (Relleno)	0.680 – 0.320	Baja a alta
K0+300 (Bloque)	1.000 – 0.930	Muy alta
K0+340	0.990 – 0.765	Alta a muy alta

Se definieron seis niveles diferentes de amenaza:

- Amenaza Muy Alta: Zona de dimensiones reducidas situada en la parte norte del talud oriental cerca de donde éste gira hacia el noreste, formada por arenitas muy meteorizadas, donde ya han ocurrido deslizamientos rotacionales superficiales en el manto de suelo residual. Pone en peligro serio dos casas de la Manzana 01 del barrio Mirador de Marrocos, situadas en la cresta del talud. En la base de éste no hay viviendas.

- Amenaza Alta: Corresponde a dos zonas, una situada en el sector sur del talud donde ya ocurrió un deslizamiento con derrumbe parcial de una casa; afecta 7 casas de la Manzana 12 del barrio Callejón de Santa Bárbara. La segunda zona está cerca del extremo noroccidental del talud donde hoy en día existe un muro de gaviones que contiene un relleno en flujo de tierras muy lento; puede afectar 3 casas de la Manzana 04 del barrio Callejón de Santa Bárbara y en caso de agravamiento fuerte amenazaría dos casas del vecino barrio Providencia Alta (Zarazota).

- Amenaza Media a Alta: Localizada a continuación al oriente de la zona del muro de gaviones, abarca una parte empinada del talud en su tramo noroeste donde fue necesario evacuar los habitantes de dos casas; algunas losas remanentes de éstas se observan en la actualidad cerca de la base del talud. Amenaza 2 viviendas de la Manzana 03 y una de la Manzana 04 del barrio Callejón de Santa Bárbara. Hay amenaza de deslizamiento rotacional moderadamente profundo de relleno y suelo residual arenoso de la cresta del talud.

- Amenaza Media: Se trata de 3 zonas intermedias entre las anteriores a las que corresponden tanto partes del talud como fajas de topografía suave vecinas a la pata del mismo. Por el estado de los materiales del talud o por encontrarse a una altura o pendiente moderada, los posibles problemas de deslizamientos son menos acentuados y se refieren ante todo a erosión y pequeños flujos de lodo y de detritos en las cárcavas longitudinales del talud.

- Amenaza Baja: Comprende un área extensa tanto arriba y atrás de la corona del talud (en el barrio Mirador de Marrocos) como en una faja de la parte inferior, de transición topográfica entre el “piedemonte” y el área más plana.

- Amenaza Muy Baja: Corresponde a la faja más plana a todo lo largo de la mitad occidental del barrio Callejón de Santa Bárbara y en la mitad oriental de la Manzana 01 del Mirador de Marrocos. Los únicos problemas que podrían esperarse están asociados a erosión superficial en calles destapadas, o a sedimentación de arenas procedentes de las demás zonas.

7. EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD

El estudio de la vulnerabilidad consideró dos aspectos esenciales: la relación entre la solicitación y el daño estructural, y el tipo de daño y los costos que se derivan de éste. Se elaboró una tipificación de las viviendas con base en los criterios de Leone, los cuales se resumen a continuación:

TIPO	DESCRIPCION
B1	Tugurios (ranchos).
B2	Casas de mampostería o prefabricadas.
B3	Casas de hasta dos niveles de buena calidad de construcción (con estructura).
B4	Casas de más de dos niveles con buena calidad de construcción (con estructura)

Se estableció una clasificación de daños basado en dichos criterios y en la intensidad para diferentes tipos de eventos: Zona de probable impacto por caída de bloques o cuñas (criterio de energía cinética), Zona probable de desplazamientos verticales instantáneos por desprendimientos de bloques o cuñas (criterio de vulnerabilidad de las casas), Zona probable de presiones laterales por deslizamiento de suelos (rellenos), Zona probable de desplazamientos horizontales por deslizamiento de suelos y rellenos (criterio de velocidad del movimiento).

A partir de estas consideraciones se determinó un índice de vulnerabilidad física para cada una de las casas para hallar el índice de pérdidas o porcentaje de daños.

En la Zona I las edificaciones podrán sufrir daños por las presiones laterales producidas por el empuje de tierras en caso de que ocurra el movimiento.

En la Zona II pueden presentarse afectaciones por desplazamientos verticales instantáneos.

En las áreas representadas por el perfil K0+280 y el K0+340, al sur del barrio, las edificaciones podrán sufrir daños por las presiones laterales producidas por el empuje de tierras en caso de que ocurra el movimiento. En el área correspondiente al perfil K0+300, las edificaciones podrán sufrir daños por desplazamientos verticales instantáneos y por impactos.

Se determinó finalmente el Indice de Vulnerabilidad Física (IVF) para cada vivienda, que se refiere a los daños en edificaciones, los cuales dependen de las características del elemento expuesto y de la intensidad de las solicitaciones, asociadas con el tipo de movimiento.

En el Plano 8.2 se presenta la zonificación de los barrios El Callejón de Santa Bárbara y el Mirador de Marrocos. Los resultados generales fueron los siguientes:

Tipo de Vulnerabilidad	Viviendas
Muy alta	1
Alta	19
Media	9
Baja	21
Muy baja	21

Examinando los resultados con cierta objetividad se puede concluir lo siguiente:

- La calificación de vulnerabilidad muy alta sólo se asignó al predio 18 de la manzana 12, que es en realidad el único con viviendas de tipo tugurial y además, está situado en la base de dos zonas con problemas activos o potenciales de deslizamiento, bién reconocidas.

- Con vulnerabilidad alta resultó la mayoría de las casas del Barrio El Mirador de Marrocos construidas sobre la cresta del talud oriental. Dichas viviendas tienen buena apariencia y sus condiciones estructurales son aceptables y corrientes, dentro de lo acostumbrado en Bogotá, con paredes de ladrillo, columnas y placas de piso de concreto reforzado, de dos pisos la mayoría (algunas de 3 pisos), de manera que juzgándolas por estas condiciones, su calificación podría considerarse excesiva. Sin embargo, el criterio de análisis que primó en la calificación, correspondiente a la "solicitación" de movimiento vertical rápido ante pérdida de apoyo en su base, por deslizamiento de los materiales arenosos y orgánicos de la cresta del talud, parece lógico y esta bien expresado en términos ingenieriles o matemáticos para análisis.
  Al producirse la pérdida de soporte ocurriría un asentamiento súbito y se impondría una tendencia a volcarse las secciones de las casas mas próximas al talud. Se generaría una gran exigencia a vigas de cimiento o sobrecimiento (si existen) y aunque no hubiera colapso de las edificaciones, es posible que se iniciara un problema de asentamiento y agrietamiento progresivo hacia el frente de las casas.

  Hemos conocido los conceptos de algunos profesionales de la DPAE o de los consultores e interventores de esta entidad acerca de la conveniencia de sectorizar la calificación de vulnerabilidad y por ejemplo, en el caso estudiado, darle la calificación de vulnerabilidad alta sólo al sector posterior u occidental de las viviendas y algo menor (vulnerabilidad media) al sector frontal (oriental) con frente a la cra. 5N. Sin embargo, este procedimiento es por lo menos discutible y no obedece al concepto global de "predio" afectado, ni reconoce que así como hay falla estructural también puede haber falla funcional de las edificaciones. Entraría también a jugar el concepto de vulnerabilidad social dentro del cual podría estudiarse la condición de vivir en una casa que tiene la parte de atrás semidestruída y la de adelante agrietada, o aunque se estudió la amenaza por fenómenos de remoción en masa casi exclusivamente, cabría la reflexión de cómo se comportará una casa en dichas condiciones ante sismo.

- Las casas 08 de la manzana 07 y la 16 de la manzana 08 también fueron calificadas como de vulnerabilidad alta, lo cual se considera acertado. Sus condiciones estructurales son precarias y cuando se observan sus techos prácticamente adosados al talud en la zona inferior de éste, en relación con la solicitación de impacto (de bloques o masas de suelo que se desprenden o deslicen desde arriba) se concluye que dicha calificación es correcta.

- Con vulnerabilidad media resultó la casa 01de la manzana 03, a la cual pueden aplicárse los razonamientos hechos para las casas de vulnerabilidad alta de la cresta del talud. La calificación de vulnerabilidad media para otras casas de las manzanas 04, 07 y 08 no tiene discusión.

- Como resultado final del estudio, al definir la mitigación del riesgo por FRM, se tuvo en mente la posibilidad de que se estuviera dando un "castigo excesivo" a casas de la cresta del talud calificadas como de alta vulnerabilidad y por lo tanto se les aplicó un criterio de moderación de prioridades, al incluirlas en las etapas de mitigación. (Capítulo 9).

- Se considera importante una acción de información y preparación de la comunidad sobre los peligros relacionados con los FRM, teniendo en cuenta que al actuar en ese sentido se estima la gente hacia la reducción de la vulnerabilidad y hacia la eliminación de prácticas que tiendan a incrementar la amenaza o a facilitar la manifestación de ésta. Como ejemplo de esto último se podría tomar el control y minimizar aportes de agua de conexiones o instalaciones defectuosas o por desperdicio en la parte superior del talud, o evitar arrojar aguas y basuras sobre el talud, o procurar no extender la ocupación del terreno hasta el borde mismo de salientes en la vecindad de la cresta del talud.

- Se ha reconocido por tratadistas internacionales el valor que tiene la información adecuada y la preparación de la comunidad en cuanto a llevarla a incrementar la solidaridad y la autoprotección ante fenómenos amenazantes, a dar atención y cuidado a señales de intensificación de la amenaza o a los sistemas de alarma, y a intuir el criterio de que la reducción de su vulnerabilidad (social y física) y el desestímulo de factores contribuyentes a la amenaza hacen parte importante del desarrollo comunitario. En tal sentido consideramos que estos consultores podrían colaborar con DPAE en la difusión de conocimientos sobre las condiciones geotécnicas y de riesgo del área estudiada por medio de cartillas o de conferencias o talleres de trabajo comunitario.

8. EVALUACIÓN DEL RIESGO

Se evaluaron los índices de riesgo para cada uno de las viviendas, considerando los perfiles o secciones típicas de cada zona, y en cada caso para el mecanismo de falla probable.

El riesgo se halló para cada una de las casas mediante la determinación de un Indice de Riesgo (IR) aplicando criterios de categoría que se dan a continuación. Después de asignar la categoría de riesgo a cada predio, se procedió a delimitar áreas homogéneas para completar así la zonificación.

CATEGORIA RIESGO	CRITERIO
MUY ALTA	IR promedio ≥ 0,85
ALTA	0,65 ≤ IR promedio < 0,85
MEDIA	0,35 ≤ IR promedio < 0,65
BAJA	0,15 ≤ IR promedio < 0,35
MUY BAJA	IR promedio < 0,15

Se definieron tres niveles de riesgo por remoción en masa para la zona de estudio, de la siguiente manera:

Riesgo muy Alto	
Mz.	Lote
12	18

Riesgo Alto	
Mz.	Lote
01	01
02	01
02	1 A
02	02
02	03
02	04
02	05
02	06
02	07
02	08
02	09
02	10
02	14
02	15
02	16
02	17
02	18
02	19
03	01
03	06
04	38
04	39
04	40
04	41
04	62
04	63
06	07
07	08
08	16
12	08

Riesgo Medio	
Mz.	Lote
02	11ª
02	11B
04	30
04	31
04	32
04	34
04	35
06	05
06	06
07	07
07	8 A
07	09
07	10
08	13
08	14
08	15
10	12
12	18

Riesgo Bajo	
Mz.	Lote
01	02
01	03
01	12
03	02
03	03
03	04
03	05
04	33
04	36
04	51
04	52
04	58
04	59
04	60
04	61
06	04
07	05
07	06
07	11
08	09
08	10
08	11
08	12
11	13
11	14
11	15
12	06
12	07

Riesgo muy bajo	
Mz	Lote
04	37
04	42
04	49
04	57
07	12
10	03
10	05
10	06
10	07
10	08
10	09
10	10
10	11
11	08
11	10
11	12
12	04
12	05
12	13
12	14
12	15
12	16
12	17
13	01
13	02
13	03
13	04

9. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN

A partir de los resultados de las etapas y fases del estudio global contenidas en los capítulos anteriores, tanto desde el punto de vista ingenieril convencional –geotecnia, hidrología e hidráulica– como del estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, la mitigación ante fenómenos de remoción en masa, puede orientarse en tres sentidos:

a) Controlar, manejar o reducir el grado de amenaza, mediante obras correctivas y preventivas de los fenómenos de inestabilidad.
b) Disminuir la vulnerabilidad ya sea en lo referente a la resistencia estructural o técnica o en lo relacionado con la posición en el espacio de los elementos expuestos, como son las viviendas.
c) Una combinación de las dos anteriores.

Se plantean en general tres alternativas:

1- Construir obras de drenaje superficial y subterránea teniendo en cuenta la importancia tanto de la erosión (dados los tipos de materiales existentes y la pendiente), como de las posibles presiones de infiltración.

2- Complementar el drenaje con obras de recalce de casas en zonas de riesgo y de contención de masas con estabilidad precaria.

3- Hacer obras de drenaje y contención menores, y proceder a la compra de lotes y viviendas afectadas, y reubicación de familias.

Esta última se consideró más que todo como punto de referencia en el análisis costo/beneficio ya que se encontró que no era un procedimiento muy necesario si se llevan a cabo obras como las enunciadas antes.

De acuerdo con los análisis realizados se propone realizar las siguientes obras, según su prioridad:

Prioridad	Descripción	Costo
1	Alternativa 2 del K0+050 al K0+220	$ 185’749.253
2	Alternativa 1 del K0+030	$ 18’276.383
3	Alternativa 1 K0+340	$ 40’634.653
4	Alternativa 1 K0+280	$ 19’760.248

Teniendo en cuenta los análisis de costo/beneficio, junto con los costos de alternativas, y la naturaleza, gravedad e intensidad observadas en los problemas que afectan cada zona, se recomienda al FOPAE acometer las obras en las siguientes etapas:

9.1.1 **Primera etapa**

Comprende obras prioritarias de carácter inmediato q ue en lo posible se deben acometer simultánemente:

a) Reconformación del terreno en la zona arriba del K0+050 mediante rebanado hasta la cota 2630, y relleno de las depresiones que queden por debajo de dicha cota.

b) Construcción de un filtro dispuesto en planta en forma de espinazo de pescado, con geotextil adecuado, el cual desagüe hacia un pozo situado en el camino de acceso al extremo sur del barrio Zarazota, y entre la sección K0+030 y la carrera 5Ñ del estudio.

c) Reparación del sistema de drenaje del Paradero: rejilla, caja colectora, y tubería de desagüe de ésta.

d) Prolongación y reparación del canal de drenaje de concreto que existe cerca de la corona del talud del Callejón y que se dirige hacia el sur y el sureste dentro del sector norte del barrio El Mirador de Marrocos.

e) Construcción de calzas pernadas de submuración, de concreto ciclópeo, bajo los cimientos corridos de los muros occidentales de las viviendas Manzana 01 (predio 01) y Manzana 02 (predios 5 y 10).

f) Colocar baterías de drenes horizontales en dos niveles en los sectores críticos caracterizados por las secciones K0+030, K0+120, K0+280, sección crítica y K0+340 en la cantidad, dimensiones y posición indicadas en los Planos 11.2 a 11.5 y las secciones de los planos 10.3 y 10.4.

g) Construcción de dos muros de gaviones, uno a mitad del talud arriba de la casa 08 de la Manzana 07, y el otro en el talud arriba de la casa 16 de la Manzana 08. Estos muros deberán tener relleno granular grueso en su espaldar y filtro en la base. El desagüe podrá hacerse hacia la Calle 48L y luego buscar la carrera 5Ñ o un pozo intermedio.

h) Construcción de una cuneta de concreto y un bordillo también de concreto en el borde occidental de la carrera 5N, en el tramo vecino a la cresta del talud del K0+280.

i) Construir cuneta y bordillo de concreto en la cresta del talud del K0+340.

j) Estimular e intensificar la cobertura vegetal en el talud oriental consistente de pasto y pequeños arbustos. Entre secciones K0+050 y K0+130 puede acudirse a la colocación de biomantos.

9.1.2 **Segunda Etapa**

a) Proteger las cárcavas mayores mediante su revestimiento; pueden construirse en ellas unas bajantes escalonadas de concreto, procurando rellenar oquedades con concreto ciclópeo o con mortero y colocando tubos o mangueras de drenaje a través del relleno.

b) Captación en un sistema de filtro y lecho filtrante, de las aguas del conjunto de nacimientos de agua de la pata del talud. Desaguar a lo largo de la calle vecina hasta pozo, o a la cuneta de la Cra. 5Ñ.

c) Reparar o construir en caso dado, la cuneta occidental de la Cra. 5N, en los tramos frente a los lotes 1A, 15 y 18 de la Manzana 02.

d) Colocar un dren horizontal bajo cada casa en la mitad superior del talud, entre la sección K0+180 y la prolongación hacia el oriente de la Calle 48 K Bis, como se indica en el Plano 10.1. El desagüe de los drenes podrá hacerse por medio de una cuneta o zanja de concreto, como se muestra en el Plano 10.2. La tubería perforada de los drenes debe protegerse mediante la construcción de bloques de concreto en el extremo de salida de cada uno.

e) Construir calzas de concreto ciclópeo pernadas bajo los cimientos de muros occidentales de las casas 01 y 06 de la Manzana 03, y los muros de refuerzo bajo la vivienda 07 de la Manzana 12 (que tiene cimentación del tipo "palafítico").

La DPAE deberá advertir al propietario de la vivienda 07 de la manzana 12 sobre lo siguiente:

- No deben hacerse ventanas ni ningún tipo de oficio en los muros de recalce ya que éstos actuarán como refuerzo al cortante y cualquier vacío hará que no puedan transmitirse esos esfuerzos diagonalmente al terreno de fundación.

- Al reforzar la zona inferior de la casa se la está rigidizando en relación con la casa misma que en consecuencia quedaría muy vulnerable a cargas sísmicas. El propietario deberá completar la casa en la esquina suroriental subiendo columna de la esquina y construyendo muros y vigas de amarre al nivel de arriba de las paredes, de manera que se formen pórticos.

- Además de estas obras, se deben retirar los escombros y restos del muro de contención y paredes recostados a la pata del talud y a la columna de la casa en consideración.

f) Colocar pilotes metálicos como refuerzo exterior del muro de gaviones que existe en el sector de la sección K0 + 030. La longitud de estos pilotes se fija entre 5.0 y 7.0 m, y su separación centro a centro será de 1.0 m, como se indica en el Plano 10.2 y la sección correspondiente en el Plano 10.3.

g) En el talud del K0+340 retirar el relleno suelto, cuidando de remover inicialmente la capa vegetal, la cual se almacenará en la vecindad para uso posterior. Construir de arriba hacia abajo cuatro fajas recubiertas en malla/mortero y pernadas de 2.0 m de altura cada una. Construir en la pata un muro de gaviones de 2.0 m de altura con sección transversal en forma de T invertida y colocar detrás de éste, un relleno granular compactado y un filtro con geotextil.

h) En el sitio donde hubo un deslizamiento de bloques de arenita meteorizada que afectó la casa 08, Manzana 12 y amenazó seriamente la 18 de la misma manzana y en el talud bajo la cimentación de la Casa 01, Manzana 03, construir fajas recubiertas con malla/mortero y pernadas, en terrazas de 2.0 m a 3.0 m de altura según lo indicado en los Planos 11.4 y 11.5 y las secciones correspondientes de los Planos 10.3 y 10.4.

i) Adquirir los predios 5, 6 y 7 de la manzana 06, los predios 8A, 9 y 10 de la manzana 07 y las demás áreas de propiedad privada que estén involucradas en el planteamiento paisajístico del presente estudio. (Ver plano 11.1).

9.1.3 **Tercera Etapa**

a) En el sector de relleno en la sección K0+280, remoción de la mitad superior del cuerpo del relleno y terraceo de descarga y reconformación de la mitad inferior. Construcción de un muro de base de gaviones, el cual tendrá 3.0 m de altura, geotextil drenante en el espaldar y relleno granular grueso con un filtro en la base. Construcción de cuatro niveles de muros de llantas de desecho de 1.2 m de altura cada uno. Construcción de una faja de malla y mortero pernada, en los 2.5 m superiores del talud, o sea, en la berma vecina a la carrera 5N.

b) Construir muros de gaviones de 3.0 m de altura y sección transversal muy sencilla a lo largo de la pata del talud, entre las secciones K0 + 050 y K0 + 130. El filtro de la base del muro debe desagüarse a lo largo de una calle o del parámetro norte de la zona del Campamento, para entregar a pozos del alcantarillado de aguas lluvias o a cunetas de la Carrera 5Ñ. Para realizar esta obra es indispensable adquirir los predios 38, 39 y 63 de la Manzana 04.

c) Retirar el apilamiento de materiales térreos de desecho existente entre la base del talud y la Carrera 5Ñ y proceder a reconformar el terreno natural dándole a su superficie una ligera pendiente hacia el sur y el occidente.

d) Construcción de un revestimiento de malla metálica y mortero con pernos de anclaje, en los dos metros superiores de la cresta del talud. Esta medida complementará el recalce de la cimentación de los muros occidentales de las casas del Mirador de Marrocos, como se indica en los planos 10.2 y 11.3 y en la sección 10.4.5.

e) En el resto de la zona plana del Callejón de Santa Bárbara (zonas de riesgo bajo a nulo por fenómenos de remoción en masa), mejoramiento de calles y caminos peatonales mediante nivelación, drenaje superficial y pavimentación (algo similar a las “obras con saldo pedagógico”).

Colocación de pilotes metálicos (secciones H, rieles de desecho) en la contención de un relleno frente a casas del barrio Zarazota arriba del K0+030 donde se hincaron hace varios años pilotes de madera que se encuentran semivolcados y algunos de ellos podridos o astillados hoy en día.