D P A E

ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE CONTROL, PROTECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN EN EL BARRIO EL CODITO, LOCALIDAD DE USAQUÉN.



INFORME FINAL
Original

INGENIERIA Y DESARROLLO AMBIENTAL LTDA.

Indesa Ltda.
Ingeniería y Desarrollo Ambiental Ltda.

CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 1-1

1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO 1-1

1.3 LIMITACIONES DEL ESTUDIO 1-2

1.3 ORGANIZACIÓN DEL INFORME 1-2

1.4 PROCEDIMIENTO 1-3

1.4.1 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE 1-3

1.4.2 VISITA DE RECONOCIMIENTO 1-3

1.4.3 ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍA BASE Y TEMÁTICA 1-3

1.4.3.1 Levantamiento topográfico 1-3

1.4.3.2 Estudio geológico, geomorfológico y geotécnico 1-4

1.4.3.3 Estudio geotécnico básico 1-4

1.4.3.4 Inventario de viviendas afectadas 1-4

1.4.3.5 Estudio hidrológico e hidráulico 1-5

1.4.4 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO 1-5

1.4.5 ANÁLISIS GEOTÉCNICO 1-6

1.4.5.1 Modelo Geotécnico 1-6

1.4.5.2 Zonificación geotécnica 1-6

1.4.5.3 Análisis Paramétrico (Caracterización Geomecánica) 1-6

1.4.5.4 Análisis de estabilidad 1-7

1.4.6 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA 1-7

1.4.7 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO 1-7

1.4.8 EVALUACIÓN DE MITIGABILIDAD Y ANÁLISIS DE COSTO/BENEFICIO 1-8

1.4.9 DISEÑO, ESPECIFICACIONES Y PRESUPUESTO DE LAS OBRAS RECOMENDADAS 1-9

1.4.10 RECOMENDACIONES PAISAJÍSTICAS 1-9

2 DIAGNOSTICO 2-1

2.1 LOCALIZACIÓN 2-1

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 2-1

2.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN CONSULTADA 2-4

3. ESTUDIOS BÁSICOS 3-1

3.1 TOPOGRAFÍA 3-1

3.1.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO 3-1

3.1.2 PROCEDIMIENTO CARTOGRÁFICO 3-1

3.2 GEOLOGÍA 3-2

3.2.1 GEOLOGÍA REGIONAL 3-2

3.2.1.1 Estratigrafía 3-2

3.2.1.2 Geología Estructural 3-5

3.2.2 GEOLOGÍA LOCAL 3-6

3.2.2.1 Estratigrafía Local 3-6

3.2.2.2 Geología Estructural 3-11

3.3 GEOMORFOLOGIA 3-12

3.3.1 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL 3-12

3.3.2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL 3-13

3.3.2.1 Modelado Natural 3-13

3.3.2.2 Modelado Antrópico 3-13

3.3.2.3 Modelado Mixto 3-14

3.3.3 MORFODINÁMICA 3-14

3.4 ASPECTOS GEOTÉCNICOS 3-15

3.4.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO 3-15

3.4.2 ENSAYOS DE LABORATORIO 3-16

3.4.3 CARACTERÍSTICAS DEL SUBSUELO 3-22

3.4.3.1 Macizo Rocoso 3-22

3.4.3.1.1 Discontinuidades 3-22

3.4.3.1.2 Clasificación 3-25

3.4.3.2 Suelos 3-31

3.5 ANÁLISIS HIDROLÓGICO 3-31

3.5.1 PROCEDIMIENTO DE REALIZACIÓN DEL ESTUDIO 3-31

3.5.2 MARCO HIDROLÓGICO GENERAL 3-32

3.5.3 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA REGIONAL 3-32

3.5.3.1 Precipitación 3-32

3.5.3.2 Precipitación de corta duración – Curva de intensidad – Duración – Frecuencia 3-33

3.5.4 RELACIÓN DE PRECIPITACIÓN CRÍTICA – DURACIÓN QUE DISPARAN MOVIMIENTOS EN MASA 3-35

3.6 INVENTARIO DE VIVIENDAS 3-37

4. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE AMENAZA ACTUAL 4-1

4.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD 4-1

4.1.1 ANÁLISIS CINEMÁTICO 4-1

4.1.2 ANÁLISIS ESTÁTICO 4-3

4.1.2.1 Mecanismos de Falla 4-3

4.1.2.2 Funciones de Probabilidad de las Variables Aleatorias 4-5

4.2 EVALUACIÓN DE AMENAZA ACTUAL 4-16

4.3 VULNERABILIDAD Y RIESGO ACTUAL 5-1

5. VULNERABILIDAD Y RIESGO ACTUAL 5.1

5.1 VULNERABILIDAD SOCIAL 5-1

5.2 VULNERABILIDAD FÍSICA 5-5

5.2.1 ÍNDICE DE EXPOSICIÓN 5-7

5.2.2 Índice de Resistencia (IR) 5-7

5.2.3 Índice de Vulnerabilidad Física (IVF) 5-17

5.3 RIESGO ACTUAL 5-20

6. MEDIDAS CORRECTIVAS 6-1

6.1 EVALUACIÓN DE AMENAZA FUTURA 6-1

6.2. VULNERABILIDAD FUTURA 6-2

6.3 EVALUACIÓN DE RIESGO Y SISTEMAS DE DECISIÓN BAJO INCERTIDUMBRE ... 6-3

7. DISEÑO DETALLADO DE LA ALTERNATIVAS SELECCIONADAS 7-1

7.1 OBRAS DE MITIGACIÓN – TALUD ORIENTAL 7-1

7.2 OBRAS PARA EL CONTROL DEL DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR OESTE 7-2

7.3 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTOS 7-3

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 8-1

8.1 CONCLUSIONES 8-1

8.2 RECOMENDACIONES 8-2

8.2.1 REGULACIÓN DE USO DEL SUELO 8-2

8.2.2 OBRAS DE MITIGACIÓN 8-2

8.2.3 OBRAS DE INFRAESTRUCTURA URBANA Y CONTROL 8-3

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 ORGANIGRAMA DEL PROYECTO 1-10

Figura 2.1 LOCALIZACIÓN GENERAL 2-2

Figura 3.1 CIERRE DE LA POLIGONAL 3-3

Figura 3.2 COLUMNA ESTRATIGRAFICA REGIONAL 3-4

Figura 3.3 COLUMNA GENERALIZADA 3-7/8

Figura 3.4 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DEL LEVANTAMIENTO ESTRUCTURAL 3-23

Figura 3.5 ENVOLVENTES DE FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES. - CODITO ESTACIÓN INDESA (C1 a C6 y E1) 3-24

Figura 3.6 ANÁLISIS DE FRECUENCIA FAMILIA DE DIACLASAS D4b 3-26

Figura 3.7 ANÁLISIS DE FRECUENCIA FAMILIA DE DIACLASAS D3 3-27

Figura 3.8 ANÁLISIS DE FRECUENCIA FAMILIA DE DIACLASAS D4 3-28

Figura 3.9 PRECIPITACIÓN MENSUAL MULTIANUAL (1987 - 1999) ESTACIÓN ESC. COL INGENIERÍA .. 3-34

Figura 3.10 CURVAS GENERALIZADAS IDF ESTACIÓN ESCUELA COL DE ING. 3-34

Figura 3.11 HIETOGRAMA DE PRECIPITACIÓN TOTAL 3-36

Figura 3.12 FORMULARIO PARA LA EVALUACIÓN DE DAÑOS EN EDIFICACIONES EN CASO DE DESLIZAMIENTO 3-38

Figura 4.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD - BARRIO CODITO. MODELO DE FALLA EN CUÑA 4-6

Figura 4.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD - BARRIO CODITO. MODELO DE FALLA PLANAR SOBRE MATERIAL CUATERNARIO 4-7

Figura 4.3 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE PARÁMETROS ÍNDICE Y DE RESISTENCIA 4-8

Figura 4.4 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE PARÁMETROS ÍNDICE Y DE RESISTENCIA 4-9

Figura 4.5 ANÁLISIS PARAMETRICO - MODELO DE FALLAS PLANAR. Sección B-B 4-11

Figura 4.6 MODELO PARA ANÁLISIS POR VOLTEO - FIGURA TRAPEZOIDAL 4-13

Figura 4.7 MODELO DE ANÁLISIS POR VOLTEO - FIGURA RECTANGULAR 4-14

Figura 4.8 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE FACTOR DE SEGURIDAD 4-17

Figura 4.9 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE FACTOR DE SEGURIDAD 4-18

Figura 4.10 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE FACTOR DE SEGURIDAD 4-19

Figura 4.11 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE FACTOR DE SEGURIDAD 4-20

Figura 4.12 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE FACTOR DE SEGURIDAD 4-21

Figura 4.13 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE FACTOR DE SEGURIDAD 4-22

Figura 4.14 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE FACTOR DE SEGURIDAD 4-23

Figura 4.15 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE FACTOR DE SEGURIDAD 4-24

Figura 4.16 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE FACTOR DE SEGURIDAD 4-25

Figura 4.17 PROBABILIDAD DE FALLA EN FUNCIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD - ANÁLISIS POR VOLTEO 4-26

Figura 4.18 PROBABILIDAD DE FALLA EN FUNCIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD - ANÁLISIS POR FALLA PLANAR 4-27

Figura 5.1 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DEL INGRESO MENSUAL POR FAMILIA 5-3

Figura 5.2 INDICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIAL 5-4

Figura 5.3 CARACTERISTICAS DE LAS VIVIENDAS 5-6

Figura 5.4 RESULTADOS DEL ANÁLISIS CON TUMBLE - SECCIÓN 1-1 5-9

Figura 5.5 RESULTADOS DEL ANÁLISIS CON TUMBLE - SECCIÓN 2-2 5-10

Figura 5.6 RESULTADOS DEL ANÁLISIS CON TUMBLE - SECCIÓN 3-3 5-11

Figura 5.7 RESULTADOS DEL ANÁLISIS CON TUMBLE - SECCIÓN 4 -4 5-12

Figura 5.8 RESULTADOS DEL ANÁLISIS CON TUMBLE - SECCIÓN 5-5 5-13

Figura 5.9 RESULTADOS DEL ANÁLISIS CON TUMBLE - SECCIÓN 6-6 5-14

Figura 5.10 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DEL ÍNDICE DE EXPOSICIÓN E ÍNDICE DE RESISTENCIA 5-15

Figura 5.11 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FÍSICA E ÍNDICE DE RIESGO 5-22

Figura 6.1 SECCIÓN DE ANÁLISIS B-B. ESTADO DEL TALUD EN LA FALLA F.S. : 0.88. TALUD EN ESTADO SECO Y SIN VIVIENDAS F.S. : 1.48 6-3

Figura 6.2 SECCIÓN DE ANÁLISIS B-B. TALUD RECONFORMADO CON NIVEL FREÁTICO EN SUPERFICIE F.S.: 0.92. TALUD RECONFORMADO EN ESTADO SECO F.S.: 1.50 6-4

Figura 6.3 SECCIÓN DE ANÁLISIS 3. ESTADO DEL TALUD EN FALLA F.S.: 0.94. TALUD ACTUAL EN ESTADO SECO Y SIN VIVIENDAS F.S.: 1.61 6-5

Figura 6.4 SECCIÓN DE ANÁLISIS 4 . ESTADO DEL TALUD EN FALLA F.S.: 1.09. TALUD ACTUAL EN ESTADO SECO Y SIN VIVIENDAS F.S.: 1.54 6-6

Figura 6.5 SECCIÓN DE ANÁLISIS O-O. TALUD ACTUAL EN ESTADO SATURADO F.S.: 1.79. TALUD EN ESTADO SECO F.S.: 2.16 6-7

Figura 6.6 SOLUCIONES: RESULTADOS DEL ANÁLISIS CON TUMBLE - SECCIÓN 1-1. ZANJA DE AMORTIGUAMIENTO 6-9

Figura 6.7 SOLUCIONES: RESULTADOS DEL ANÁLISIS CON TUMBLE - SECCIÓN 3-3. ZANJA DE AMORTIGUAMIENTO 6-10

Figura 6.8 SOLUCIONES: RESULTADOS DEL ANÁLISIS CON TUMBLE - SECCIÓN 5-5. ZANJA DE AMORTIGUAMIENTO 6-11

Figura 6.9 SOLUCIONES: RESULTADOS DEL ANÁLISIS CON TUMBLE - SECCIÓN 6-6. ZANJA DE AMORTIGUAMIENTO 6-12

Figura 6.10 SOLUCIONES: RESULTADOS DEL ANÁLISIS CON TUMBLE - SECCIÓN 1-1. MALLA DE AMORTIGUAMIENTO 6-13

Figura 6.11 SOLUCIONES: RESULTADOS DEL ANÁLISIS CON TUMBLE - SECCIÓN 3-3. MALLA DE AMORTIGUAMIENTO 6-14

Figura 6.12 SOLUCIONES: RESULTADOS DEL ANÁLISIS CON TUMBLE - SECCIÓN 5-5. MALLA DE AMORTIGUAMIENTO 6-15

Figura 6.13 SOLUCIONES: RESULTADOS DEL ANÁLISIS CON TUMBLE - SECCIÓN 6-6. MALLA DE AMORTIGUAMIENTO 6-16

Figura 6.14 ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTO. ZONA DE ESTUDIO CORRESPONDIENTE AL ESCARPE EN ROCA 6-20

Figura 7.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD - JARILLÓN 1.0H:1.0V 7-2

Figura 7.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD - JARILLÓN 1.0H:1.5V 7-2

Figura 7.3 CALCULO DEL VOLUMEN DEL JARILLÓN 7-5
SECCIÓN K-K', SECCIÓN J-J', SECCIÓN L-L'

Figura 7.4 CALCULO DEL VOLUMEN DEL JARILLÓN..... 7-6
SECCIÓN N-N', SECCIÓN M-M', SECCIÓN O-O'

Figura 7.5 CALCULO DELA REA DE LA MALLA DE GALLINERO - TRAMO NORTE 7-7
SECCIÓN K-K', SECCIÓN J-J', SECCIÓN L-L'

Figura 7.6 CALCULO DELA REA DE LA MALLA DE GALLINERO - TRAMO SUR 7-8
SECCIÓN N-N', SECCIÓN M-M', SECCIÓN O-O'

LISTADO DE TABLAS

Tabla 3.1A ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL 3-17

Tabla 3.1B RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO 3-18

Tabla 3.2 VALORES DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA ENCONTRADOS MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS PARA ESTE ESTUDIO 3-19

Tabla 3.3 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO 3-20

Tabla 3.4 VALORES DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL ESTUDIO DENOMINADO "ESTUDIO Y DISEÑOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES Y CONTROL Y CONTROL DE EROSIÓN Y MANEJO DE AGUAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE DIFERENTES SITIOS EN LA CIUDAD DE SANTA FE DE BOGOTA GRUPO 3". (Hidrotec Ltda., 1998) 3-21

Tabla 3.5A CLASIFICACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS. Bieniawski 1976 3-29

Tabla 3.5B CLASIFICACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS. Bieniawski 1979 3-30

Tabla 3.6 INVENTARIO DE VIVIENDAS BARRIO EL CODITO 3-40

Tabla 3.7 INVENTARIO DE VIVIENDAS BARRIO CODITO - III SECTOR. DESCRIPCIÓN DE LOS CAMPOS DE LA BASE DE DATOS 3-42

Tabla 4.1 RESUMEN DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CINEMÁTICO PARA LOS TALUDES DOMINANTES BARRIO CODITO III SECTOR 4-2

Tabla 4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE TAMAÑO DE BLOQUE 4-4

Tabla 4.3 ENSAYOS DE LABORATORIO 4-10

Tabla 4.4 RESUMEN DE CONDICIONES DE ESTABILIDAD PARA LOS DIFERENTES MECANISMOS DE FALLA 4-15

Tabla 5.1 DETERMINACIÓN DE LAS DISTANCIAS DE VIAJE DE LAS MASAS POTENCIALMENTE INESTABLES 5-8

Tabla 5.2 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DESLIZAMIENTO 5-16

Tabla 5.3 VALORES ASIGNADOS PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE ESTRUCTURAS 5-18
RELACIÓN ENTRE LA INTENSIDAD DE DAÑO Y EL ÍNDICE DE DAÑO 5-18

Tabla 5.4 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RIESGO ACTUAL 5-21

Tabla 6.1 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS 6-18

Tabla 6.2 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS 6-19

Tabla 7.1 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS 6-9

Tabla 7.2 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO APROXIMADO 7-10

CONTENIDO PLANOS

PLANO 1 MAPA BASE

PLANO 2 GEOLOGÍA REGIONAL

PLANO 3 GEOLOGÍA LOCAL

PLANO 4 GEOMORFOLOGÍA

PLANO 5 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

PLANO 6 REGIONES ESTRUCTURALES

PLANO 7 LONGITUDES DE VIAJE DE LAS MASAS POTENCIALMENTE INESTABLES

PLANO 8 MAPA DE AMENAZA POR CAÍDA DE ROCAS (O POR VOLTEO)

PLANO 9 MAPA DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS TRASLACIONALES

PLANO 10 MAPA DE AMENAZA ACTUAL

PLANO 11 TIPOLOGÍA DE VIVIENDAS Y CODIFICACIÓN.

PLANO 12 MAPA DE EXPOSICIÓN

PLANO 13 VULNERABILIDAD FÍSICA ACTUAL

PLANO 14 MAPA DE RIESGO ACTUAL

PLANO 15 MEDIDAS CORRECTIVAS

PLANO 16 DETALLES

PLANO 17 URBANISMO Y PAISAJISMO

1 INTRODUCCIÓN

Como parte del Contrato de Consultoría No. CCS-602-99, suscrito entre el FONDO PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS E INGENIERÍA Y DESARROLLO AMBIENTAL Ltda. – INDESA LTDA, a continuación se presentan los resultados del estudio "Evaluación de Riesgos por Remoción en Masa y Diseños detallados de las obras de control, protección y estabilización en el barrio El Codito, localidad de Usaquén.", compilados en este documento.

La zona en la que se desarrolla el barrio El Codito corresponde al flanco oeste de los Cerros Orientales al norte del Distrito Capital (Calle 174 a 183 aproximadamente); las laderas se han desarrollado debido al plegamiento de rocas cretácicas, erosión y meteorización de éstas y a la intensa actividad antrópica subsecuente (explotación de canteras y procesos de urbanización). Los taludes involucrados en el estudio son el producto de actividades extractivas de material y de acumulación de algunos depósitos antrópicos.

1.1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objetivo general de este proyecto es servir de instrumento en la planificación integral del sector, bajo el marco de la Prevención de Desastres.

Como objetivos específicos se tienen:

- Definir el área de influencia del talud objeto de estudio y de la zona afectada.
- Definir el Modelo estratigráfico del subsuelo en el área de estudio.
- Inventariar los procesos morfodinámicos del frente de explotación y sus alrededores, con el fin de determinar los factores condicionantes y desencadenantes de la inestabilidad local.
- Presentar una descripción y caracterización del área.
- Evaluar la condición actual de estabilidad de los taludes que entallan la zona de explotación y los cortes perimetrales. (Este tópico involucra por una parte, definir las propiedades geomecánicas de los diferentes materiales que componen el subsuelo y elaborar modelos de simulación de los mecanismos de falla).
- Investigar los cambios en la probabilidad de falla en relación con los intervalos de dominio (o de variación) de los parámetros geotécnicos, para las condiciones actuales y futuras de los taludes. Estas últimas implican considerar las medidas correctivas.
- Estudiar la condición de vulnerabilidad del sector con respecto al tipo de movimiento involucrado y al nivel de daño que pueden sufrir los elementos expuestos.
- Evaluar el riesgo actual y futuro de los elementos expuestos ante los eventos amenazantes (movimientos en masa).
- Estructurar árboles de decisión que faciliten la selección de alternativas con relación beneficio-costo aceptable.
- Diseñar las obras civiles, estimar sus costos, precios unitarios y cantidades de obra.

1.2 LIMITACIONES DEL ESTUDIO

El borde occidental del área de estudio dejó sin sustento durante la etapa de análisis la determinación del grado de afectación de las viviendas circunscritas a él, especialmente las ubicadas en la parte baja del segundo escarpe de explotación, dado que quedaron fuera del área de estudio. Este pormenor adquiere mayor relevancia si se observa que el nivel de amenaza del depósito superior es alto y ha mostrado evidencias de actividad desde al año pasado, las cuales aún persisten. Si bien en los análisis se plantearon soluciones para el depósito antrópico sobre el que se desarrolla el movimiento, se debería efectuar un estudio que evaluara la posible incidencia de fenómenos de remoción en masa con un análisis semejante (amenaza, vulnerabilidad y riesgo) al efectuado en este estudio para el costado oeste del área estudiada.

1.3 ORGANIZACIÓN DEL INFORME

El informe técnico consta de trece capítulos que tratan desde los aspectos generales de éste, hasta el diseño final de las obras. La estructura general del estudio fue la siguiente:

- **CAPITULO 1.0: INTRODUCCIÓN:**
- **CAPITULO 2.0: DIAGNOSTICO:** Localización, descripción del problema y análisis de la información consultada.
- **CAPITULO 3.0: ESTUDIOS BÁSICOS:** Incluye los aspectos como topografía, geología regional y local, geomorfología, geotecnia, Inventario de viviendas y análisis hidrológico.
- **CAPITULO 4.0: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE LA AMENAZA ACTUAL:** Se describen y analizan las condiciones actuales de amenaza por fenómenos de remoción en masa.
- **CAPITULO 5.0: VULNERABILIDAD Y RIESGO ACTUAL:** Se describen aspectos relacionados con los índices de vulnerabilidad, de resistencia, de exposición y la determinación del riesgo.
- **CAPITULO 6.0: MEDIDAS CORRECTIVAS:** Evaluación de la amenaza y vulnerabilidad futura, evaluación de riesgo y sistemas de decisión bajo incertidumbre. Se presentan el planteamiento de alternativas y el presupuesto aproximado , análisis probabilístico con obras de mitigación.
- **CAPITULO 7.0: DISEÑO DETALLADO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA:**. Corresponde al diseño detallado de las obras que se contemplan en la alternativa escogida.
- **CAPITULO 8.0: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:** Se hace una sinopsis del estado actual de los problemas de estabilidad y de las soluciones propuestas.

En los Anexos se presentan los siguientes aspectos

Anexo 1 Cartografía
Anexo 2 Topografía
Anexo 3 Geotecnia
Anexo 4 Hidrología
Anexo 5 Especificaciones Técnicas
Anexo 6 Análisis de precios unitarios

1.4 PROCEDIMIENTO DE EJECUCION

1.4.1 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE

Se recopiló y analizó la información existente sobre cartografía, topografía, geología, geomorfología, fotografías aéreas, geotecnia, hidroclimatología, usos del suelo y sismología existente en las entidades encargadas de tales estudios como el IGAC, INGEOMINAS, DPAE, IDEAM, EAAB, DAPD, etc. Se consultaron los estudios geológicos, geomorfológicos y geotécnicos que fueron ejecutados para la UPES con anterioridad en la vecindad de la zona de estudio, (ver numeral 2.3). El análisis de la información recopilada, permitió obtener una comprensión general de los fenómenos que afectan el sitio, así como de los agentes detonantes de los problemas de inestabilidad activos o potenciales.

1.4.2 VISITA DE RECONOCIMIENTO

Una vez analizada la información disponible, se efectuó una visita de reconocimiento al sitio del estudio. Durante ésta se verificaron las condiciones establecidas en la etapa de análisis de la información, se formuló un modelo hipotético del problema, se identificaron los sitios en los que se realizó la investigación del subsuelo, y se efectuó un planteamiento preliminar de las alternativas de acción y de las obras correctivas y preventivas, las cuales fueron confirmadas o ajustadas de acuerdo con los resultados de los trabajos de investigación del subsuelo y análisis de ingeniería.

1.4.3 ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍA BASE Y TEMÁTICA

1.4.3.1 Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico se realizó utilizando equipos de precisión, se referenció al sistema de coordenadas geográficas del IGAC y se dejaron mojones de referencia de concreto para el futuro replanteo de las obras. Se abarcó el área afectada y su área de influencia. Tanto el procesamiento de la información como la elaboración de los planos, se efectuó mediante software especializado de topografía, modelamiento de terrenos y dibujo como: Civil y AutoCad. Los planos se presentan a escala 1:1000, y contienen los detalles relevantes como: vías, viviendas, servicios públicos, obras existentes, etc. de las zonas afectadas. El plano topográfico es la base sobre la cual se presentan los diseños de las obras de protección recomendadas (escala 1:500) y los mapas de zonificación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

1.4.3.2 Estudio geológico, geomorfológico y geotécnico

Con base en la información existente y en el resultado de la interpretación de las fotografías aéreas de años anteriores, se establecieron los niveles litológicos en términos de unidades de roca y suelo con su ubicación espacial, se identificaron los principales rasgos tectónicos en especial fallas, las formas estructurales, las zonas de escurrimiento, la morfodinámica que muestran los diferentes tipos de erosión y procesos de remoción en masa, etc. Como ajuste de la fotogeología se hicieron visitas al sector de estudio con el objeto de efectuar el levantamiento geológico y geomorfológico haciendo énfasis en la determinación de la geología estructural del macizo rocoso (específicamente orientación de la estratificación o influencia de los planos de discontinuidad y falla), los espesores y grados de alteración de los materiales depositados, la presencia de suelos residuales, las evidencias de actividad tectónica reciente y la potencialidad de movimientos en masa. Como resultado de este trabajo, se presentan los planos geológicos regional y local, a escalas 1:5.000 y 1:1000, respectivamente, en los cuales se incluyen las secciones más relevantes para el estudio.

1.4.3.3 Estudio geotécnico básico

Se efectuó la identificación y delimitación de los diferentes procesos de inestabilidad, activos o potenciales, que se encuentran en el sitio en estudio, definiendo el alcance del programa de exploración geotécnica requerido para determinar los parámetros necesarios con el fin de acometer su análisis. Cada proceso se registró en una ficha técnica y cartográfica, en la cual se consignó toda la información concerniente al mismo (clasificación del proceso, magnitud, eventos detonantes y contribuyentes, frecuencia de movimiento, actividad, tendencia a la propagación, daños producidos, geología estructural, morfometría del talud, etc.). Esta información junto con el plano de inventario de procesos de inestabilidad, constituyen el producto final del Inventario de procesos de inestabilidad y fueron base para evaluar la amenaza a corto y mediano plazo y calibrar el plano de amenaza.

Con el levantamiento geológico y el inventario de procesos se refinó el programa de exploración planteado en la primera etapa del proyecto (informe No.1). Estas actividades permitieron definir: los mejores sectores del frente de explosión para el levantamiento estructural, los sitios de mayor concentración de la investigación del subsuelo (bien fuera por el tamaño del área afectada por un movimiento, o por su grado de actividad); los puntos para la toma de muestras del material rocoso y de los planos de discontinuidad; y el tipo de ensayos de laboratorio a realizar.

1.4.3.4 Inventario de viviendas afectadas

Paralelamente al inventario de procesos de inestabilidad, se efectuó el inventario de viviendas. Para cada residencia, mediante fichas de campo específicas, se consignó información concerniente a: su localización, propietario, número de habitantes, estructura, daños y sus causas, servicios públicos de que dispone, condiciones del suelo de fundación, estabilidad del mismo y recomendaciones. Esta información fue base para la evaluación de los elementos en riesgo y para la determinación de los índices de exposición, de resistencia y de vulnerabilidad física.

1.4.3.5 Estudio hidrológico e hidráulico

El estudio hidrológico tuvo como objetivo describir el régimen temporal y espacial de la precipitación media anual y determinar el comportamiento de aguaceros de corta duración, este último elemento prioritario para calcular los caudales máximos esperados, con el fin de diseñar las obras de drenaje y subdrenaje para la estabilización del talud occidental y de las obras complementarias de manejo de agua en el resto del área.

En el análisis hidrológico se estudió solamente el elemento climatológico: precipitación, ya que es el principal agente de erosión en la zona y uno de los factores detonantes de los fenómenos de remoción en masa. Así, entonces, con base en los estudios estadísticos de la información hidroclimatológica existente se determinaron las isoyetas medias mensuales y anuales, las curvas de intensidad-duración-frecuencia de lluvias máximas y la relación de precipitación crítica (duración que dispara movimientos en masa). Se intentó, de igual manera, con base en la relación lluvia-deslizamiento (precipitación crítica), y en la datación de los fenómenos de remoción en masa, concluir sobre el papel de la lluvia como agente detonante para los procesos de inestabilidad y su probabilidad de ocurrencia.

1.4.4 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

Teniendo en cuenta las características geológicas del sector en estudio, la primera y más importante alternativa del programa de exploración fue el levantamiento detallado de los afloramientos rocosos, identificando tipo, espesores y condición local de la roca (esta tarea facilitó la formulación del modelo geológico en la zona), y los levantamientos estructurales que permitieron concluir sobre la influencia tectónica y sobre el papel de las discontinuidades en la estabilidad de los cortes existentes.

En segunda instancia se recurrió a la exploración directa mediante sondeos mecánicos o barrenos, con el fin de definir los principales patrones geométricos de los depósitos inconsolidados recientes.

El programa de ensayos se dirigió a la caracterización del material rocoso, a la estimación de la resistencia al corte en los planos de discontinuidad y a la clasificación del macizo. Todas las muestras se identificaron visualmente en campo, se etiquetaron y almacenaron de acuerdo con las normas de la ASTM, antes de ser enviadas al laboratorio para la práctica de los ensayos.

El tipo de ensayos dependió de las condiciones (tipo, estado) de las muestra y del material. Así por ejemplo, la caracterización del material rocoso se realizó sobre muestras de bloque las cuales fueron sometidas a ensayos de peso unitario, carga puntual, compresión inconfinada y corte directo. La clasificación y caracterización del material de los depósitos cuaternarios se llevó a cabo mediante retroanálisis.

Finalmente, la caracterización del macizo rocoso se basó en los criterios de clasificación de Hoek (1994), expuestos en su artículo “Strength of Rock and Rock Masses”, presentado en el Primer Curso Suramericano de Movimientos de Masas (Venezuela, 1995).

1.4.5 ANÁLISIS GEOTÉCNICO

1.4.5.1 Modelo Geotécnico

Con base en la investigación de campo, en los ensayos de laboratorio y en algunos principios básicos de la geología estructural se elaboraron modelos (aproximados) del subsuelo para la zona de estudio, que destacan la secuencia estratigráfica, la disposición estructural del macizo y los parámetros geomecánicos obtenidos para cada horizonte de suelo o roca. La definición de los parámetros se explica en el numeral 1.3.5.3

Se empleó durante la elaboración de este ejercicio, la base cartográfica obtenida del levantamiento topográfico, escala 1:1.000. La sección estratigráfica se levantó en el mismo sentido del azimut de buzamiento de la estratificación promedio, de tal manera que tanto el buzamiento, como los espesores de la secuencia estratigráfica se aprecian en verdadera magnitud. Igualmente, para cada proceso de inestabilidad se planteó un modelo geotécnico, donde se muestra la secuencia estratigráfica, parámetros geomecánicos y posición probable de la superficie de falla. Estos modelos son de gran importancia para el desarrollo del análisis paramétrico y de estabilidad.

1.4.5.2 Zonificación geotécnica

La definición de las zonas homogéneas se realizó contemplando variables como: material (unidad de roca y tipo de suelo), condición estructural y propiedades físico-mecánicas. Para este último tópico se recurrió a la clasificación del macizo por ser éste el principal ambiente de formación (y trabajo) en la zona. Se formuló, gracias al trabajo de levantamiento estructural, una clasificación del sector en regiones estructurales con base en el número y características de las familias de discontinuidades.

1.4.5.3 Análisis Paramétrico (Caracterización Geomecánica)

Con el ánimo de obtener el espectro probable de variación de los parámetros geomecánicos (c,ϕ) y de las variables aleatorias exógenas (nivel de agua, acción sísmica y factor antrópico). Se realizaron para los diferentes taludes de la zona en estudio y condiciones de las variables (endógenas y exógenas), múltiples "corridas" con el fin de obtener factores de seguridad iguales a la unidad. A los gráficos obtenidos se superpusieron los valores fisicomecánicos (c,ϕ) reportados por el laboratorio. El resultado de esta actividad facilitó: la obtención de las funciones de probabilidad a partir de la medida (μ_x) y la desviación estándar (σ_x) encontrados de la superposición de resultados, y la definición (o percepción) del grado aproximado de estabilidad, el cual se refinó en el análisis mismo de estabilidad (tanto para los valores probables como máximo y mínimo).

1.4.5.4 Análisis de estabilidad

Con los resultados de los trabajos previamente efectuados, se procedió a realizar para mecanismos de falla más importantes por zona estructural, los análisis de estabilidad contemplando las condiciones actuales y futuras. Se realizaron en una primera etapa, análisis direccionales de los modos de falla a lo largo de los planos de debilidad estructural y determinación de los modos probables de falla a partir de la aplicación del análisis cinemático. En una segunda etapa, se modelaron con ayuda de los métodos de equilibrio límite, los modos de falla observados en campo, entre ellos: deslizamientos rotacionales, falla de bloque con y sin grieta de tracción y caída de rocas.

Los análisis de estabilidad se efectuaron para las diferentes condiciones esperadas, variando los parámetros de resistencia entre los valores mínimo y máximo esperados (funciones de densidad de probabilidad), teniendo en cuenta la ocurrencia o no de lluvias y sismos, y para las diferentes alternativas de mitigación planteadas (subdrenaje, perfilado, etc).

1.4.6 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

Como resultado de la superposición de la evaluación de la susceptibilidad y de los eventos detonantes, del inventario de fenómenos de remoción en masa, de la determinación de la magnitud, estado de actividad y tendencia a la propagación de los actuales procesos de inestabilidad, se estimaron los niveles de amenaza actuales y futuros del sector. Debido a la escala de trabajo del proyecto (1:1000) y al nivel de detalle que se esperaba obtener de la investigación geotécnica, se usó de un método cuantitativo (técnica determinística) para la evaluación de la Amenaza. Para ello se siguieron los lineamientos de probabilidad de falla presentados por Hoek (1996) en el curso teórico-práctico “Decisiones Prácticas y Riesgos Aceptables en la Ingeniería de Rocas”.

De esta manera la amenaza se modeló como función de múltiples factores (internos o externos) los cuales se expresan como variables aleatorias. En este sentido, con base en el trabajo descrito en el numeral anterior para los mecanismos de falla más importantes en la zona, y de acuerdo con las funciones de probabilidad de las fuentes de incertidumbre (o variables aleatorias como por ejemplo: parámetros de resistencia, aceleración sísmica y nivel de agua) se efectuaron diferentes corridas que permitieron obtener las curvas de densidad de probabilidad del factor de seguridad, soporte para estimar la probabilidad de falla.

1.4.7 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO

A partir de los resultados del análisis de amenaza y de las observaciones de campo, se identificaron y localizaron los elementos en riesgo (tales como viviendas, vías, servicios, etc.). Una vez identificados, se procedió a determinar su grado de vulnerabilidad, entendido este último como una función de las pérdidas esperadas ante la ocurrencia de un evento determinado.

La evaluación de la vulnerabilidad se realizó teniendo como soporte la encuesta elaborada en cada vivienda, la cual constituyó la base fundamental para estudiar las dos componentes de la vulnerabilidad: la social y la física. Para la vulnerabilidad social, se tomaron en cuenta el nivel de ingresos, los daños sufridos por las viviendas, las recomendaciones para medidas urgentes y el cubrimiento de servicios públicos, con el fin de

cualificar la conciencia de los pobladores ante los eventos amenazantes y su capacidad para reconstruirse. Aspectos como la edad y área de construcción, estructura de techo, cubierta, tipo de sistema estructural, calidad de la construcción y daños en la misma, fueron los utilizados para estimar el índice de vulnerabilidad física.

La vulnerabilidad social se definió en forma cualitativa con base en las apreciaciones del experto en riesgos; mientras el modelo empleado en la evaluación del índice de vulnerabilidad física se basó en adaptaciones a las propuestas realizadas por Léone (1996) y por Ingeocim (1998). En este último sentido se determinó con base en la composición orgánica y estructural de las residencias y de la longitud potencial de viaje de las masas inestables, las zonas de afectación directa o indirecta para cada mecanismo de inestabilidad, los índices de exposición (IE) y de resistencia (IR). Estos elementos fueron el soporte para la determinación del índice de vulnerabilidad física. (IVF)

El índice de exposición (IE) se estimó como la relación entre área afectada del predio (Aaf) y el área total del mismo (At). Por su parte el índice de resistencia se calculó a partir de la contribución de la resistencia de los diferentes materiales del sistema estructural de las viviendas como son: la cubierta, la estructura de techo y el tipo de sistema estructural. A las variables mencionadas se les asignará un aporte de forma cualitativa, intentando describir su contribución como elemento reductor de la energía cinética de las masas inestables.

Con los índices de resistencia y exposición hallados anteriormente, se calculó finalmente el índice de vulnerabilidad física (IVF).

Finalmente, analizada tanto la amenaza como la vulnerabilidad, se llevó a cabo la integración de estas dos variables para definir el riesgo. Para ello se determinaron los costos probables de falla a partir de los escenarios de afectación, el índice de vulnerabilidad física y los costos iniciales de los elementos expuestos (entendidos por ejemplo para el caso de las viviendas como la suma del costo comercial de la vivienda y del valor de los enseres). El riesgo se obtuvo entonces como el producto de la probabilidad de falla por el costo de falla, que no es otra cosa que el producto del índice de vulnerabilidad física y el costo inicial del elemento expuesto.

1.4.8 EVALUACIÓN DE MITIGABILIDAD Y ANÁLISIS DE COSTO/BENEFICIO

Con base en la evaluación de amenaza, en los resultados de los análisis de vulnerabilidad y riesgo actual y de sus zonificaciones, se identificaron para cada sector las alternativas de mitigación viables técnica y económicamente. La selección de la mejor alternativa en cada zona se efectuó con base en un análisis de costo/beneficio, elaborado mediante la metodología de árboles de decisión (Wu et. al., 1994), para lo cual se hizo un análisis probabilístico de los taludes con la incorporación de los elementos de contención o las medidas de mitigación (Amenaza Futura) y la respuesta de los elementos (viviendas y líneas vitales) bajo este nuevo marco de acción (vulnerabilidad futura). Así, se obtuvo el costo esperado para cada alternativa, el menor de los cuales determinó la mejor opción.

Esta tarea permitió concluir sobre qué áreas poseen riesgo mitigable y no mitigable, y en dónde es conveniente reducir el nivel de amenaza, es decir llevar a cabo obras de contención o mitigación y cuál es la mejor alternativa (obra) y, en dónde es mejor evadir el problema o sea, reducir el nivel de vulnerabilidad (reubicar).

1.4.9 DISEÑO, ESPECIFICACIONES Y PRESUPUESTO DE LAS OBRAS RECOMENDADAS

A medida que se definieron las obras de mitigación, se procedió a su diseño, elaboración de cantidades de obra, presupuestos y especificaciones de construcción de las mismas, teniendo en cuenta las acciones a que estarán sometidas. Como resultado de esta etapa, se entregan los respectivos planos de construcción a escala 1:500 y las cantidades de obra, presupuestos y especificaciones de construcción.

1.4.10 RECOMENDACIONES PAISAJÍSTICAS

Con el objeto de garantizar que los terrenos estabilizados tendrán un uso adecuado por parte de la comunidad, se recomiendan obras paisajísticas a nivel de bocetos de las obras urbanísticas complementarias, tales como demoliciones, empradización, reforestación, etc., los cuales se presentan en planos a escala 1:1000.

Para efectos metodológicos se presenta en la **Figura 1.1,** el organigrama en el que se establecieron las actividades principales a desarrollar y su estructura para llegar al diseño final de obras de estabilización y control.

CAPITULO 1

CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 1

1.1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO 1
1.2 LIMITACIONES DEL ESTUDIO 2
1.3 ORGANIZACIÓN DEL INFORME 2
1.4 PROCEDIMIENTO DE EJECUCION 3
1.4.1 Recopilación y Análisis de Información Existente 3
1.4.2 Visita de Reconocimiento 3
1.4.3 Elaboración de Cartografía Base y Temática 3
1.4.4 Investigación del Subsuelo 5
1.4.5 Análisis Geotécnico 6
1.4.6 Zonificación de Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa 7
1.4.7 Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo 7
1.4.8 Evaluación de Mitigabilidad y Análisis de Costo/beneficio 8
1.4.9 Diseño, Especificaciones y Presupuesto de las Obras Recomendadas 9
1.4.10 recomendaciones Paisajísticas 9

LISTA DE FIGURAS

No	NOMBRE	PÁG.
FIGURA 1.1	ORGANIGRAMA DEL PROYECTO	10

INFORME EJECUTIVO

El barrio El Codito "III sector" está integrado al desarrollo urbano de los cerros nororientales del Distrito Capital, en el flanco occidental del anticlinal de Bogotá. Hace parte de una microcuenca vertiente del Río Bogotá, en jurisdicción administrativa de la localidad de Usaquén. El contorno catastral circunscribe el perímetro occidental de una cantera, de explotación reciente, entre las cotas 2640 m.s.n.m y 2750 m.s.n.m y entre las coordenadas 117800 mN, y 106100 mE a 10.6300 mE.

El barrio está enmarcado entre las calles 173 a 183ª y las carreras 22 y 23, con una superficie cercana a las 4 ha, limita al occidente con un segundo frente de explotación cuyo entalle superior está dibujado en un relleno heterogéneo y sobre el cual descansa gran parte de las viviendas, muchas de las cuales hacen parte del programa de reubicación que adelanta actualmente la DPAE.

El cinturón de comunicación más importante para el área es la carrera central del oriente (Avenida 7ª). De éste se desprende la malla vial interna, caracterizada por calles y carreras, algunas en pavimento rígido y otras a nivel de sub-base, de pendientes, longitudinales altas (>8%)y radios de curvatura cerrados.

Si bien la morfología de la zona de estudio es de tipo antrópico, ésta no fue el resultado como en la mayor parte de las canteras de Bogotá, de un solo evento de explotación. Los primeros trabajos extractivos (exclusivamente arenas) se iniciaron, tal vez, a finales de la década de los 70s, (de acuerdo con la evaluación cartográfica), pero solo hasta hace dos años atrás, el programa de explotación adquirió nuevamente fuerza. El resultado fue el retrabajamiento de del antiguo patio de explotación en un área aproximada de 4.0 ha y el cuerpo central de frente de explotación.

Aunque los primeros asentamientos datan de los finales de los 70s solo a partir del segundo quinquenio de los ochenta, se dio lugar al principal evento de repoblación, dibujado en un marco relativamente ordenado pero limitado por la dificultad topográfica. De esta manera, no resulta extraña la presencia en el área de estudio, de la amplia franja de aislamiento entre el frente de explotación y el contorno urbano.

En la actualidad la cantera esta rodeada por cerca de 50 unidades residenciales,. La mayor parte de ellas de una planta. El sistema estructural que exponen las viviendas es principalmente aporticado y de muros de carga, aunque existen, en menor proporción viviendas prefabricadas y de recuperación. Estas ultimas localizadas en los limites norte y sur y no superan en numero las dos unidades. La cobertura de servicios públicos es parcial, los sistemas de energía eléctrica y agua atienden a cerca del 65% de la población, mientras que el alcantarillado pluvial se encuentra actualmente en construcción

Como el ambiente de formación donde se erige el recuadro de estudio está integrado por un potente macizo rocoso (con altura superior a 30m), conformado por niveles de areniscas cuarzosas, de grano fino a grueso, poco meteorizadas y de hasta 6m de espesor, en este estudio en este sentido se espera que el comportamiento de los taludes este regido tanto por las propiedades del macizo como del material rocoso, es decir por el patrón geométrico de las discontinuidades frente a las superficies libres y por las características de resistencia del material rocoso.

Los mecanismos de falla en cuña y planar no son cinemáticamente posibles, mientras que el proceso que muestra mayor predisposición es el volteo de bloque. Los taludes con orientaciones promedio N08W, N29E (N15W,N08W, N16E y N42E), e inclinación fuertes desde 53° hasta 6°, poseen en al región estructural 1, capacidad cinemática de falla por volteo, controlada por las familias de diaclasas D2: 68/69y D4: 136/86, respectivamente de manera similar, las laderas con orientaciones cercanas a N50°W(N43W, N42W, N68W,N50W)y las orientales en un intervalo medio N-E (N18E, N21E, N43E, N66E) en la región estructural 2 presentan posibilidad cinemática de falla por volteo a lo largo de los planos 25/73y 136/86.

A pesar de que la presencia de arcillolitas entre las laderas L18 y L20 de la Región Estructural 1 podrían concluir a suponer planos importantes de debilidad y predisposición a la falla, su continuidad y espesor son limitados, además, se manifiesta en sectores en donde por no existir posibilidad cinemática de falla, sus consecuencias serian poco importantes en caso de presentarse un fenómeno.

Aunque el análisis cinemático mostró ausencia de falla en cuña, existen evidencias en campo de algunos bloques, aunque pocos, cuyo patrón de falla responde a este mecanismo, estos se encuentran confinados por otros que no le permiten el movimiento (bloque critico). Sin embargo, dado que eventualmente se podría presentar dicho proceso, estos puntos específicos se tuvieron en cuenta en el análisis. La superficies estructurales del desplazamiento están definidas por las discontinuidades D = N84W/ 84SW y D = N15W /86SW; y el volumen de las masas inestables alcanza los 42.6m3. En este último sentido y como confirmación de la apreciación anterior, resulta lógico destacar la caída de bloques como principal proceso morfodinámico, parcialmente favorecidos por la presencia lateral de zonas de desconfinamiento o por la pérdida del soporte. La mayor concentración de evidencias de inestabilidad se expone en el borde norte los bloques claves oscila entre los 2.1 m3 y los 19 m3. En segundo renglón de importancia aparece el volcamiento y los deslizamientos en cuña, ambos con carácter inducido y actividad potencial.

La intervención antrópica es el principal agente “detonante” y “contribuyente” de la ocurrencia de los fenómenos de remoción en masa, puesto que el vertimiento de aguas y el sistema de explotación empleado han contribuido y/o facilitado el desconfinamiento de las masas, la formación de sistemas de fracturación secundaria y la infiltración, acciones de las cuales se ocasiona la pérdida de resistencia de los materiales o la movilización de masas potenciales.

Pero los mecanismos reseñados no son los únicos fenómenos que tiene n lugar en le barrio. En el segundo (y más pequeño) escenario de trabajo conformado por el manto superior del cuaternario (Qra) , circunscrito en el borde occidental del área de estudio y que dibuja la morfología más suave, tuvo lugar durante el segundo semestre del año 1999, la activación de la masa y detonada por el incremento en las presiones de poros, debido a la ruptura de una tubería del acueducto. Basados en las características del movimiento, en las evidencias de campo y en los análisis de oficina se concluyó que este fue un movimiento de tipo traslacional que abarcó un espesor máximo de 2.5 m.

Por las razones anteriores para el análisis estático, se adoptaron: el volteo y la falla en cuña (frente de explotación) y el deslizamiento traslacional (costado occidental). Como patrones de movilización básicos. En los dos últimos, se hizo uso de los programas del computador STABLE V.6H y SWEDGE (1996); y para el primero se desarrolló un modelo para el cálculo de los factores de seguridad y probabilidad de falla, en el que la sección del bloque es rectangular o trapezoidal, suposición aceptable basada en las evidencias de campo.

El comportamiento de los patrones en cuña es muy disímil, la falla solo se produciría para niveles extremos de la posición de la tabla de agua y de la aceleración sísmica. Sin embargo, la flotación de los bloques que se alcanza con un 20% de la presión máxima de agua sobre los planos de movilización.

En general la cubierta de relleno (costado occidental) podría presentar reactivación bajo cualquier efecto de agua con o sin estimulación sísmica ($FS \leq 1.13$) o para niveles externos de aceleración sísmica sin influencia de agua ($FS \leq 1.12$). El depósito sólo se mantendría estable en condición seca y sin sismo, los factores de seguridad exhibidos en esta circunstancia oscilan entre 1.22 y 2.07.

Contrario a la presunción de que todo el cuaternario se movilizaría, los flancos de cierre externo (norte y sur) poseen condiciones de estabilidad aceptables explicadas por la baja pendiente del plano de estratificación con ángulos menores a 10°; en el extremo norte, y por el delgado espesor del entalle principal del depósito en el costado sur, mucho menor que en las otras dos zonas.

En este sentido y en corcondancia con el espectro señalado, el área de estudio evidenció una clara partición tanto por el mecanismo de presente como por la intensidad con la que se desarrolla el fenómeno, en dos grandes regiones: el flanco oriental (frente de explotación)caracterizado por el desarrollo de procesos de volteo, y que involucra dos zonas una de amenaza media alta (probabilidad menor a 44%) y otra clasificada como baja (probabilidad inferior a 15%). Y la parte occidental dominada por procesos superficiales, conformada por 3 subregiones donde la amenaza varia de alta parta el área previamente deslizada y que dio lugar a daños moderados a severos en las casa cimentadas en ella, hasta baja para los costados norte y sur.

La evaluación de vulnerabilidad tuvo como objetivo analizar la respuesta de los elementos (unidades físicas y transeúntes) frente a los fenómenos de remoción en masa y, junto con la evaluación de amenaza a causa de los mismos fenómenos, dilucidar el tratamiento por adelantar. El estudio se realizó teniendo como fuente de

información el "formulario para la evaluación de daños en edificaciones en caso de deslizamiento" diligenciado para cada uno de los lotes construidos o no.

El citado formulario indaga sobre diferentes tópicos tendientes a establecer parámetros útiles para la evaluación tanto de vulnerabilidad física como de la social. Para la primera el análisis se realizó de manera semicuantitativa con algunas adaptaciones a la propuesta metodológica de Leone (1996). En lo referente a la resistencia de los elementos y, con respecto a la exposición, se calcularon las longitudes de viaje de las masas potencialmente inestables (Finlay et al, 1999). Para la segunda, vulnerabilidad social, la evaluación es apenas cualitativa y se basa en el nivel de ingresos, los daños sufridos por las viviendas, las recomendaciones para medidas urgentes, la cobertura de los servicios públicos y los índices de carencia de viviendas, entre otros.

La vulnerabilidad social se definió como la capacidad de reacción de la población ante la ocurrencia de un evento que ocasione daños; en este sentido se tomaron como componentes de análisis la capacidad económica de los pobladores, la cobertura de servicios públicos, las organizaciones cívicas, la tipología de viviendas, el nivel de conocimiento que los habitantes tienen del problema de estabilidad y de las actuales y potenciales repercusiones que éste ocasiona o puede ocasionar sobre sus viviendas.

Al considerar los tópicos anteriores es claro que las condiciones de vulnerabilidad socioeconómicas son similares para toda la población, es decir, no constituye un aspecto discriminante para el tratamiento del sector, por lo cual puede incorporarse como una constante en la evaluación de riesgo, aunque no se cuenta en este proyecto con elementos comparativos para calificar la vulnerabilidad social, se estima que ella oscila desde media baja hasta baja, básicamente por la incapacidad de la comunidad de sobrellevar un desastre y de recuperar posteriormente su condición de vida actual. No obstante, con el ánimo de tener una percepción de la condición de vulnerabilidad social es importante mencionar entre otros aspectos que:

- En El Codito se aprecian dos principales fuentes de peligro posibles (riesgo) por fenómenos de remoción en masa: frente de explotación de la antigua cantera donde existen evidencias de potenciales caídas de bloques y el costado occidental de la zona de estudio donde recientemente (segundo semestre de 1999), se desarrolló un deslizamiento traslacional de un depósito antrópico que comprometió la integridad de 11 viviendas ubicadas en el sector. Con respecto a la caída de rocas la comunidad no intuye peligro pues asocia los bloques movidos a la explotación de materiales en la cantera y considera muy remoto un movimiento y más aun que llega a afectar la integridad e sus vidas o de las construcciones que habita.

- La Junta de Acción Comunal no cuenta con sistemas de alerta y alarmas que permitan una oportuna y rápida comunicación de los peligros a los habitantes, sin embargo, eventualmente podría colaborar ante una situación de emergencia pero carece de mecanismos adecuados para atenderlas.

- La continencia o capacidad de respuesta económica de la población, medida por los ingresos brutos familiares se puede catalogar entre media baja y baja, pues se presenta un valor promedio de $286.000.oo pesos. Este nivel de ingresos no permitiría a los habitantes, en caso de presentarse un desastre, una recuperación rápida y sin traumatismos de su condición de vida actual expresada en vivienda y bienes máxime si se observa que el porcentaje de familias no propietarias de la vivienda que ocupan es del 13%.

- En El Codito, el 63% del total de las viviendas ha sido construido con sistemas resistentes y con aceptable calidad de material, conformado muros portantes, pórticos o pórticos con tabiques. Por otra parte la mayor parte de las viviendas, (121 unidades) se consideran con calidad e construcción buena: regular, 17: y con mala calidad constructiva 8. Casi la mitad posee edades superiores a los 10 años.

La vulnerabilidad física se evaluó tomando en consideración aspectos sobre: tipología de las viviendas, cobertura de los servicios públicos y calidad e la construcción, en este último aspecto se puede incluso hablar de “mantenimiento de la construcción”.

Con fines prácticos, para la elaboración de este trabajo se optó por evaluar la vulnerabilidad e las viviendas a partir del grado de exposición de éstas ante el fenómeno amenazante (índice de exposición, IE) y el comportamiento de las construcciones en tal circunstancia (índice de Resistencia, IR). Finalmente se conjugaron los índices antes descritos para estimar la vulnerabilidad física. A continuación se realiza una descripción de cada uno de ellos y los valores asumidos en cada caso.

De acuerdo con el procedimiento se concluye que El Codito presenta vulnerabilidad física baja excepción hecha de 13 viviendas cuya vulnerabilidad es alta en la zona de influencia directa del deslizamiento traslacional y 2 con intermedia de la zona de influencia directa en la caída de bloque. Estas deben ser reubicadas o protegidas con obras civiles de los efectos de los fenómenos de inestabilidad. En las zonas de amenaza baja podría adoptarse por convivir con el problema manteniendo un área de amortiguamiento en la que debe evitarse asentamientos humanos.

Otra componente de estudio para la vulnerabilidad además de las viviendas, son los transeúntes. Estas dado su carácter móvil presentan exposición altamente variable. Sin embargo, para efectos de este estudio, se asume que en condición estática del perímetro de afectación de los procesos de inestabilidad, la cualificación de su vulnerabilidad es alta.

En lo que atañe al riesgo las viviendas modificadas como E8, E9, E10, E11, E13, E14, E15, E16 y H4 y que circunscriben el principal espectro de movilización en el costado occidental, constituyen el perímetro de mayor nivel de riesgo incluso para elementos móviles. En este sentido es innegable desde ya la necesidad de restringir cualquier tipo de destinación del suelo, incluso la recreación pasiva y por lo tanto la construcción de futuras vivienda o la ocupación de las existentes pero reubicadas debe ser impedida.

El riesgo por caída de bloques aunque no tiene una alta cualificación en las unidades físicas (por la distancia que las separa) si lo tiene para cualquier transeúnte o semoviente localizado en la zona de influencia directa. En este sentido, se debe plantear una serie de medidas que disminuyan su grado de exposición y por ende su nivel de riesgo. Las obras deberán cumplir un doble objetivo; primero, limitar las distancias de viajes de los bloques inestables y segundo controlar el acceso y la permanencia de personas en las zonas de influencia de los procesos. Ambos se traducen en reducción de la vulnerabilidad.

A partir de las consideraciones hechas en los párrafos anteriores y con base en los resultados de los análisis presentados en la evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, se llevó a cabo la sección de obras para el control geotécnico y paisajístico.

La zona presentaba dos claros focos de atención asociados a la caída de rocas, en el talud oriental y al deslizamiento en el talud occidental. Para la primera problemática se planteó como medida de mitigación la construcción de un jarillón con el que evitara la llegada de los bloques móviles a las viviendas próximas. Para la segunda se planteó la reubicación de algunas viviendas y el respectivo manejo de aguas.

El jarillón se construirá en material suelto y tiene como función disminuir la vulnerabilidad de las viviendas expuestas ante la caída de rocas. Es una estructura de forma trapezoidal (sección de 1m en el tope, 6 a 8 m en la base y una altura promedio de 3m), desarrollada paralela a la base del talud oriental y distanciada entre 10 y 30 m d éste. Su condición de estabilidad para diferentes eventos es aceptable, en el panorama más crítico, saturado, ru + 0.3 y sismo a+0.20g y bajo la participación de los parámetros efectivos promedio, C'=0.6 Ton/m2 y φ=24.6` el factor de seguridad es de 1.34 si la pendiente lateral es 1.0H : 1.0V o 1.15 si los taludes de conformación son de 1.0H : 1.5V. De esta forma se seleccionó entonces, la primera configuración geométrica para el diseño.

La definición de la zona de aislamiento y por ende la restricción de transeúntes, se concluirá con un cerramiento en malla eslabonada de calibre 9 con tejido 2"x2", apoyada en tubería galvanizada de 21/2"de diámetro y 3 m de altura. El cerramiento se instalará en la cresta del jarillón y en los trayectos libres de dicha estructura.

Si bien las obras diseñadas en el frente de explotación anteriormente descritas tienen como objetivo eliminar la necesidad de reubicación, es claro que la demora en la ejecución de las obras puede generar situaciones

de emergencia que ponen en entredicho la permanencia de las familias alojadas en las viviendas B1 e I14. En caso de que esto ocurra se recomienda poner en marcha la reubicación de las familias de las viviendas mencionadas. No se recomienda la demolición física de las viviendas pues las estructuras servirían como sistemas de amortiguamiento de los bloques movilizados. En este caso deben sellarse y evitar a toda costa su uso posterior.

De otro lado las medidas para el control del deslizamiento en el sector Oeste corresponderán a reubicación y demolición de viviendas. Esta medida se ha desarrollado parcialmente por la DPAE, ante la evidencia de daño de algunas estructuras; las unidades residenciales identificadas como E7, E8, E9, E10, E11, E12, E13, E14, E15, E16 y H4 están incluidas en el programa. Adicionalmente, y con base en el estudio efectuado, se deja abierta la posibilidad de reubicar las familias residentes en las viviendas codificadas como H1, H2 y H3. La necesidad de esta desición dependerá de evidencias posteriores de reactivación de la masa inestable. Con la reubicación de viviendas se eliminarán los elementos expuestos y su consecuente riesgo.

Las viviendas que finalmente se desalojen deben ser demolidas para evitar que puedan ser habitadas nuevamente. La zona, que pasará a ser de la DPAE, debe ser demarcada con el fin de prevenir nuevos asentamientos.

Complementariamente, se diseñó en cambio, una trinchera drenante que permitiera el abatimiento del nivel freático con lo que se espera lograra estabilizar la masa. Como esta medida no elimina la posibilidad de movilización ni controla el escenario de exposición de la masa, se desconocen sus consecuencias fuera del área de estudio, especialmente en las viviendas localizadas en la parte inferior del talud. Se recomienda entonces estudiar el papel del fenómeno y de otros mecanismos que puedan tener repercusión en el sector, pues es una de las franjas más densamente pobladas y que no hace parte del objeto de este estudio. La trinchera tiene una sección de 0.8m (a 1.8m)*0.6m en material filtrante y de 0.2*0.6m de relleno en material común.

LIMITACIONES DEL ESTUDIO

El borde occidental del área de estudio dejó sin sustento, durante la etapa de análisis, la determinación del grado de afectación de las viviendas circunscritas a él, especialmente las ubicadas en la parte baja del segundo escarpe de explotación, dado que quedaron fuera del área de estudio. Este pormenor adquiere mayor relevancia si se observa que el nivel de amenaza del depósito superior es alto y ha mostrado evidencias de actividad desde el año pasado, las cuales aún persisten. Si bien en los análisis se plantearon soluciones para el depósito antrópico sobre el que se desarrolla el movimiento, se debería efectuar un estudio que evaluara la posible incidencia de fenómenos de remoción en masa con un análisis semejante (amenaza, vulnerabilidad y riesgo) al efectuado en este estudio para el costado oeste del área estudiada.